



**C A S A**

**tecnologie e spazi per la scuola 3.0 nell'edilizia scolastica esistente**

# CASA

**tecnologie e spazi per la scuola 3.0 nell'edilizia scolastica esistente**

**Politecnico di Milano  
Polo territoriale di Lecco  
Scuola di Architettura Urbanistica Ingegneria delle costruzioni  
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile – Architettura  
A.A. 2020-2021**

**Relatore: Prof. Ing. Graziano Salvalai  
Co-relatore: Prof. Arch. Roberto Francieri**

**Locatelli Thea           795840  
Federica M. F. Santoli   748214**





## Abstract italiano

Il tema sviluppato nella tesi tratta lo studio di una soluzione sperimentale leggera di facciata, CASA, adottata per il miglioramento delle prestazioni energetiche di un caso di edilizia prefabbricata scolastica esistente, appartenente al ventennio '60-'80 del Novecento. Per l'ipotesi applicativa di tale strategia si considera un edificio oggetto di un bando indetto dal comune della città di Chiari, nella bassa bresciana, volto ad ampliare e riqualificare gli spazi interni ed esterni della scuola media A. Toscanini. Il rimodellamento dell'edificio introduce nuove funzioni compatibili con le esigenze locali, mirate a politiche di inclusione sociale e a configurazioni funzionali in linea con il modello del "Civic Center". La soluzione tecnologica adottata si presenta come un pannello sandwich che diviene il filo conduttore di una filosofia di riprogettazione a 360°, connubio tra innovazione tecnologica, architettonica ed energetica, in grado di conferire all'architettura una nuova identità e di soddisfare i parametri prestazionali richiesti. Il pannello si configura come una variante delle soluzioni tecnologiche presenti sul mercato, e per la sua elaborazione sono stati selezionati elementi ecocompatibili e riciclabili, come il Neopor, mai utilizzato sino ad ora in un pannello coibente, ed il legno di Okoumè. Una scrupolosa analisi energetica e mirate scelte impiantistiche hanno permesso di ottenere risultati pari a quelli di un edificio ad alte prestazioni energetiche. È stato successivamente studiato e dimensionato un sistema di ancoraggio speciale per l'applicazione in facciata di questa tecnologia, con la volontà di sfruttare il più possibile i vantaggi della prefabbricazione, in modo da rendere la soluzione replicabile anche su altri casi studio. Il pannello diviene un vestito che concede un nuovo volto alla scuola, evocando con forza una volontà di rinnovamento che si riscopre anche negli spazi interni, dove viene conservata la filosofia della reiterabilità grazie alla proposta di interventi minimamente invasivi: gli ambienti sono stati ridisegnati a fronte di un'accurata ricerca sull'evoluzione della didattica, nei suoi aspetti storici, architettonici e socio-pedagogici, per garantire un'esperienza totalizzante e flessibile, in grado di soddisfare tutte le necessità dell'utenza. Particolare attenzione è stata posta anche nello studio degli arredi, indispensabili per definire gli spazi innovativi "4+1" su cui si fondano le linee guida della didattica 3.0. Si ritiene che il pannello possa costituire una grande opportunità applicativa a supporto della tutela del patrimonio scolastico italiano.



## Abstract inglese

The theme developed in the thesis deals with the study of a lightweight experimental facade solution, CASA, adopted to improve the energy performance of an existing prefabricated school building, belonging to the 1960s-1980s. For the application hypothesis of this strategy, a building is considered the subject of a tender launched by the municipality of the city of Chiari, in the lower Brescia area, aimed at expanding and redeveloping the internal and external spaces of the A. Toscanini middle school. The remodeling of the building introduces new functions compatible with local needs, aimed at social inclusion policies and functional configurations in line with the "Civic Center" model. The technological solution adopted is presented as a sandwich panel that becomes the leitmotif of a philosophy of 360 ° redesign, a combination of technological, architectural and energy innovation, capable of giving architecture a new identity and satisfying the required performance parameters. . The panel is configured as a variant of the technological solutions on the market, and environmentally friendly and recyclable elements have been selected for its elaboration, such as Neopor, never used up to now in an insulating panel, and Okoumè wood. A scrupulous energy analysis and targeted plant choices have made it possible to obtain results equal to those of a building with high energy performance. A special anchoring system was subsequently designed and sized for the application of this technology to the façade, with the aim of exploiting the advantages of prefabrication as much as possible, in order to make the solution replicable in other case studies as well. The panel becomes a dress that grants a new face to the school, strongly evoking a desire for renewal that is also rediscovered in the interior spaces, where the philosophy of repeatability is preserved thanks to the proposal of minimally invasive interventions: the environments have been redesigned in front of careful research on the evolution of teaching, in its historical, architectural and socio-pedagogical aspects, to guarantee an all-encompassing and flexible experience, capable of satisfying all the needs of users. Particular attention was also paid to the study of the furnishings, essential to define the innovative "4 + 1" spaces on which the 3.0 teaching guidelines are based. It is believed that the panel could represent a great application opportunity to support the protection of the Italian school heritage.



# Indice

<b>01 - LA SCUOLA EVOLUZIONE DELLA DIDATTICA DAL 1900 AI GIORNI NOSTRI</b>	
<b>1.1 Dal secondo dopoguerra agli anni '70</b>	15
1.1.1 Il secondo Dopoguerra	15
1.1.2 Anni '60	17
<b>1.2 Dagli anni '70 agli anni '90</b>	17
<b>1.3 La didattica oggi: Indire e Avanguardie educative</b>	19
1.3.1 Le metodologie didattiche	19
1.3.2 I 4+1 spazi informativi	22
1.3.3 Riferimenti progettuali di scuole innovative: Vittra, Hellerup, Ørestad	26
<b>02 - EDILIZIA SCOLASTICA GLI SCHEMI COSTRUTTIVI DELLA SECONDA METÀ DEL '900</b>	
<b>2.1 Introduzione alla prefabbricazione</b>	37
2.1.1 Concetti fondamentali della prefabbricazione	37
2.1.2 Cenni storici della prefabbricazione	38
2.1.3 Elementi strutturali prefabbricati di principale produzione	42
<b>2.2 Classificazione delle tecnologie costruttive</b>	49
2.2.1 Struttura pannelli portanti	49
2.2.2 Struttura ed ossatura portante	51
2.2.3 Struttura a celle o ad elementi portanti spaziali	52
<b>2.3 Edilizia prefabbricata scolastica</b>	54
2.3.1 Le origini	54
2.3.2 I sistemi costruttivi più utilizzati per l'edilizia scolastica prefabbricata	55
2.3.3 Il sistema Valdadige	61
<b>03 - LA SITUAZIONE ITALIANA ATTUALE</b>	
<b>3.1 Il problema statico</b>	71
3.1.1 La situazione scolastica italiana	71
3.1.2 Rapporti edilizia scolastica	72
3.1.3 Il piano di ripresa "Italia Domani"	77
<b>3.2 Il problema energetico</b>	77
3.2.1 Progetto "La scuola in bolletta"	77
3.2.2 Il rapporto Legambiente per il problema energetico	81
<b>3.3 Il problema degli spazi didattici</b>	82
3.3.1 La necessità di rigenerazione di edifici esistenti	82
3.3.2 Le iniziative	84
<b>3.4 Il quadro normativo</b>	87
3.4.1 Requisiti minimi edilizia scolastica	87
3.4.2 La normativa antincendio	88
3.4.3 Accessibilità	89
<b>04 - SCOPO DELLA TESI E METODO DI ANALISI</b>	
<b>4.1 La nostra proposta</b>	93
4.1.1 Individuazione del parco edilizio	93
4.1.2 Criticità assimilabili	94
4.1.3 Interventi reiterabili	98
<b>4.2 Il metodo: la fase di confronto</b>	99



4.2.1	Gli strumenti di ricerca	99
4.2.2	Lo strumento di catalogazione	101
<b>05 – ESITI DELLA RICERCA E INDIVIDUAZIONE DEL CASO STUDIO</b>		
<b>5.1 I casi “studio”</b>		107
5.1.1	P. Calamandrei, Chirignago	107
5.1.2	C. Colombo, Chirignago	108
5.1.3	G. Di Vittorio, Mestre	108
5.1.4	E. Fermi, Mestre	109
5.1.5	L. Negrelli, Feltre	110
5.1.6	E. Salgari, Negrar di Valpolicella	111
5.1.7	A. Toscanini-Morcelli, Chiari	111
5.1.8	D. Zipoli, Prato	112
5.1.9	Ok School Academy, Brescia	113
<b>5.2 Quadro riassuntivo dei dati raccolti</b>		114
5.2.1	Aspetto architettonico	114
5.2.2	Aspetto tecnologico/energetico	114
5.2.3	Aspetto strutturale	115
5.2.4	Conclusioni	115
<b>5.3 Individuazione del caso studio</b>		116
5.3.1	tre poli scolastici di Chiari	116
5.3.2	Il bando sulla scuola Toscanini	119
5.3.3	L'ex-cava Betongamma	120
5.3.4	Conclusioni	120
<b>06 – ANALISI DEL CONTESTO</b>		
<b>6.1 Il passato di Chiari</b>		125
6.1.1	Cenni storici su Chiari	125
6.1.2	L'evoluzione urbana	127
6.1.3	Le quadre di Chiari	130
<b>6.2 Inquadramento territoriale</b>		131
<b>6.3 Sistema delle infrastrutture e viabilità a scala urbana</b>		132
<b>6.4 Sistema insediativo</b>		133
<b>6.5 Sistema del verde e della mobilità dolce</b>		134
<b>6.6 Analisi climatiche</b>		135
<b>6.7 SWOT</b>		136
<b>6.8 Analisi demografica</b>		138
6.8.1	La popolazione clarense	138
6.8.2	La popolazione scolastica	139
<b>07 – ANALISI STATO DI FATTO</b>		
<b>7.1 Edificazione ed evoluzione storica del polo scolastico</b>		143
<b>7.2 Morfologia del contesto e del lotto</b>		143
<b>7.3 Gli spazi della scuola Toscanini</b>		144
<b>7.4 Criticità e stato conservativo degli immobili</b>		147
7.4.1	Criticità generali	147
7.4.2	Lo stato conservativo degli spazi	148
<b>7.5 Verifiche normative</b>		148

7.5.1	Verifica indici funzionalità	148
7.5.2	Verifiche illuminotecniche	149
7.5.3	Valutazione verifiche antincendio	150
7.5.4	Valutazioni accessibilità per disabili	150
<b>7.6</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>151</b>
<b>08 – IL CONCEPT</b>		
<b>8.1</b>	<b>La vision di progetto: verso una community school</b>	<b>155</b>
8.1.1	Obiettivi di progetto	155
8.1.2	Strategie e azioni di progetto	156
8.1.3	Il concept	158
<b>8.2</b>	<b>Il masterplan di progetto: a scuola come a casa</b>	<b>160</b>
8.2.1	La rete del verde	161
8.2.2	La rete del costruito	163
8.2.3	Le connessioni	165
8.2.4	Il linguaggio architettonico	166
<b>09 – IL PROGETTO ARCHITETTONICO</b>		
<b>9.1</b>	<b>Il Civic Center Toscanini</b>	<b>171</b>
9.1.1	Gli spazi	171
9.1.2	Gli orari	174
<b>9.2</b>	<b>Gli spazi della nuova scuola</b>	<b>175</b>
9.2.1	Gli spazi di gruppo – “l’aula”	175
9.2.2	Spazi informali	176
9.2.3	Spazi individuali	177
9.2.4	Spazi di esplorazione	177
9.2.5	Agorà e la biblioteca verticale	178
9.2.6	Spazi per il personale e spazi di servizio	178
<b>9.3</b>	<b>Le verifiche normative</b>	<b>179</b>
9.3.1	Verifica degli indici di funzionalità per l’edilizia scolastica	179
9.3.2	Verifica delle prescrizioni per la prevenzione degli incendi	180
9.3.3	Verifica delle prescrizioni per l’accessibilità	182
9.3.4	Verifica dei parametri illuminotecnici	183
<b>10 – IL PROGETTO TECNOLOGICO</b>		
<b>10.1</b>	<b>Parametri e caratteristiche prestazionali di verifica</b>	<b>192</b>
10.1.1	Parametri di verifica dell’involucro opaco	192
10.1.2	Parametri di verifica dell’involucro trasparente	194
<b>10.2</b>	<b>Le nuove tecnologie</b>	<b>195</b>
10.2.1	Il nuovo involucro opaco	195
10.2.2	Il nuovo involucro trasparente	198
<b>10.3</b>	<b>Le verifiche</b>	<b>198</b>
<b>11 – LA NUOVA PELLE : IL PANNELLO CASA</b>		
<b>11.1</b>	<b>Gli obiettivi</b>	<b>203</b>
<b>11.2</b>	<b>Le proposte sul mercato</b>	<b>205</b>
<b>11.3</b>	<b>La composizione del pannello CASA</b>	<b>207</b>

11.3.1 Materiale di finitura - facce	207
11.3.2 Materiale isolante - core	208
11.3.3 Il contatto con il pannello esistente	212
<b>11.4 La geometria del pannello CASA</b>	<b>213</b>
<b>11.5 Le verifiche</b>	<b>215</b>
11.5.1 Verifica della dilatazione termica	215
11.5.2 Verifica delle prestazioni acustiche della facciata	218
<b>12 – ANALISI STRUTTURALE E IPOTESI DI CONSOLIDAMENTO</b>	
<b>12.1 Analisi preliminari</b>	<b>223</b>
12.1.1 Introduzione	223
12.1.2 Indagini conoscitive	224
<b>12.2 Caratterizzazione dei parametri dell'edificio</b>	<b>226</b>
12.2.1 Caratterizzazione delle proprietà dei materiali	226
12.2.2. Calcolo dei parametri sismici	227
<b>12.3 Determinazione delle azioni</b>	<b>230</b>
12.3.1 Analisi dei carichi	230
12.3.2 Analisi di calcolo	241
<b>12.4 Definizione del modello di calcolo</b>	<b>244</b>
<b>12.5 Verifica degli elementi strutturali</b>	<b>246</b>
12.5.1 Premesse	246
12.5.2 Trave TI copertura	247
12.5.3 Trave TI interiano	250
12.5.4 Elemento prefabbricato solaio copertura (coppella K47)	253
12.5.5 Elemento prefabbricato solaio interpiano (coppella K50)	254
12.5.6 Pilastro	255
12.5.7 Plinto di fondazione a bicchiere	257
<b>12.6 Ipotesi di interventi di consolidamento</b>	<b>262</b>
12.6.1 Travi TI copertura	262
12.6.2 Elementi prefabbricati solaio (coppelle K47-K50)	262
12.6.3 Pilastro	263
12.6.4 Fondazione	264
12.6.5 Pannelli di tamponamento	264
12.6.6 Nodi trave-coppella e trave-pilastro	265
<b>13 – IL PROGETTO ENERGETICO</b>	
<b>13.1 Parametri prestazionali dell'involucro</b>	<b>269</b>
13.1.1 Coefficiente medio globale di scambio termico $H'_T$	270
13.1.2 Area solare equivalente estiva	271
<b>13.2 Modellazione Termolog</b>	<b>272</b>
13.2.1 Scheda relazione	272
13.2.2 Scheda zone	274
13.2.3 Scheda strutture	275
13.2.4 Scheda involucro	277
13.2.5 Schede climatizzazione invernale/estiva/ACS	278
13.2.5 Scheda generatori	279
13.2.6 Scheda "calcolo e diagnosi"	280

<b>13.3 Confronto dei risultati ottenuti</b>	282
13.3.1 Calcolo dinamico orario	282
13.3.2 Verifiche Nzeb	283
<b>14 – IL PROGETTO ERGOTECNICO</b>	
<b>14.1 Il processo produttivo del pannello CASA</b>	287
14.1.1 Fase 1 – lavorazione della materia prima	287
14.1.2 Fase 2 – accoppiamento con le facce	289
14.1.3 Fase 3 – impermeabilizzazione	289
14.1.4 Fase 4 – foratura	290
14.1.5 Fase 5 – confezionamento	290
<b>14.2 L'organizzazione di cantiere</b>	291
14.2.1 Allestimento di cantiere	291
14.2.2 La movimentazione dei pannelli	292
<b>14.3 Le fasi di fissaggio del pannello CASA</b>	292
14.3.1 Fase 0 – Controllo delle superfici host	293
14.3.2 Fase 1 – Fissaggio chimico delle barre	293
14.3.3 Fase 2 – Posizionamento dei manicotti	293
14.3.4 Fase 3 – Fissaggio dei pannelli	294
<b>14.4 Dimensionamento degli ancoraggi del pannello CASA</b>	294
14.4.1. Calcolo delle forze agenti sull'unione	295
14.4.2 Dimensionamento dell'ancoraggio	298
<b>14.5 Conclusioni sul pannello CASA</b>	299
<b>14.6 Reiterabilità dell'approccio</b>	300
14.6.1 Schema di intervento	300
14.6.2 Esempio di replicabilità	303
<b>Conclusioni</b>	305



# 1

## La scuola: evoluzione della didattica dal 1900 ai giorni nostri

- 1.1 Dal secondo dopoguerra agli anni '70
- 1.2 Dagli anni '70 agli anni '90
- 1.3 La didattica oggi: Indire e Avanguardie educative



La scuola è un'istituzione relativamente recente. Nacque nell'età Moderna, si diffuse con l'Illuminismo, ma si affermò definitivamente solo nell'Ottocento quando tutti gli stati nazionali decisero di finanziare un'istituzione con il compito di fornire ai cittadini un'istruzione ai diversi livelli. Nel corso del Novecento l'analfabetismo subisce un calo. Dal punto di vista umano, il XX secolo è stato un momento storico determinante nella teorizzazione e conferma di quelle che erano solo ipotesi ed intuizioni, elaborate già nel periodo illuminista, in primis da Rousseau, sullo sviluppo cognitivo, psicologico e fisico del bambino. Si parla nello specifico di Movimento delle scuole nuove, una corrente di pensiero presente in Svizzera, Belgio ed Inghilterra. Le scuole fondate dai sostenitori di questo approccio educativo e pedagogico erano per lo più private, solitamente istituite da membri dell'élite, ideologicamente aperti ed illuminati. Figure essenziali in questo contesto educativo furono le institutrici, educatrici assunte dai membri delle classi sociali più abbienti della società di stampo occidentale. L'educazione dei primi del '900 in molte famiglie, contrariamente all'uso del secolo precedente, era affettuoso ed interattivo. Attenzione veniva data al gioco e all'attività fisica. Allo stesso modo veniva valorizzata l'istruzione vera e propria, con un accento particolare sulla lettura. I primi anni del '900 furono fondamentali nello sviluppo delle basi dell'educazione giovanile moderna, ma le Guerre Mondiali interruppero parzialmente questo percorso di sviluppo ideologico spingendo verso un approccio all'istruzione più tecnico, funzionale e lavorativo, incentrato sulla formazione di lavoratori utili alle pure esigenze del mercato. Ma ciò che venne fatto in quegli primi decenni non è andato perduto. Ad oggi è alla base del sistema scolastico pubblico.

## Dal secondo dopoguerra agli anni '70 1.1

### 1.1.1 il secondo dopoguerra

Nel secondo dopoguerra si delinea un panorama che assume tratti molto differenti dalla fase precedente. Si assiste alla mutazione della didattica in una forma più rigida e schematizzata.

L'opera educativa iniziava già negli asili infantili. Veniva affrontato il problema della edilizia scolastica. In un solo decennio il Governo fascista assegnò, per tale scopo, 346 milioni, ai quali si aggiunsero alcune centinaia di milioni spesi per gli edifici scolastici costruiti dalle grandi città con mezzi propri. Incremento maggiore hanno avuto le spese destinate a dotare gli Istituti superiori e le Università di sedi adatte e ad arricchire il materiale scientifico. Ma più che nel miglioramento, tuttavia importantissimo, delle condizioni esteriori e materiali, l'opera educativa del Fascismo va ricercata nell'intimo organico rinnovamento operato dalla riforma Gentile del 1923 la quale poggia sulla più solida tradizione umanistica italiana e simboleggia lo spirito fascista della riforma scolastica.

La riforma Gentile era una serie di atti normativi che costituivano la riforma scolastica, voluta da Benito Mussolini (primo ministro del tempo). Prese il nome dal suo ispiratore, Giovanni Gentile, Ministro della Pubblica Istruzione del governo Mussolini nel 1923, che la elaborò assieme a Giuseppe Lombardo Radice. «La più fascista» delle riforme, come la definì Mussolini, rimase sostanzialmente in vigore inalterata anche dopo l'avvento della Repubblica, fino a quando il parlamento italiano la abolì nel 1962.

La Riforma Gentile rappresentava una rivoluzione nel concetto di quello che era stata la didattica fino a quel momento e si dimostrò un valido strumento nella lotta contro l'analfabetismo, anche attraverso la realizzazione di nuove scuole e strade d'accesso.

Nel campo dell'istruzione popolare basterà accennare alla scuola rurale, accresciutasi negli ultimi anni di migliaia di classi, e alle scuole serali. Apportò importanti cambiamenti al sistema scolastico, attraverso, ad esempio, l'estensione dell'istruzione obbligatoria fino alla sesta classe elementare inclusa.





fig. 1. una classe di scuola femminile degli anni '50

Con la riforma si è riordinata anche la scuola media, rinnovando antichi tipi d'istituti per crearne nuovi, introducendo l'esame di Stato e rifacendo i programmi di esami su nuove basi e con criteri intesi a garantire la serietà umanistica, scientifica e pedagogica dell'insegnamento medio. Istituisce, inoltre, una scuola preparatoria (l'odierna scuola materna) della durata di tre anni.

Ricordiamo alcuni dei punti cardine che la caratterizzarono:

- aspetto rigorosamente nazionale della scuola elementare in modo che essa prepari anche nel fisico e nel morale i futuri soldati d'Italia; perciò, rigido controllo dello Stato sui programmi, sulla scelta dei maestri, sulla opera loro, specie nei Comuni dominati da partiti antinazionali, e fornitura di materiale scolastico a ispirazione fascista;
- scuole professionali, industriali e agrarie istituite con piano organico utilizzando il contributo finanziario e d'esperienza degli industriali e degli agricoltori, allo scopo di elevare le capacità produttive della Nazione e di creare la classe media di tecnici fra gli esecutori e i direttori della produzione. A tale scopo lo Stato dovrà integrare e coordinare le iniziative private, sostituendosi ad esse ove mancano;
- carattere prevalentemente classico delle scuole medie inferiori e superiori; riforma ed unificazione di quelle inferiori in modo che tutti gli studenti studino il latino; il francese non sia più l'unica lingua sussidiaria a quella italiana: scegliere e adattare invece la lingua sussidiaria secondo le necessità delle singole regioni, specie di quelle di frontiera;
- unificazione di tutte le beneficenze scolastiche, borse di studio e simili, in un Istituto controllato e integrato dallo Stato, il quale scelga fin dalle classi elementari gli alunni più intelligenti e volenterosi e assicuri la loro istruzione superiore, imponendosi, se occorre, all'egoismo dei genitori e provvedendo con un sussidio nei casi in cui fosse necessario;
- trattamento economico e morale dei maestri e dei professori, nonché degli ufficiali dell'Esercito, quali educatori militari della Nazione, tale da assicurare ad essi la tutela della propria dignità e i mezzi di accrescere la propria cultura, e da ispirare ad essi ed al pubblico la coscienza dell'importanza nazionale della loro missione. Tutti dovranno giurare fedeltà al regime, coloro che si rifiuteranno verranno destituiti;

- abolizione delle scuole tecniche perché permettevano un accesso all'Università. Da quel momento fu consentito solamente ai diplomati del liceo classico. Vennero istituite le scuole complementari, volte all'esclusiva preparazione al lavoro senza possibilità di continuare gli studi.

Nonostante le numerose variazioni apportate al sistema educativo scolastico, il numero di persone in possesso della sola istruzione elementare è ancora molto elevato, soprattutto nei paesi e nei ceti più bassi; le differenze tra la popolazione maschile e quella femminile risultano ancora molto marcate. Le donne, spesso, dopo la scuola dell'obbligo, vengono destinate ad altre occupazioni, mentre agli uomini è permesso proseguire gli studi.

## 1.1.2 anni '60

La fine della guerra e la riconquistata libertà politica attivano le forze democratiche del paese nella ricerca di strumenti di gestione più avanzati che assicurino agli operatori scolastici una dignità professionale e alla scuola stessa la completa autonomia operativa nella formazione di liberi cittadini. Con la caduta del fascismo, si ha un ripensamento del sistema educativo, teso a ridurre la dicotomia classista che ispirava l'ordinamento scolastico precedente. In molti casi, però, come in tanti altri settori della Pubblica amministrazione, alle intenzioni di riforma non seguirono fatti concreti, tanto che fino agli anni Sessanta anche nella scuola si seguì di fatto una linea di continuità con il periodo fascista, a livello di programmi e di struttura complessiva dello studio. Dopo il vuoto legislativo lasciato dagli anni Cinquanta nella didattica, gli anni Sessanta hanno visto realizzarsi innovazioni attese da tempo. Nasce l'esigenza di uno svecchiamento immediato del sistema scolastico. Gli studenti scendono in piazza e occupano le scuole e le aule in cerca di una riforma definitiva. Quest'onda rivoluzionaria però non arriva da sola, ma porta con sé una tendenza alla scolarizzazione di massa. Fu nel 1962 che venne elaborata la prima vera riforma della scuola: essa, abolendo la distinzione tra scuola media e avviamento professionale, istituiva una scuola media unica (effettivamente operativa dal 1979), istituiva inoltre la scuola materna statale, nel 1968, mentre la legge dell'11 dicembre 1969 liberalizzava l'accesso universitario a ogni diplomato. Da un punto di vista sociale, ciò che certamente accomuna i decenni della seconda metà del '900, è quella di avere sposato una linea di pensiero pedagogico assolutamente innovativa e per molti versi anticonformista e all'avanguardia volta al tema dell'inclusività vera e propria e degli spazi scolastici, e cioè a favore delle vite individuali di discenti e famiglie. La risposta dell'inclusività a scuola agisce prevalentemente su due fronti: il primo è quello della formazione del personale docente e degli operatori educativi; mentre il secondo è quello della scolarizzazione di massa.

## Dagli anni '70 agli anni '90 1.2

Il lento processo di riforma scolastica avviatosi nel secondo dopoguerra si delinea più chiaramente dal 1972, con la riforma istituita da Enrico Berlinguer, un compromesso storico che ha dato vita ad alcuni modelli sperimentali per la scuola italiana, alcuni dei quali resistono ancora oggi. In questo clima di grande rimescolamento sociale e burocratico, vi era l'esigenza di una scuola in cui le diverse componenti avessero maggiore spazio e potessero contribuire al miglioramento della didattica; questo diede origine ai Decreti Delegati del 1974, formule sperimentali che cercarono di adeguare la scuola al nuovo modello di società. Ecco, quindi, che vennero istituiti gli organismi collegiali per la gestione democratica della scuola e venne introdotta la possibilità di sperimentazione, sia curricolare sia didattica, all'interno delle scuole di ogni ordine e grado. Il grande pregio dei Decreti Delegati è da identificarsi nella creazio-

ne di alcuni istituti di importante supporto allo studio e alla ricerca scolastica:

- la Biblioteca di documentazione pedagogica (BDP), con sede a Firenze, centro di raccolta e valorizzazione della produzione bibliografica e pedagogica italiana ed estera;
- il Centro europeo dell'educazione (Cede), che si occupa di definire i programmi, i costi, gli aggiornamenti, le tecnologie legate al mondo dell'istruzione;
- gli Istituti regionali di ricerca, sperimentazione e aggiornamento educativi (IRRSAE) con il compito di produrre e diffondere la documentazione pedagogica e didattica e fornire consulenza tecnica.

Ancora, negli anni '70, e precisamente nel 1977, viene emanata la Legge 517 sull'integrazione scolastica, dove si individuano modelli didattici flessibili in cui attivare forme di integrazione trasversali, esperienze di interclasse o attività organizzate in gruppi di alunni ed affidate ad insegnanti specializzati: gli insegnanti di sostegno.

Per quanto riguarda nello specifico il panorama dell'educazione rivolta agli adulti, vediamo che in quegli anni è particolarmente aderente e funzionale al mondo del lavoro.

Nelle grandi città del triangolo industriale, accanto a grandi centri di addestramento pubblici e privati che incominciano a declinare, appaiono nelle aziende multinazionali i primi programmi di formazione per il management. Il modello autoritario entra in crisi. I formatori sono tecnici e specialisti del know-how aziendale.

Inizia inoltre a diffondersi sempre più la necessità di sostituire il modello autoritario di gestione del personale con nuovi metodi. Accanto a sacche di resistenza ostentata, nascono i primi centri di formazione (FIAT, Montedison) e le prime associazioni di formatori (AIF). L'evoluzione della formazione e del tutto coerente con l'evoluzione socio-organizzativa del sistema delle imprese. Si afferma la figura professionale del formatore-coordinatore.

Riassumendo, le riforme varate a partire dagli anni Sessanta portano ad ingrossare il numero dei frequentanti di scuole ed università, nonché ad un aumento considerevole della classe docente. La politica entra nelle classi scolastiche e nelle aule universitarie, viziando i rapporti tra docenti e studenti.

fig. 2 Laboratorio di Ebanisteria dove Ambrogio Fossati fu tra i primi insegnanti", 1922



L'accesso alle cattedre sulla base dei soli titoli si rivelerà un metodo poco premiante e non selettivo. Il tutto porta ad un veloce decadimento dell'istruzione pubblica italiana, a vantaggio degli istituti privati. Si assiste ad una grande affluenza di massa a scuole medie, superiori, e all'università, che determina un necessario allargamento dell'organico del personale docente e non.

La legge 382 del 1980 e la creazione del Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica e Tecnologica (MURST) nel 1989, portano ad un pericoloso abbassamento della qualità della formazione. I nuovi dipartimenti, le strutture didattiche ed i corsi di laurea si vedono protagonisti di una complessa gestione burocratica e accentrata dalle facoltà. Questo porta a nuove contestazioni studentesche, che sfoceranno poi nelle occupazioni delle aule universitarie nei primi anni '90. Nel giugno 1990 furono emanati i nuovi programmi della scuola elementare, che rivedono la didattica e i curricula dell'istruzione primaria, istituiscono l'insegnamento modulare, introducono una specializzazione per area del corpo insegnante. La legge del 15 marzo 1997, infine, consente piena autonomia organizzativa e didattica alle singole istituzioni scolastiche, lasciando allo Stato il controllo di quelle funzioni che richiedono una guida unitaria (per esempio, il perseguimento di determinati obiettivi).

Come si può desumere dall'analisi dei provvedimenti legislativi riportati, il sistema scolastico italiano, al XX secolo, si presenta come un insieme spezzettato, in cui i diversi ordini di scuola si riferiscono a riforme parziali, elaborate in periodi differenti secondo logiche e obiettivi talvolta contrastanti.

## La didattica oggi: 1.3 Indire e Avanguardie Educative

### 1.3.1 Le metodologie didattiche

#### 1.3.1.1 Un nuovo scenario

Il mondo dell'istruzione, in tempi recenti, sta affrontando un grande cambiamento in termini di metodologie didattiche, nel modo di pensare alla scuola e ai suoi compiti fondamentali. Un cambiamento che dalla precedente "scuola dell'insegnamento" si sta orientando verso una "scuola dell'apprendimento".

Il nuovo contesto richiede ai sistemi educativi, in particolare alla scuola, di ripensare profondamente la propria impostazione, rivedendo metodi, contenuti, riferimenti valoriali.

Siamo di fronte ad un cambiamento di prospettiva: l'apprendimento non è più affidato all'autorevolezza dell'insegnante, bensì alla stimolazione delle capacità relazionali e cognitive dello studente, in cui la figura dell'insegnante diventa uno strumento fondamentale di supporto per questo suo percorso di crescita. Questo forte giro di boa nella metodologia didattica si riflette in quella che è anche l'attuale realtà lavorativa di oggi: il mercato del lavoro cerca figure che presentino una formazione elevata, capacità di ragionamento, assunzione di responsabilità, capacità di risolvere efficacemente nuovi problemi e acquisizione di nuove competenze. Oggi, pertanto, l'educazione dei lavoratori va ben oltre la memorizzazione dei fatti e delle procedure: include una comprensione teorica dei concetti complessi e la capacità di utilizzarli in modo creativo per generare nuove idee, il tutto con un occhio critico ed un approccio pratico.

Per comprendere meglio le nuove metodologie dobbiamo necessariamente approfondire il significato del termine "apprendimento". Nel 1996, la Commissione europea affronta il problema dell'adattamento del cittadino europeo alle nuove condizioni di accesso all'impiego e all'evoluzione del lavoro. Il messaggio dominante è che il sapere è il bene fondamentale per il futuro perché la società della conoscenza si identifica con la società dell'apprendimento. La sfida che la complessità pone ai sistemi educativi impone nuove forme di sapere e un cambiamento di paradigma: l'abbandono delle vecchie strutture verticali

e gerarchiche dei saperi, ancorati a specifici ambiti disciplinari tra loro disgiunti, a beneficio di una nuova logica reticolare. Per far fronte ai nuovi scenari, infatti, l'individuo ha bisogno non solo di mappe cognitive ampie e flessibili, ma anche di strumenti per far evolvere queste mappe, ampliarle e riorganizzarle continuamente lungo tutto l'arco dell'esistenza. Il concetto stesso di competenza, al centro del nuovo modello educativo, porta in sé la rottura con l'insegnamento tradizionale, analitico, sequenziale, rigidamente suddiviso per discipline, in favore di una dimensione olistica e globale dell'apprendimento. Si comincia a delineare, così, un sistema sempre più saldo in cui la scuola si trova ad interagire sistematicamente con attività extracurricolari per consentire ai giovani di sperimentare tre dimensioni fondamentali dell'educazione: etico-culturale, scientifico-tecnologica, economico-sociale.

La sintesi di un metodo che racchiudesse le riflessioni appena fatte arriva nel 1997, con la pubblicazione del Rapporto Dèlors. È un significativo documento internazionale pubblicato dalla commissione dell'UNESCO, coordinata da Jaques Delors, ministro e presidente della commissione. Questo rapporto si distingue dai precedenti, per la capacità di esprimere una grande attenzione alla persona che apprende nella sua integralità, al cittadino che abita responsabilmente il mondo e se ne prende cura in quanto bene comune. Il concetto di scuola è definito nell'idea che l'apprendimento racchiuda (o disveli) un tesoro.



fig. 3 "Meeting of the Commission of the European Communities presided by Jacques Delors, in office from 7 January 1985 to 5 January 1989."

La scuola così intesa ha il dovere di promuovere quattro tipi fondamentali di apprendimento tra loro interconnessi: sono i quattro pilastri sui quali si dovrebbero basare l'azione educativa e la missione della scuola stessa:

- **Imparare a conoscere**, in altre parole acquisire gli strumenti della comprensione e a conciliare una cultura di base sufficientemente estesa con la possibilità di approfondire un numero limitato di discipline. Questo significa anche imparare a imparare, in modo da trarre beneficio da tutte le opportunità di formazione che si affacciano nel corso della vita;
- **Imparare a fare**, che deve consentire di acquisire competenze personali e capacità di adattarsi a situazioni impreviste. Significa anche imparare a fare valorizzando i contesti delle esperienze sociali e di lavoro offerte ai giovani nell'ambito di esperienze non formali e informali di apprendimento;

- **Imparare ad essere**, che riguarda non solo lo sviluppo delle capacità di autonomia e di pensiero indipendente, ma anche l'esplorazione di sé stessi, la ricerca di "talenti" che sono sepolti, come tesori, in fondo a ogni essere umano, che la società non può permettersi di lasciare inutilizzati;
- **Imparare a vivere insieme**, che diviene un elemento essenziale per lo sviluppo di una cultura della pace e per la realizzazione di progetti comuni. Ciò significa imparare ad agire con una crescente capacità di autonomia, di giudizio e di responsabilità personale.

### 1.3.1.2 Il panorama internazionale

A livello internazionale sono presenti alcune esperienze riconducibili a questa nuova concezione di scuola. Si può infatti far riferimento al paradigma delle scuole intese come "civic center" (in Europa) e, in un contesto più propriamente americano, come "community school". Entrambe si caratterizzano per la visione di una scuola che interpreta oltre al tradizionale ruolo di agenzia formativa, anche quello di "centro di aggregazione per la comunità di riferimento". Questo significa ad esempio che la scuola mette a disposizione i propri spazi in orari extracurricolari per lo svolgimento di corsi e di attività rivolte alla cittadinanza dove talvolta sono gli stessi insegnanti a continuare la loro opera di formatori, oppure, come in esperienze americane, per la compresenza all'interno degli edifici scolastici di servizi specifici per la collettività (health center) o di intrattenimento e svago (teatri, shopping center, ecc.). È importante sottolineare che tali compresenze "extra" non devono in alcun modo interferire con attività prettamente didattiche e scolastiche. Quello che è al centro della progettazione di questa concezione di scuola come connettore socioculturale è lo studente e il suo successo scolastico.

I benefici riscontrati nelle realtà in cui le scuole sono state trasformate o progettate in questa ottica di "centri di aggregazione per la comunità di riferimento" sono identificabili nelle seguenti aree (Blank et al. 2003):

- apprendimento degli studenti: nei giovani si registra un significativo aumento del loro rendimento scolastico soprattutto in aree essenziali dello sviluppo non accademico;
- miglioramento dell'ambiente scolastico: le relazioni tra genitori e insegnanti sono più forti e si riscontra un aumento della soddisfazione da parte degli insegnanti. Complessivamente l'ambiente scolastico è maggiormente positivo e il sostegno della comunità di riferimento più ampio;
- coinvolgimento e impegno delle famiglie: sono aumentate le relazioni scuola-famiglia, la partecipazione dei genitori nelle attività scolastiche e il senso di responsabilità per il successo scolastico dei figli;
- vitalità della comunità di riferimento: le aree attigue alla scuola godono di benefici dovuti alla maggiore sicurezza della zona, al miglior rapporto tra studenti e residenti, all'uso più frequente degli ambienti scolastici. In sostanza, la scuola diventa motivo di orgoglio per l'intera comunità di riferimento.

Le community school in particolare sono scuole che nascono per rispondere alle esigenze delle popolazioni più svantaggiate (immigrati, famiglie dalle risorse economiche limitate e che risiedono in



fig. 4 Prima Community School, eretta nel 1916 in DeMun Avenue a Clayton, costituito da un edificio di quattro stanze

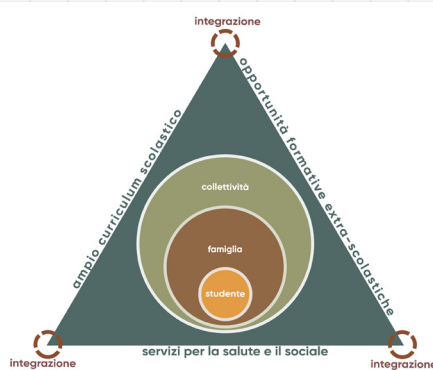


fig. 5 Il triangolo dello sviluppo

quartieri “problematici”, ecc.); affondano le radici alla fine dell'Ottocento in America con la fondazione dei primi villaggi urbani, in particolare per offrire servizi sociali e assistenza alla salute agli immigranti. Il paradigma delle community school può essere schematizzato con un triangolo al cui centro è posto lo studente, circondato dalla famiglia e dalla comunità. I lati del triangolo sono costituiti da 3 sistemi di sostegno: un forte curriculum; ampie opportunità formative; una gamma di servizi legati alla salute (anche mentale) e ai servizi sociali.

### 1.3.2 | 4+1 spazi formativi

All'interno del panorama nazionale attuale, che opera a favore di un rinnovamento del sistema didattico, si inserisce INDIRE, l'Istituto Nazionale di Documentazione, Innovazione e Ricerca Educativa, che rappresenta il più antico ente di ricerca del Ministero dell'Istruzione. Fin dalla sua nascita nel 1925, l'Istituto accompagna l'evoluzione del sistema scolastico italiano investendo in formazione e innovazione e sostenendo i processi di miglioramento della scuola. Sviluppa nuovi modelli didattici, sperimenta l'utilizzo delle nuove tecnologie nei percorsi formativi, promuove la ridefinizione del rapporto fra spazi e tempi dell'apprendimento e dell'insegnamento.

Su autonoma iniziativa di questo Ente è nato “Avanguardie educative”, un progetto di ricerca-azione con l'obiettivo di investigare le possibili strategie di propagazione e messa a sistema dell'innovazione nella scuola italiana. La nascita del progetto ha visto coinvolte 22 scuole fondatrici che hanno sottoscritto un «Manifesto programmatico per l'Innovazione» costituito da 7 «orizzonti di riferimento», che esplicitano ed animano la vision di «Avanguardie educative». Ad oggi, Avanguardie educative, è una vera e propria comunità di pratica ‘in crescendo’ che evolve, si trasforma e che nell'ultimo decennio ha aumentato di anno in anno il suo contingente, tra scuole capofila delle Idee e scuole adottanti che stanno sperimentando una o più di una delle Idee.

Nel 2013 il Miur ha incaricato Indire di analizzare la configurazione degli ambienti di apprendimento di alcune delle scuole più innovative a livello europeo e di elaborare un paradigma di riferimento per la produzione di nuove linee guida per l'edilizia scolastica italiana. Il gruppo di ricerca sugli spazi educativi ha successivamente proseguito il lavoro di approfondimento sviluppando il tema delle architetture scolastiche nelle sue diverse forme di correlazione con l'innovazione della didattica. L'esigenza di analizzare più approfonditamente il rapporto tra didattica e spazi educativi è emersa per tre motivi principali: l'attenzione per i risultati dei processi di apprendimento nel passaggio dalle conoscenze alle competenze, la necessità di sviluppare metodologie maggiormente centrate sullo studente, la domanda di più elevati standard di comfort rispetto alla vita scolastica all'interno degli edifici.

In questa ottica lo spazio diventa un oggetto specifico di analisi e studio. In particolare, nel percorso di ricerca sviluppato da Indire, l'ambiente di apprendimento è visto come un sistema ecologico. È un contesto in cui hanno un ruolo non solo l'insegnante e i materiali didattici ma anche lo spazio in cui gli studenti si muovono e che genera relazioni sociali e pratiche (Lefebvre 1991, Massey 1994). In tale sistema gli individui sono collocati in un contesto ambientale che presenta vari livelli di complessità e che influisce sul processo evolutivo del soggetto (Brofenbrenner, 1989). In base agli esiti della ricerca l'istituto presenta una nuova visione della scuola del terzo millennio in cui l'ambiente di apprendimento non coincide più solo con l'aula predisposta per la classica lezione trasmissiva, ma si configura come uno spazio multidimensionale e flessibile. In questo ambiente gli studenti possono studiare, lavorare e socializzare nel contesto di un “paesaggio didattico” (Weyland, Attia, 2015) in cui formale e informale diventano due dimensioni complementari dell'apprendimento. Strumento di supporto indispensabile per raggiungere gli obiettivi di una didattica innovativa diventa la tecnologia. L'uso delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione nella prassi didattica si è diffuso in maniera crescente nel corso

degli ultimi anni nelle scuole di ogni ordine e grado. Ecco che uno degli oggetti di studio maggiormente diffusi attualmente diviene proprio cercare di comprendere come sia possibile sfruttare al meglio gli strumenti tecnologici innovativi per arricchire la conoscenza e migliorare l'apprendimento. Il percorso di ricerca condotto da Indire ha cercato di stabilire una configurazione degli spazi educativi più efficace per l'apprendimento nel terzo millennio: il modello 1+4.



fig. 6 Lo schema 4+1 spazi educativi

“1” rappresenta lo spazio di gruppo, l'ambiente di apprendimento polifunzionale del gruppo-classe, l'evoluzione dell'aula tradizionale che si apre alla scuola e al mondo. Un ambiente a spazi flessibili in continuità con gli altri ambienti della scuola. “4” sono gli spazi della scuola complementari, e non più subordinati, agli ambienti della didattica quotidiana. Sono l'Agorà, lo spazio informale, lo spazio individuale e lo spazio esplorazione. Ciascuno di essi si caratterizza sia di un valore simbolico che di uno funzionale:

- spazio di gruppo



fig. 7 Spazio di gruppo open, Orestad Gymnasium, Danimarca



fig. 8 Spazio di gruppo Istituto di Istruzione Superiore "Pietro Scalcerle", Padova



Valore simbolico: luogo in cui i gruppi di studenti si raccolgono e costruiscono la propria identità;  
Valore funzionale: area che permette soluzioni flessibili per lo svolgimento di attività differenziate.

Si presenta come uno spazio estremamente flessibile che può includere fino a cinque tipologie di approccio didattico differente. L'approccio Creativo vede un ambiente di lavoro allestito per progettare in gruppo e realizzare video o prodotti col supporto di strumenti autoriali e tecnologie digitali. Può trattarsi ad esempio di attività di storytelling o finalizzate a un project work. L'ambiente offre strumenti per sceneggiare, elaborare, assemblare, montare contenuti multimediali in modalità partecipativa. In quello dell'Elaborazione si ha una disposizione allestita per lo svolgimento di prove individuali. L'ambiente è condiviso col gruppo-classe ma le postazioni sono isolate in modo tale da favorire la concentrazione del singolo e lo svolgimento di elaborati, test o altro tipo di verifiche in cui viene chiesto allo studente di applicare conoscenze e competenze personali. La configurazione Presentazione è caratterizzata da un allestimento "uno-a-molti" ottimizzato per la presentazione di lavori individuali o di gruppo. L'ambiente deve offrire strumenti per la visualizzazione condivisa su grandi monitor o schermi interattivi o per la proiezione di contenuti multimediali e sedute disposte per una visione ottimale, preferibilmente con tribunette per gli studenti.

Collaborazione presenta invece un ambiente adibito al coworking e al lavoro di gruppo. Negoziazione, pianificazione, manipolazione di materiali, elaborazione ed analisi condivisa di dati sono le attività tipicamente praticate in questo contesto. Tavoli e postazioni di lavoro, spesso disposte ad isola, dotate di accesso alla rete e di strumenti di acquisizione ed elaborazione dati.

Infine, Discussione ha un setting che promuove la dimensione comunicativa, i momenti di interazione, gli scambi di feedback, le attività di peer reviewing, la risoluzione di problemi e l'elaborazione di decisioni. Tutti gli studenti del gruppo-classe sono coinvolti in discussioni e confronti su problematiche condivise.

#### - agorà

Valore simbolico: luogo di incontro della comunità scolastica tutta. Lo spazio comunitario è la piazza della scuola, l'area della grande assemblea per la condivisione dei temi che coinvolgono potenzialmente tutti gli studenti, il personale della scuola e le famiglie. E' il simbolo della scuola come momento di condivisione e scambio reciproco.

Valore funzionale: ospita assemblee, riunioni collettive, feste, eventi in plenaria. Deve essere in grado di adeguarsi sia alle richieste per le attività quotidiane che a quelle di incontri straordinari. È oscurabile per consentire spettacoli e proiezioni nelle ore diurne. Può essere temporaneamente suddivisa internamente ricavando piccoli spazi per incontri occasionali e di socializzazione.

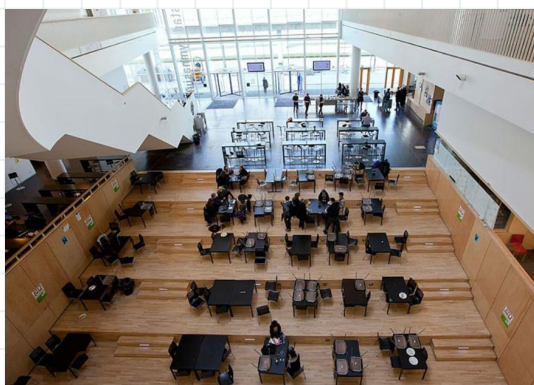


fig. 9 Agora, Ørestad Gymnasium School, Copenhagen



fig.10 Agora, Hellerup Skole, Hellerup

### - spazio informale

Valore simbolico: la scuola è abitata nella sua interezza. E' possibile percorrerla, viverla, appropriarsi di tutti gli spazi anche al di fuori dell'orario delle lezioni. Sedute morbide, divani, angoli di raccolta, luoghi aperti all'incontro sostituiscono corridoi angusti e strette scale per trasformare le zone di passaggio in luoghi del vivere insieme.

Valore funzionale: lo spazio offre sedute confortevoli e arredi soffici (divani, poltrone, cuscini, tappeti, pouf, ecc.). Gli studenti usano questi ambienti durante le pause di lezione e nel tempo libero per rilassarsi, riflettere, leggere, ascoltare musica o semplicemente per stare da soli e distrarsi usando i propri dispositivi elettronici.



fig. 11 Spazio informale, Ørestad Gymnasium School, Copenhagen



fig.12 Spazio informale, Hellerup Skole, Hellerup

### - spazio individuale

Valore simbolico: area con zone riparate, nicchie, ambienti raccolti e spazi dedicati dove ognuno può ritirarsi, leggere, riflettere, studiare. Un "ambiente personale" che si apre a forme di apprendimento informale. Si sviluppano competenze legate alla responsabilizzazione individuale e alla gestione autonoma del proprio tempo.

Valore funzionale: lo studente struttura autonomamente il proprio tempo attingendo a risorse disponibili o accessibili online. Organizza le proprie attività, riordina le idee utilizzando le diverse dotazioni tecnologiche.



fig. 13 Spazio individuale, Telefonplan Vittra School, Stoccolma

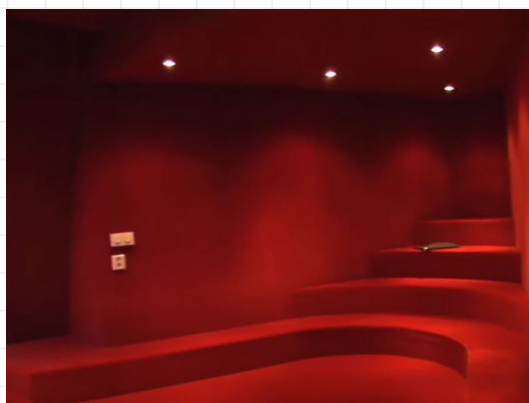


fig.14 Spazio individuale "Thea cave", Telefonplan Vittra School, Stoccolma

### - spazio di esplorazione

Valore simbolico: spazio della scoperta e punto di partenza per l'esplorazione dell'ambiente educativo e del mondo, luogo pensato per imparare facendo. Gli studenti sviluppano competenze per risolvere problemi, osservano fenomeni con strumenti dedicati, applicano strategie di intervento, si abituano ad

analizzare e descrivere gli esiti delle loro sperimentazioni.

Valore funzionale: può trattarsi di un atelier per attività di manipolazione, di un laboratorio disciplinare, di un maker space o un ambiente immersivo, potenziato da dispositivi elettronici e contenuti digitali. Il tratto comune delle diverse declinazioni dell'area per l'esplorazione è la presenza di strumenti e ambienti dedicati. Il modello proposto si basa su molteplici livelli di analisi (Bronfenbrenner, 1989) e propone una visione che si discosta dall'idea di scuola come somma di aule (Airoldi, 1978) per estendersi, oltre la dimensione didattica, al contesto sociale influenzando la qualità delle relazioni (Leemans e von Ahlefeld, 2013, Lefebvre, 1991).



fig.15 Laboratorio di canto, Scuola media Pascoli, Torino



fig.16 Science lab, Telefonplan Vittra School, Stoccolma

### 1.3.3 Riferimenti progettuali di scuole innovative: Vittra, Hellerup, Gymnasium

Il processo di studio di queste nuove forme innovative di didattica è stato indispensabile per permetterci di comprendere a pieno le logiche spaziali e pedagogiche migliori da adottare per raggiungere uno degli obiettivi principali della nostra tesi: il ripensamento degli spazi didattici. Si possono trovare esempi innovativi della progettazione e dell'utilizzo dello spazio ormai in varie zone del mondo: Giappone, Danimarca, Svezia ma anche in Italia.

Tra questi esempi abbiamo trovato spunti interessanti su cui modellare le nostre idee. In particolare, abbiamo assunto tre modelli di riferimento su cui impostare le linee guida della nostra missione di ripensamento degli spazi: Ørestad Gymnasium School (Danimarca), Vittra International School (Svezia), ed Hellerup School (Danimarca).

#### 1.3.3.1 Ørestad Gymnasium School, Copenhagen (Danimarca) - 2007

La scuola, un istituto di istruzione secondaria superiore (età 16-19 anni), si colloca in un'area nuova tra Copenhagen e l'aeroporto, edificata a partire dai primi anni del 2000, per farne un polo di sviluppo e training culturale in risposta alla crescente domanda da parte della popolazione e delle attività economiche di una Copenhagen in rapida espansione. La filosofia e il modello pedagogico sono stati elaborati dalla municipalità di Copenhagen che lo ha inserito in un bando vinto dallo studio 3XN, incaricato poi della progettazione della scuola. Il costo totale è stato di €27 milioni per 12.000 metri quadri. La struttura, inizialmente pensata per 715 studenti, ne ospita attualmente 1150 e continua a dare risposta alla richiesta che viene anche da parti della Danimarca più lontane. La scuola è interconnessa verticalmente e orizzontalmente.

Quattro planimetrie a forma di boomerang vengono ruotate per creare una grande blocco che forma la struttura complessiva dell'edificio: semplice e altamente flessibile. Quattro zone studio occupano una



fig. 17. Vista esterna Ørestad Gymnasium School, Copenhagen



fig.18 Sistema connessione interna Ørestad Gymnasium School, Copenhagen

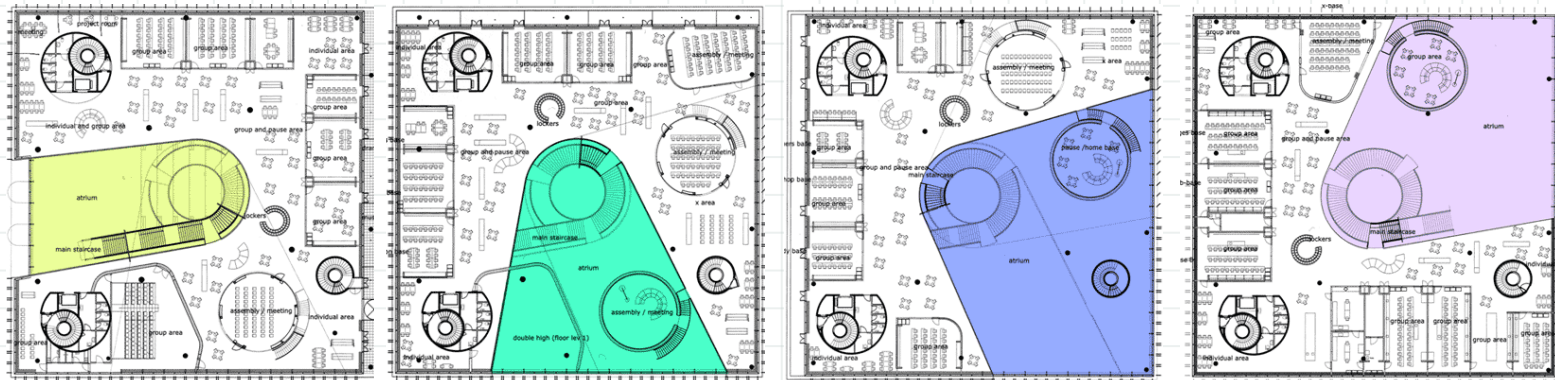


fig. 19 Piante Ørestad Gymnasium School, Copenhagen

pianta ciascuna. Evitare i cambiamenti di livello rende la flessibilità organizzativa estremamente elevata, consentendo ai diversi spazi di insegnamento e apprendimento di sovrapporsi e interagire senza confini distinti. Attraverso la vista della panoramica dall'alto si comprende la continuità tra ambienti chiusi e aperti, tra ambienti formali ed informali, con il ruolo centrale della scala che diventa luogo di incontro e, perché no, anche un posto dove muoversi. Oggetto per noi di grande interesse, oltre ad un'apertura generosa agli spazi e alle visuali, è stato anche l'uso della luce. La scelta di sfruttare la luce naturale filtrata dal soffitto è stata una scelta che abbiamo deciso di affrontare con attenzione anche noi all'interno del nostro progetto, ispirandoci al grande atrio centrale luminoso caratterizzante l'Ørestad Gymnasium School.



fig. 20 Atrio Ørestad Gymnasium School, Copenhagen

Accanto a questi aspetti innovativi, tesi a favorire la libertà di movimento all'interno di una dimensione attiva e costruttiva, ci sono quelli collegati all'uso delle tecnologie, anch'esse perfettamente integrate in questa visione estremamente organizzata, ma che lascia allo stesso tempo spazio al confronto e a istanze di socializzazione positive. È il caso delle postazioni PC a disposizione dei singoli studenti. Queste si trasformano in uno spazio privo di confini, ben diverso dalle aule computer a cui siamo stati abituati e scandite da muri; qui, la funzione, si integra completamente nello spazio circostante e viene identificata soltanto dagli arredi. Una scuola che non è fatta solo di aule si propone come luogo, dove l'idea di "apprendimento" sfocia verso l'esperienza della condivisione delle conoscenze attraverso progetti che gli stessi studenti elaborano. Per questo è importante che accanto allo spazio formale (il laboratorio, la classe) ci sia uno spazio informale (i cuscini, i tavoli della mensa, la scala come punti di incontro spontanei e naturali). Ecco allora che la classe può essere solo un aspetto della vita scolastica, perché ce ne sono molti altri che possono contribuire alla creazione di un clima positivo sia per chi studia e sia per chi insegna. Complessivamente, troviamo che questo istituto abbia dato un impulso concreto alla recente riforma della scuola secondaria in Danimarca e abbia notevolmente incrementato l'offerta dei servizi scolastici moderni all'utenza del territorio.

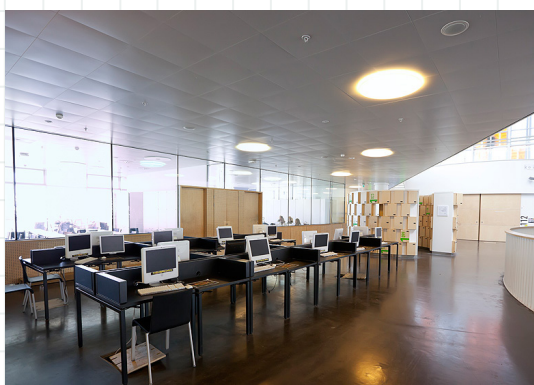


fig. 21 Postazione individuale pc, Ørestad Gymnasium School, Copenhagen

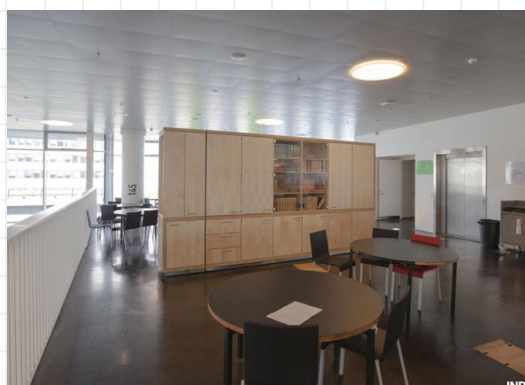


fig.22 Aula "open" con arredo flessibile, Ørestad Gymnasium School, Copenhagen

### 1.3.3.2 Vittra TelefonPlan, (Svezia) – 2011

La scuola si colloca in un'area industriale riqualificata come "polo creativo". L'area era di proprietà di una compagnia telefonica che ha poi lasciato il sito che è stato trasformato. Nell'area oltre a ristoranti, palestre e appartamenti sono stati inseriti le sedi dell'Accademia delle Belle Arti, la "Design Hall" e alcune gallerie. Accanto ai nuovi edifici esistono strutture che appartenevano al complesso industriale.



fig. 23 Vista esterna Telefonplan Vittra School, Stoccolma

Una di queste è la sede della scuola Vittra-Telephonplan. L'edificio ha una superficie di circa 600mq ed è strutturato su due livelli. La struttura della carpenteria telefonica è stata conservata creando un grande open-space, rialzato rispetto al livello della strada, all'interno del quale si collocano gli spazi in cui gli insegnanti e gli studenti fanno lezione. Dal sopraelevamento dell'area "didattica" è stato creato uno spazio dove è stata ricavata la mensa e alcune stanze che vengono adibite a laboratori.



fig. 24 Pianta Telefonplan Vittra School, Stoccolma

Il lavoro di gruppo gioca un ruolo chiave nella filosofia di Telefonpan. Le lezioni iniziano con una parte erogativa nel corso della quale i docenti spiegano i contenuti e danno le indicazioni per i lavori di gruppo che iniziano quasi subito. I ragazzi, molto responsabilmente e in maniera ordinata, si dividono in gruppi, raggiungono luoghi diversi della scuola a seconda del compito che devono svolgere e si riuniscono quando la docente dice loro di farlo. Non esiste la campanella, quindi ognuno di loro è tenuto a rispettare i tempi e le consegne. Se queste ultime non vengono completate devono essere portate a casa sotto forma di compiti. Queste attività vengono svolte in un'area chiamata "Il villaggio", identificata da arredi che richiamano abitazioni in miniatura che connotano "l'aula" di un valore evocativo molto familiare, che abbiamo trovato fortemente rappresentativo di una progettazione innovativa sotto il profilo pedagogico.



fig. 25 "Il villaggio", Telefonplan Vittra School, Stoccolma

Questo istituto rappresenta una grande innovazione dal forte impatto pedagogico, che abbiamo riscontrato anche nella rivisitazione dei laboratori. In questa scuola è presente il "Dance lab", un ambiente che ospita attività per educazione motoria, ma che può essere funzionale anche per giochi, balli o karaoke. L'importanza di un apprendimento collettivo, volto a migliorare le capacità interrelazionali degli studenti, non esclude quello singolo, altrettanto importante. Ecco che nella Vittra TelefonPlan troviamo degli spazi dedicati al singolo, le "Nicchie di concentrazione". Sono studiati in modo da permettere allo studente di isolarsi per trovare le condizioni ottimali in cui svolgere tutte quelle attività che non richiedono il coinvolgimento di altri soggetti ad esclusione del singolo. Possiamo dire che anche la Scuola Vittra Telefonplan si configura tra le scuole più innovative attualmente esistenti grazie ad una progettazione personalizzata impegnativa, alle zone pedagogiche e agli spazi pensati per il singolo studente. Tutto questo ha generato un tipo di apprendimento differenziato in una scuola in cui lo spazio fisico diviene lo strumento più importante della scuola nello sviluppo quotidiano e pedagogico dello studente.



fig. 26 Dance lab, Telefonplan Vittra School, Stoccolma

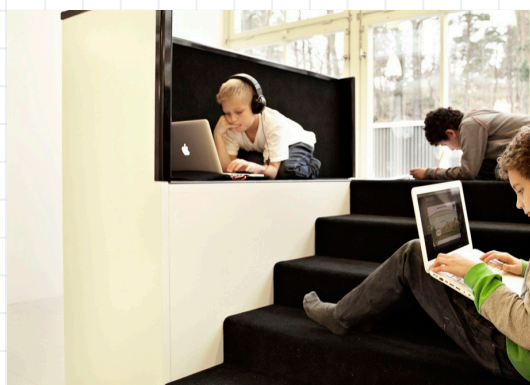


fig.27 Nicchie di concentrazione, Telefonplan Vittra School, Stoccolma

### 1.3.3.3 Hellerup Skole, Hellerup (Danimarca) - 2003

La scuola di Hellerup è costruita a un passo dal mare. Dalle finestre si può vedere il porto industriale di Copenaghen. La scuola, costruita nel 2003, nasce come proposta molto innovativa: disegnare un nuovo spazio di apprendimento per gli alunni del comune di Hellerup che dovranno frequentare la Folkeskole (scuola a ciclo unico che accoglie alunni dai 6 ai 16 anni). La scuola viene progettata con la partecipazione di esperti e degli stessi "utenti" del servizio scolastico: architetti, pedagogisti, rappresentanti delle istituzioni locali, ma anche dirigenti scolastici, docenti e famiglie.



fig. 28 Vista esterna Agora, Hellerup Skole, Hellerup

Il nuovo ambiente di apprendimento vede gli alunni al centro dello spazio, liberando la scuola dai retaggi del modello tradizionale della scuola di massa. Nel nuovo spazio non c'è l'aula-classe, intesa come un microcosmo chiuso, fatto di convenzioni e meccanismi consolidati. Così non c'è posto neanche per il banco, inteso come tavolo su cui scrivere e leggere soltanto per confezionare saperi di breve durata, che si disperdono dopo le interrogazioni.



fig. 29 Pianta tipo Hellerup Skole, Hellerup

Il cuore dell'edificio è l'ampia zona scala, che è molto più di un semplice vano scala che porta da un piano all'altro. Qui si svolgono numerose attività diverse: funge da zona di passaggio, insegnamento, lavoro di gruppo, presentazioni e proiezioni di film per riunioni più numerose – e all'occorrenza funge anche da postazione per pranzare. La peculiarità di questo istituto è quella di comporsi di "case" interne. Gruppi di alunni di tre "classi" di età contigue condividono una casa con una propria cucina, aree per il relax con grandi cuscini, tavoli e zone per il lavoro individuale e di gruppo. La "home-base", è una area esagonale non molto grande, quanto basta affinché il docente e il suo gruppo-classe possano incontrarsi e sedersi informalmente sui gradoni dell'esagono per condividere le indicazioni del lavoro da svolgere, i dubbi, i momenti di sintesi e la condivisione dei percorsi.

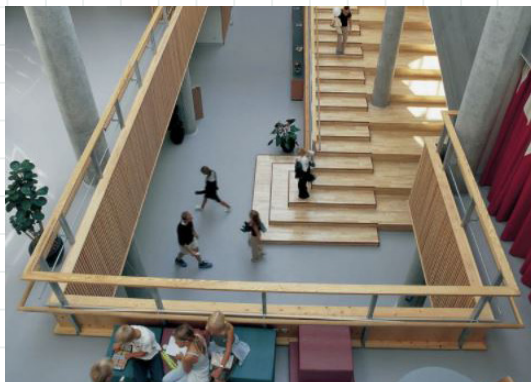


fig. 30 Scale ingresso Hellerup Skole, Hellerup



fig.31 "Home base", Hellerup Skole, Hellerup



Con l'ausilio di unità mobili – armadi, scaffalature e pareti divisorie – gli spazi domestici possono essere suddivisi in spazi più piccoli. Bambini che si muovono su e giù per la scuola, bevono l'acqua dal rubinetto del lavandino, aiutano il cuoco a preparare la tavola, studiano in coppia seduti sulle scale. Non mancano quelli che si spostano a bordo di uno skateboard o di un monopattino... eppure non c'è caos, non c'è confusione. La sensazione insomma è di essere in un unico grande appartamento, nel quale vive una grande famiglia. Ma dietro a questa organizzazione che ci mostra degli aspetti piuttosto affascinanti ci sono ragioni e strategie pedagogiche che giustificano un tale equilibrio sia sul piano educativo che su quello sociale. È proprio questa la forza di una scuola così all'avanguardia.



fig. 32 Spazio informale flessibile Hellerup Skole, Hellerup



fig. 33 Spazio informale flessibile Hellerup Skole, Hellerup





# 2

## Edilizia scolastica: gli schemi costruttivi della seconda meta' del 1900

2.1 introduzione alla prefabbricazione.....	
2.2 classificazione delle tecnologie costruttive prefabbricate.....	
2.3 edilizia prefabbricata scolastica.....	



La storia della prefabbricazione edilizia non è stata né lineare né rapida. Iniziata già nella prima fase della rivoluzione industriale con la prefabbricazione standardizzata di elementi, si sviluppa successivamente come prefabbricazione standardizzata di sistemi. Quest'ultima ha richiesto il raggiungimento di un determinato sviluppo del settore, sviluppo che non è stato disponibile prima della seconda metà del XIX secolo. Solo, infatti, con la meccanizzazione dei cantieri, la disponibilità di macchinari idonei al sollevamento, di mezzi di trasporto e di vie di comunicazioni facilmente agibili, ma anche di una evoluzione delle macchine nel settore edile, civile e industriale, la prefabbricazione come produzione di massa ha iniziato a diffondersi. Solo infine con l'automazione, ossia con lo sviluppo del digitale e di software applicativi come il Computer-Aided Design (CAD) e il Computer-Aided Manufacturing (CAM) e, successivamente, il BIM, la prefabbricazione si è potuta orientare all'individualizzazione di massa (mass customization), definendo una sorta di paradosso, dove i limiti della libertà individuale non sono visibili pur essendo posti e dove la massa contrasta il principio di individualità. Sorretti dal principio di libertà che le case prefabbricate sembrano sottendere, trovano spazio nuovi bisogni come il bisogno di individualità, di vicinanza con la natura e di permanenza, che concorrono all'illusione della qualità, della gioia e dello stile di vita. L'interesse per le case prefabbricate come prodotto di massa altamente individualizzato potrebbe crescere progressivamente: dette case si potrebbero sradicare dal terreno, diventare normali moduli trasportabili pronti ad occupare spazi fino ad ora non pensati per l'abitare.

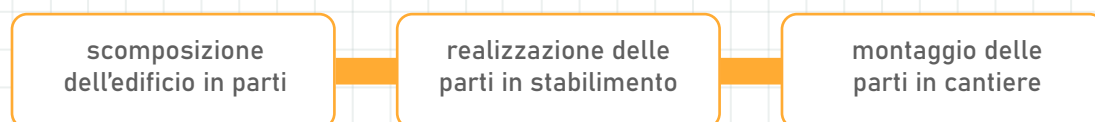
## Introduzione alla prefabbricazione 2.1

### 2.1.1 Concetti fondamentali della prefabbricazione

La prefabbricazione è un procedimento consistente nella preparazione, in luogo diverso dalla sede definitiva, degli elementi costitutivi di una struttura più o meno complessa e nel loro successivo trasporto e montaggio. Si tratta di una tecnologia che opera la scomposizione dell'edificio nelle sue parti componenti, realizza queste separatamente nelle sedi più idonee e trasforma il cantiere in un'officina di montaggio. I vantaggi conseguibili possono sintetizzarsi in:

1. maggiore rapidità di esecuzione della costruzione
2. minore spreco di materiali
3. riduzione nell'impiego di mano d'opera
4. miglioramento delle qualità dell'edificio.

Indispensabile all'affermarsi di un'edilizia prefabbricata è la presenza di una scala di intervento che giustifichi un procedimento di tipo industriale e di una programmazione nel tempo degli interventi per assicurare continuità alla produzione. La prefabbricazione incide, nei modi e nei tempi, sull'attività costruttiva che si svolge nella fabbrica: questa non è più sede esclusiva della realizzazione degli elementi costruttivi, i quali anziché essere realizzati nella loro sede definitiva, cioè in opera, vengono costruiti in ambiti esterni, cioè in stabilimenti distribuiti sul territorio: si ha così la prefabbricazione fuori opera. D'altra parte, l'ambito può essere esterno alla fabbrica ma interno al cantiere, che in questo caso comprende aree per prefabbricare componenti: si ha così la prefabbricazione a piè d'opera. Infine, sussiste la possibilità, apparentemente paradossale, di operare all'interno della stessa fabbrica, cioè nell'ambito



dell'area coperta dall'edificio: si hanno così la prefabbricazione a piè di fabbrica, che consiste nella realizzazione a terra, all'interno del perimetro di base del fabbricato, di componenti da collocare in quota per sollevamento. Il ricorso alla prefabbricazione dà la possibilità di ridurre oneri o complessità propri del costruire in sito: il pezzo prefabbricato può avere come attributo intrinseco l'eliminare una o più lavorazioni in opera, e può quindi essere tanto più conveniente quanto più elevato è il suo grado di semplificazione (GS), espresso dal numero e/o dal tipo di lavorazioni assorbite.



La prefabbricazione è totale quando l'opera è interamente formata da pezzi prefabbricati; si possono avere due modalità operative: montare in opera i componenti, e allora in questo caso permane la "fabbrica" come momento realizzativo; montare in stabilimento i componenti, e in questo caso scompare la "fabbrica" tradizionalmente intesa, dando così luogo a un'unica elementare operazione di collocazione in sito dell'opera (in generale di modeste dimensioni; per es. mobile-home) prodotta e trasportata sul posto completa. In ambedue le modalità la prefabbricazione coinvolge in modo complessivo l'opera sotto il profilo sia progettuale che esecutivo: diviene matrice di un sistema progettuale in cui l'oggetto è considerato preventivamente disaggregato in parti, ma suscettibile di riaggregazione. In quest'ottica la progettazione deve essere basata su precisi criteri di coordinamento integrale che assicurino ai componenti prefabbricati la combinabilità a livello dimensionale, l'effettiva accoppiabilità per intrinseci attributi morfologici e ben definite capacità prestazionali a livello d'insieme per quanto riguarda gli aspetti formali, statici e di comfort.

La prefabbricazione è parziale quando l'opera è soltanto in parte formata da elementi prefabbricati, i quali possono risultare pezzi "isolati" incorporati nell'ambito delle prevalenti parti realizzate in opera (per es. architravi e colonne in costruzioni murarie; porte e finestre inserite in muri costruiti in opera) oppure costituire insiemi coordinati, al limite un intero elemento di fabbrica: per es. chiusure verticali di tamponamento prefabbricate del tipo a pannelli in calcestruzzo o del tipo curtain-wall applicate in costruzioni a scheletro portante realizzato in opera; trince di solaio in costruzioni murarie tradizionali; edifici con scheletro portante in elementi prefabbricati e le altre parti realizzate in opera. A livello cantieristico si ha il cosiddetto sistema misto (compresenza di prefabbricazione e di lavorazioni in opera) che richiede, specie sul piano tecnico-economico, un coordinamento progettuale ed esecutivo abbastanza complesso per contemperare le esigenze delle due modalità operative.

## 2.1.2 Cenni storici della prefabbricazione

La storia della prefabbricazione in Occidente inizia nel XVI secolo con la colonizzazione britannica, con insediamenti nell'attuale India, in Medio Oriente, in Africa, Australia, Nuova Zelanda, Canada e Stati Uniti, conseguentemente ad un'elevata richiesta di edifici adeguati a soddisfare un bisogno di insediamento rapido. Poiché gli inglesi non conoscevano molti dei materiali presenti in abbondanza in questi paesi, i componenti sono stati fabbricati in Inghilterra e spediti via mare in varie località del mondo. Il primo di questi casi fu registrato nel 1624, quando le case furono preparate in Inghilterra e inviate al villaggio di pescatori di Cape Anne in quella che oggi è una città in Massachusetts. I prefabbricati necessari alle colonie consistevano in strutture semplici, tipo capannone, con telai in legno pregiato, rivestiti con assi per esterno, tagliati e fissati in loco. Un primo esempio di prefabbricato va però attribuito al costruttore inglese H. John Manning. Egli disegnò un cottage confortevole e di facile costruzione per suo figlio, che

nel 1830 si apprestava ad immigrare in Australia. Successivamente noto con il nome di theManningPortable ColonialCottage for Emigrants, il cottage consisteva in un sistema di strutture di legno prefabbricate e componenti di riempimento standardizzati e intercambiabili (fig.1).

Conseguentemente all'avvento dell'era industriale, si è verificata una progressiva valorizzazione del calcestruzzo e dell'acciaio, che contribuì anch'essa allo sviluppo e alla storia della prefabbricazione.

Un altro contributo derivante dal movimento di colonizzazione inglese fu l'uso del ferro prefabbricato a scopo edile. Componenti come architravi, finestre, colonne, travi e capriate vennero prodotte in una fonderia e fabbricati in un'officina. Come i prefabbricati di legno, le prime costruzioni in ferro non erano così ampiamente diffuse come oggi, ma hanno dato il via agli inizi del movimento dell'acciaio strutturale negli Stati Uniti e altrove. Uno dei primi impieghi del ferro nel Regno Unito fu per la costruzione del Coalbrookdale Company Bridge del 1807, quasi interamente prefabbricato ed eretto in loco (fig.2).

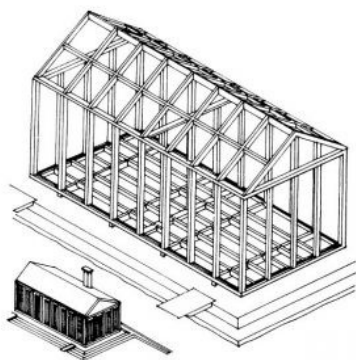


fig.1 The portable Cottage, John Manning, 1830



fig.2 Coalbrookdale Company Bridge, 1807

Questo ponte fu seguito dalla costruzione di una serie di ponti in Inghilterra, serie che progressivamente permise la razionalizzazione dei processi di produzione ed erezione. I pezzi furono standardizzati, prodotti ripetutamente e spediti sul posto, per essere costruiti da un numero inferiore di lavoratori non esperti, con un risparmio di tempo e costi rispetto alla tradizionale costruzione artigianale in legno o in muratura. Questa sequenza di architetture prefabbricate combinate ad un sapiente uso del ferro troverà la sua massima espressione nel Crystal Palace (fig.3), un edificio pubblico realizzato nel 1851 dal giardiniere Joseph Paxton, in occasione dell'esposizione mondiale del 1851 a Londra. Paxton aveva sviluppato la sua opera in collaborazione degli ingegneri Fox e Henderson, in base alle sue esperienze professionali relative alla costruzione di serre. Si trattava di un edificio imponente, costituito da un'intricata rete di ghisa in grado di sostenere pareti di vetro. Lo scheletro era stato creato tramite l'assemblaggio di diversi elementi prefabbricati secondo un ordine modulare. Le lastre di vetro erano dei moduli costruttivi di un sistema reiterativo. Le lastre di vetro misuravano 1,22 metri che, per l'epoca, erano ritenute 'grandi'. Il corpo principale dell'edificio misurava 564 metri di lunghezza, 124 metri di larghezza e – al punto centrale – 40 metri di altezza. La costruzione occupava circa 7 ettari di suolo e la sua superficie era di 92'000 metri quadrati. La progettazione del Crystal Palace, iniziata il 1° agosto 1850, si è conclusa in 7 settimane con attività giornaliera di 18 ore. La realizzazione, iniziata nel gennaio del 1851, si è conclusa in 17 settimane, con cicli lavorativi di 18 ore al giorno. Sono state montate 3300 colonne alte dai 5 ai 7 metri, 34 miglia di condutture di scarico, 2224 travi e 1128 pilastri, tutti in ghisa. Il montaggio della copertura era stato fatto tramite un carrello mobile, che aveva consentito la collocazione, da parte di 80 operai, di 18'332 lastre di vetro in una settimana.

Mentre il panorama inglese cavalcava l'onda della prefabbricazione da tempo, l'approdo della prefabbricazione in America si identifica con l'imprenditore e costruttore americano James Borgardius, che solo nel 1848, ispirato da un viaggio in Inghilterra, eresse a New York il suo edificio di quattro piani,



the James Bogardus Factory la cui facciata era costruita completamente con elementi prefabbricati di ghisa. Questi elementi potevano essere decostruiti per essere nuovamente assemblati in altro luogo.



fig. 3 Joseph Paxton, The Crystal Palace at Sydenham Hill, Londra, 1851

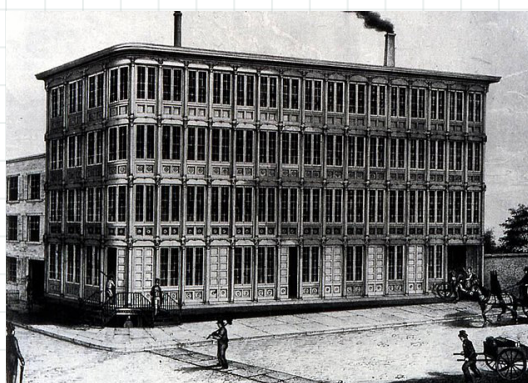


fig. 4 James Bogardus, Factory, New York City, 1848-49.

Più tardi, con la scoperta e l'utilizzo del cemento armato nell'edilizia, è stato possibile realizzare solette, pareti divisorie e pilastri prefabbricati. Le prime travi portanti prefabbricate sono state messe in opera dall'architetto francese Edmond Coignet, il quale nel 1891 ha realizzato, con la sua impresa, un altro imponente edificio pubblico: le Casino de Biarritz, costruito con travi in calcestruzzo armato prefabbricate. Più tardi, con la scoperta e l'utilizzo del cemento armato nell'edilizia, è stato possibile realizzare solette, pareti divisorie e pilastri prefabbricati. Le prime travi portanti prefabbricate sono state messe in opera dall'architetto francese Edmond Coignet, il quale nel 1891 ha realizzato, con la sua impresa, un altro imponente edificio pubblico: le Casino de Biarritz, costruito con travi in calcestruzzo armato prefabbricate. All'inizio del ventesimo secolo, in particolare nel Nord America, nel pieno della crescente rivoluzione industriale e la piena adozione della "framing balloon construction", l'idea di produrre dei kit per costruire case prefabbricate di legno pretagliato era diventata comune. Tra i produttori di kit di costruzione si era distinta la Aladdin Home americana, costituita nel 1906 dai fratelli W.J. e O.E. Sovereign, che credevano che il concetto di produzione di massa potesse essere applicato alla costruzione di case prefabbricate. Essi commercializzavano quello che chiamavano il sistema "Readi-Cut" in cui tutto il legname necessario per costruire una casa completa era prefabbricato in una officina e consegnato sul luogo di montaggio. Questo processo permetteva di evitare gli sprechi associati alla costruzione in loco, aumentare la velocità di produzione, migliorare la precisione e quindi consentire agli acquirenti di montare la propria casa indipendentemente. Sebbene Aladdin Home sia stata la prima a realizzare sistemi di produzione di legname prefabbricati per questo tipo di costruzioni (framing balloon construction), la Sears Roebuck and Co., con il loro marketing e il loro potere finanziario, è stata in grado di sostenere gli sforzi per mantenere viva la prefabbricazione nel corso degli anni Trenta del secolo scorso. Il successo della Sears Roebuck and Co. fu in gran parte dovuto all'abilità di offrire una varietà di opzioni di case e di finanziarle. Offrire alloggi basati su modelli, sia che si tratti di un catalogo o di un villaggio di case modello, rimane il metodo su cui molti costruttori di case si basano oggi, completo di finanziamenti. Sears ha preso le idee di Aladdin e ha creato un modello di business forte associato ad una esperienza nella spedizione per corrispondenza. Alla fine, sia Sears che Aladdin sono fallite e hanno ritirato sia i cataloghi che la produzione. Questo fallimento è stato in gran parte attribuito alla grande depressione e alla crisi abitativa dei primi anni '20 e '30 del XX secolo. Il contributo alla prefabbricazione di Sears e Aladdin non fu nella progettazione architettonica, ma nel fornire un sistema più efficiente di componenti pronti all'uso, una forte strategia di marketing, e un accesso ad una ampia varietà all'interno di un prodotto standardizzato per il consumatore.

Grazie allo sviluppo della prefabbricazione di materiali quale il ferro e il calcestruzzo armato in par-

ticolare, l'industria ha iniziato a orientarsi nella prospettiva della razionalizzazione, della produzione in serie e della produzione di massa. A porre le basi a questo sviluppo contribuì anche l'architetto e paesaggista svizzero e francese Le Corbusier. Egli, appropriatosi degli sviluppi tecnici e formali dell'industria, riuscì ad influenzare diversi architetti del suo tempo. Nel 1914, sulla base del suo pensiero, sviluppò la sua casa Domino un sistema di costruzione di prefabbricati in serie di beton, costituito da piloni e solette, che rivoluzionerà quelle che erano le tecniche di costruzione dell'epoca.

Anche l'architetto statunitense Frank Lloyd Wright contribuì alla storia della prefabbricazione con la cosiddetta "Assembled House". Questo tipo di casa era costruita con unità standardizzate modulari. Nel 1916 Wright disegnò un sistema di prefabbricati di legno per famiglie singole, secondo il sistema "balloon framing", e successivamente progettò altri sistemi sul genere del precedente, nessuno dei quali ebbe però successo: egli esigeva un'alta qualità che implicava costi elevati, inaccessibili alla maggior parte. Il più grande successo di Wright furono le "Usonian homes" di cui la casa Jacobs nel Wisconsin è un esempio.

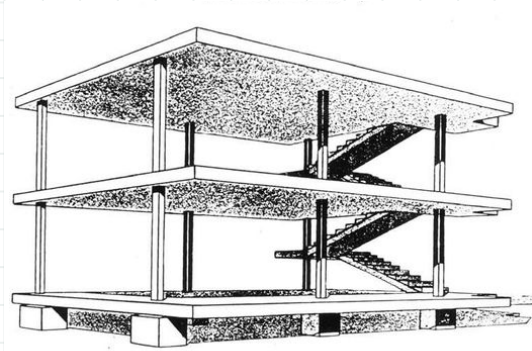


fig. 5 Le Corbusier, la Maison Domino, 1914,



fig.6 Lloyd Wright, The Usonian Homes, 1939,

I primi tentativi di costringere l'industria delle costruzioni ad adottare sistemi di prefabbricazione si sono rivelati piuttosto dannosi. La mancanza di strumenti per integrare la costruzione alla prefabbricazione industriale dei diversi materiali da costruzione ha fatto sì che tale industria non riuscisse a 'decollare'. Il clima che si respirava nell'ambito della prefabbricazione edilizia non era positivo e questo perdurò fino agli anni del dopoguerra, quando qualcosa è cambiato.

Anche in Europa, già all'inizio del XX secolo, si verificarono i primi tentativi di costruire case prefabbricate di legno. Questi tentativi non hanno però dato origine allo sviluppo sperato. Il metodo di costruzione definito "framing balloon", utilizzato e diffuso in America all'inizio del XX secolo, non poteva essere adattato al contesto europeo, in quanto presentava degli aspetti non a norma per poter essere applicati.

### 2.1.2.2 Il panorama italiano

Il clima generale che caratterizzava lo stato dell'edilizia scolastica italiana non era positivo: nei primi anni del secolo gli eventi tragici del terremoto di Messina e della Marsica posero ai tecnici dell'epoca problemi di rapida sistemazione delle attrezzature di civile convivenza nei paesi devastati; prime fra queste le scuole. Sembra che nelle agglomerazioni di baracche che sorsero al posto degli abitati distrutti, le sedi dell'istruzione fossero ricavate negli stessi edifici che furono eretti per le abitazioni.

Nel primo dopoguerra, invece, l'edilizia scolastica, almeno in quelle città che furono sedi di grandi inurbamenti, fece ricorso in misura abbastanza diffusa per l'epoca, a strutture edilizie in qualche modo industrializzate per sopperire con rapidità alla grande carenza di edifici adatti.

Si trattava di padiglioni impostati su sistemi di prefabbricati per lo più in legno, che ebbero origine dalla grande e forzata esperienza delle costruzioni belliche (baraccamenti, depositi, ospedali militari, etc.),

e che presentavano, seppure in forma embrionale, interessanti riferimenti evolutivi quali la grigliatura dimensionale relativa ad alcuni elementi costitutivi, la preparazione fuori opera dei pezzi, la ripetibilità delle strutture e delle partizioni. Gli anni fra il 1930 ed il 1940 non fecero registrare tentativi o realizzazioni di rilievo; quello fu piuttosto il periodo degli esperimenti sui nuovi materiali, che ebbe origine però più che da una reale spinta di evoluzione e di progresso tecnico, dal particolare contesto economico connesso alla politica autarchica sviluppatasi anche in direzione tecnologica; fu il periodo delle costruzioni semplici e leggere, dei conglomerati e dei pressati.

Il secondo dopoguerra si aprì invece con un rigoglio di fermenti; anche questa volta le necessità belliche furono fautrici di esperienze sia tecniche che industriali. Tutti i materiali (cemento, legno, leghe leggere, etc.), e tutte le tecniche produttive furono impiegate ad usi bellici, ed adoperate in maniere spesso inusuali ma sempre interessanti. Ed anche le scuole, nei campi d'addestramento, trovarono sede sotto le volte ondulate delle baracche di lamiera.

Come trattato nel paragrafo precedente, la riconversione bellica, ed ancora in Inghilterra ed in Francia la necessità della ricostruzione, costrinsero l'edilizia scolastica a nuove esperienze, secondo nuove strade, dando luogo a diversi ed interessanti tentativi di industrializzazione e di progettazione, utilizzando a tale scopo proprio quelle esperienze, tra le più varie e composite, che furono effettuate nel corso degli anni della guerra. In Italia si deve alla costanza di alcuni pionieri e all'opera degli ambienti di cultura specializzata (primi fra tutti ricordiamo il Consiglio Nazionale delle Ricerche con i noti studi e documenti sull'edilizia, ed il Centro Studi dell'Edilizia Scolastica del Ministero P.I. per quanto concerne il settore specializzato) se tali esperienze vennero registrate e rielaborate, in attesa del giorno dell'impiego pratico.

## 2.1.3 Elementi strutturali prefabbricati di principale produzione

### 2.1.3.1 Travi

Le travi in calcestruzzo armato ordinario o precompresso correntemente prodotte in stabilimento coprono per tipologia e luci di esercizio una casistica molto ampia. Di seguito si riportano i principali tipi maggiormente utilizzate, delle loro caratteristiche e delle correnti luci d'impiego. I valori indicati discendono da una ricerca riguardante le caratteristiche di produzione dei principali stabilimenti italiani.

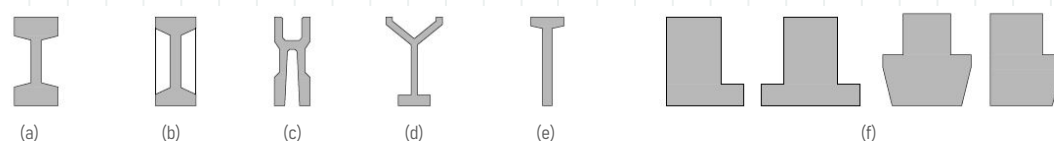


fig. 7 principali sezioni di travi prefabbricate

### 2.1.3.2 Elementi da impalcato

I solai si suddividono in parzialmente o totalmente prefabbricati. Questi ultimi, a loro volta, possono essere dotati o meno di un getto in opera integrativo collaborante. Si riassumono di seguito tipi e caratteristiche di utilizzo delle soluzioni prodotte correntemente.

\* escluso eventuale getto integrativo in c.a. di spessore 5/10 cm;

\*\* relativa al singolo travetto;

\*\*\* relativa all'intero solaio, escluso il getto integrativo di 5/6 cm all'estradosso.

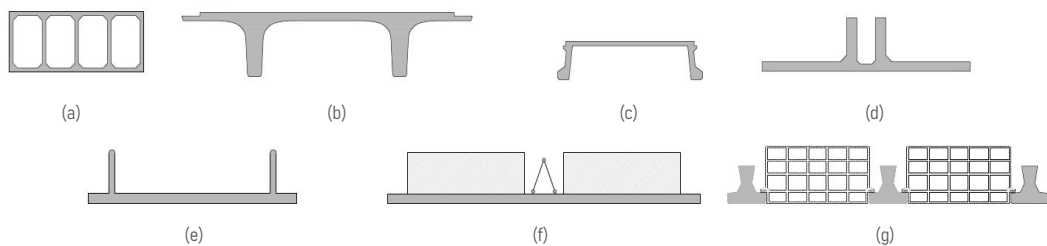


fig. 8 principali sezioni di elementi di impalcato prefabbricato

### 2.1.3.3 Tegoli alari di copertura

La categoria degli elementi alari comprende una varietà di soluzioni molto ampia, di seguito si riportano solo le tipologie principali. Generalmente ogni prefabbricatore si contraddistingue rispetto agli altri proprio per l'elevato livello di conoscenza e di specializzazione raggiunto nella produzione di un particolare tipo di tegolo alare. Ciò è giustificato dal fatto che tali elementi rappresentano la sintesi dell'evoluzione degli elementi di copertura (travi e solai) descritti nelle precedenti due tabelle.

Pur nella grandissima varietà di casi, i tegoli alari rispettano solitamente i seguenti standard: sagoma di larghezza massima 2.50 m e altezza al bordo compresa fra 0.80 e 1.20 m; spessore minimo dei setti non minore di 5 cm; luce massima raggiungibile intorno ai 32 m (in alcuni casi superiore); interasse trasversale fino a 6 m (nel caso dei tegoli ad ali curve, la copertura può essere completata con lastre di spessore circa 5 cm aventi un profilo longitudinale curvilineo compatibile con il profilo della sezione trasversale dei tegoli stessi). I tegoli alari sono in genere utilizzati in combinazione con travi di bordo a "I" o ad "H". La sezione può essere ad altezza costante oppure variabile (con inclinazione dell'estradosso in genere molto più contenuta rispetto al caso delle travi a doppia pendenza), appositamente studiata al fine dell'ottimizzazione della quantità di materiale utilizzato. Le forme caratteristiche sono a V, a Y, ad ali curve (in tutti i casi con l'anima a cassone o meno), a  $\Pi$ , a  $\Omega$ .

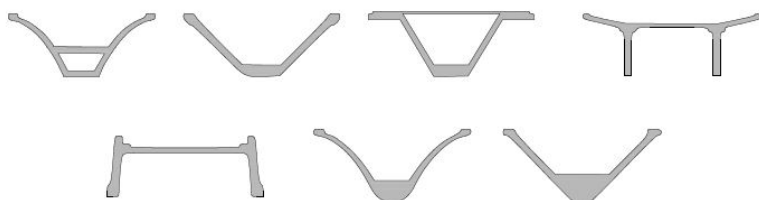


fig. 9 principali sezioni di elementi di tegoli alari di copertura

### 2.1.3.4 Pilastri

I pilastri prefabbricati sono solitamente realizzati in calcestruzzo armato normale e sono costituiti da elementi monolitici incastrati alla base aventi il compito di sostenere l'orditura principale di uno o più orizzontamenti. I pilastri precompressi sono caratterizzati da uno scarso impiego, ma sono comunque previsti come soluzione estrema nei casi di elevata eccentricità dei carichi applicati.

La sezione minima è generalmente quadrata intorno ai 45 cm, in funzione dei carichi agenti, dell'altezza del pilastro, dei conseguenti problemi di instabilità e dell'eventuale presenza e dimensione del pluviale incorporato. Sono previste e realizzate anche sezioni rettangolari in cui il lato maggiore può superare i 100 cm. Una variante è costituita dai pilastri cosiddetti ad "H", che presentano scanalature trapezoidali lungo i fianchi per l'alloggiamento dei pannelli di tamponamento. Nei pilastri interni, tali scanalature possono essere presenti su tutti i quattro lati della sezione. Nel caso di strutture pluripiano, le dimensioni delle sezioni del pilastro possono essere variabili ad ogni interpiano a scopo di ottimizzazione strutturale ed economica, ma con il pilastro stesso che, comunque, è realizzato in un unico blocco.

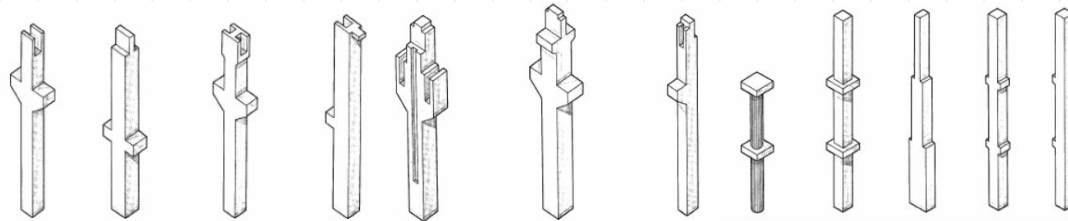


fig. 10 principali tipologie di pilastri prefabbricati

L'altezza massima è limitata da vari fattori correlati fra loro, quali: instabilità, dimensioni della maglia, schema vincolare, presenza di controventamenti, numero di piani. Le altezze massime, riferite sempre ad elementi monolitici senza riprese o collegamenti, mediamente sono di 14 m; esistono tuttavia casi molto limitati in numero, in cui mediante un unico getto, sono stati raggiunti i 30 m. Per altezze maggiori, oppure quando lo suggeriscano considerazioni di economicità del trasporto o del montaggio, si utilizza l'assemblaggio in opera di due o più tronchi prefabbricati. L'armatura è quella tradizionale di elementi in c.a., con la particolarità che, date le dimensioni della sezione trasversale, sono molto rari i problemi legati alla verifica a taglio.

I pilastri sono adeguatamente conformati alla base per essere inseriti in plinti a pozzetto, mentre in sommità sono predisposti per consentire l'appoggio ed il controventamento delle travi primarie dei vari sistemi di copertura. Alla quota di connessione con le strutture orizzontali il pilastro è sagomato (rastremato) o completato su diversi lati con componenti strutturali come mensole rettangolari, semplici o multiple, posizionabili su qualunque faccia del pilastro, che permettono l'appoggio, anche a scomparsa, delle travi primarie. È da notare che le mensole sono gettate in stabilimento nello stesso cassero del pilastro e che tale cassero è posizionato in direzione orizzontale; per questo motivo è possibile gettare solo tre mensole, mentre la quarta dovrebbe essere tassellata, non trascurando le problematiche legate alla resistenza al fuoco di tale componente strutturale. In genere possono essere previste:

- mensole in c.a. per il sostegno delle travi principali di impalcati intermedi;
- mensole in c.a. per il sostegno delle vie di corsa (travi metalliche) dei carroponti;
- mensole in c.a. disposte sulla faccia esterna dei pilastri perimetrali per la realizzazione di eventuali pensiline (lunghezza massima generalmente intorno a 2.0 m);
- mensole metalliche ed inserti per l'appoggio ed il fissaggio dei tamponamenti.

### 2.1.3.5 Sistemi di fondazione

Il sistema di fondazione tradizionalmente utilizzato è costituito da plinti a pozzetto poggianti su sottofondazioni armate, queste ultime realizzate con un calcestruzzo di prestazioni inferiori rispetto agli elementi in elevazione. Le possibili alternative sono costituite dall'utilizzo di pali prefabbricati o di fondazioni superficiali nastriformi, rispettivamente nel caso di scarsa capacità portante del terreno o di problemi di verifica strutturale del plinto.

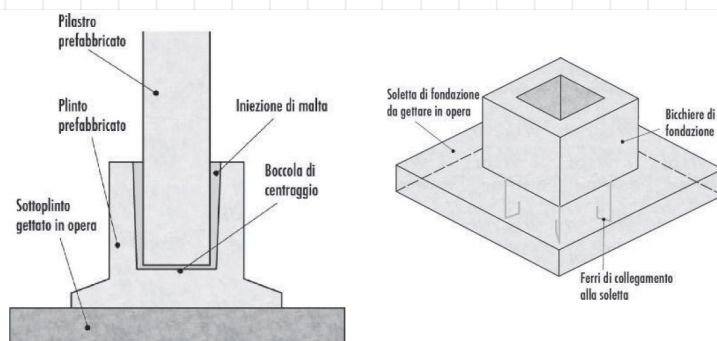


fig. 11 sistema di fondazione con plinto a pozzetto

### 2.1.3.6 Pannelli di tamponamento

I pannelli di tamponamento sono classificabili come elementi non strutturali aventi funzioni estetiche e tecnologiche (isolamento termico ed acustico). Dal punto di vista strutturale-realizzativo, essi si suddividono in:

**1 pannelli monolitici:** sono notevolmente più pesanti rispetto alle due precedenti categorie, tanto che, a parità di dimensioni, gli spessori comunemente utilizzati devono necessariamente essere dell'ordine di 10cm. Nonostante il peso ne limiti in molti casi l'utilizzo, essi trovano applicazione particolarmente quando sono richieste prestazioni meccaniche eccezionalmente elevate, oppure come pareti tagliafuoco, il cui peso grava direttamente sul cordolo di fondazione. La capacità coibente è in genere relativamente scarsa. Il peso di tali elementi può essere parzialmente ridotto mediante l'utilizzo di aggregati leggeri.

**2. pannelli alleggeriti (a travetti):** costituiti da un telaio perimetrale e da un sistema di travetti armati orizzontali e verticali con interposte parti di materiale di alleggerimento (es: polistirolo). Lo spessore standard è pari a  $t=20$  cm. La lunghezza L (o lato maggiore) è variabile fino ad una dimensione massima di circa 4.50 m (mediante la larghezza è di circa 3.0 m). Il peso di questi elementi può essere di circa  $4.00 \text{ kN/m}^2$ . Pannelli di questo tipo sono caratterizzati da una certa capacità coibente e da un valore piuttosto elevato del rapporto capacità resistente fuori piano/peso proprio; per questo motivo pannelli di questo tipo si prestano particolarmente ad essere utilizzati come elementi di chiusura esterni;

**3. pannelli a strati (o pannelli sandwich):** così chiamati perché sono costituiti da un sistema di strati aventi funzioni diverse, in grado di garantire prestazioni coibenti molto elevate; generalmente la composizione base prevede uno strato portante interno costituito da una lastra in calcestruzzo armato, più strati intermedi coibenti e di alleggerimento (eventualmente anche camere d'aria), uno strato esterno di protezione e finitura superficiale;

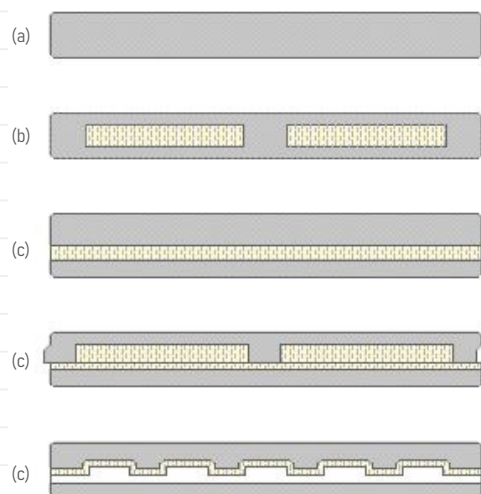


fig.12 tipologie di pannelli di tamponamento prefabbricati  
(a) pannelli monolitici; (b) pannelli alleggeriti; (c) pannelli sandwich

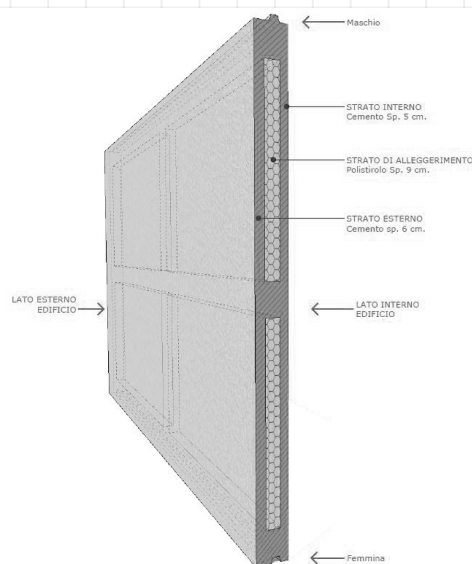


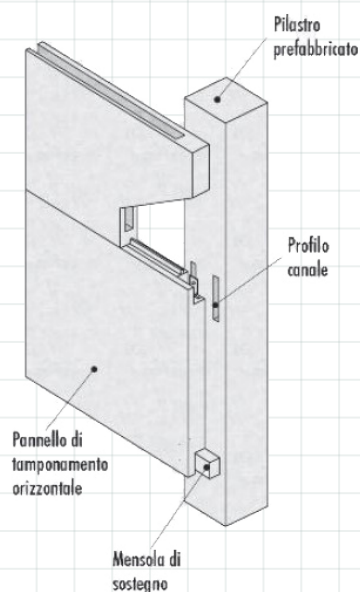
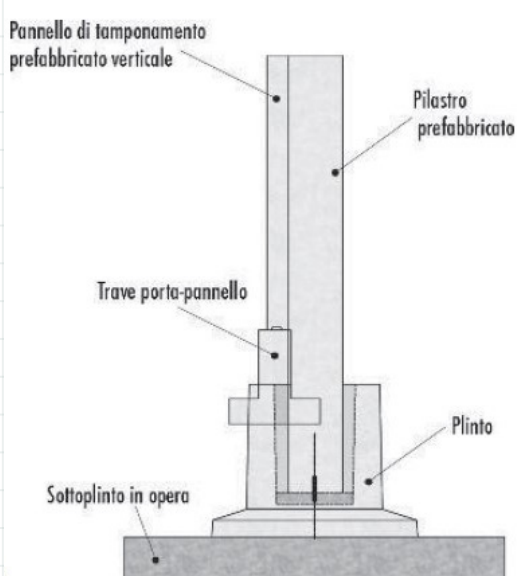
fig.13 schema elementi costitutivi pannello di tamponamento alleggerito

In base all'orientamento, i pannelli possono essere suddivisi in:

- **pannelli orientati verticalmente:** sono appoggiati inferiormente sul cordolo di fondazione (mediante una connessione meccanica sagomata) e in parte sui plinti, mentre superiormente sono semplicemente vincolati nei confronti della traslazione orizzontale. Tale vincolo superiore non è necessariamente posto alla quota massima del pannello, in quanto può essere prevista una veletta superiore; questa soluzione è particolarmente utilizzata nel caso di copertura a falde con travi a doppia pendenza, in modo

tale che l'estremità superiore del pannello si trovi sempre ad una quota maggiore o uguale rispetto all'estradosso della trave o dei tegoli di copertura. I pannelli verticali sono necessariamente posizionati in corrispondenza della faccia esterna dei pilastri e vengono utilizzati in presenza di luci in genere maggiori di 12 m, qualora non si volesse ricorrere a pilastri intermedi reggipannello;

- **pannelli orientati orizzontalmente**: questa categoria può essere ulteriormente suddivisa in pannelli appesi ai pilastri e pannelli gravanti direttamente in fondazione. Nel primo caso i pannelli possono essere posizionati sia sulla faccia esterna dei pilastri, oppure sulle facce laterali in corrispondenza delle quali sono ricavate apposite asole verticali (come specificato precedentemente); i vincoli pannello-pilastro sono realizzati mediante inserti metallici. Il secondo caso è risolto anch'esso mediante pannelli infilati nei pilastri, ma senza connessioni pannello-pilastro. In questo caso i pannelli sono rinforzati in corrispondenza degli spigoli mediante angolari metallici ed "impilati" uno sull'altro, in modo tale che il loro peso viene trasmesso direttamente al cordolo di fondazione.



### 2.1.3.7 Connessioni

La corretta progettazione delle connessioni fra i diversi componenti strutturali riveste particolare importanza nella realizzazione di edifici ad elementi prefabbricati. Le unioni realizzate fra i componenti strutturali in funzione delle diverse modalità esecutive possono configurarsi staticamente come vincoli di grado diverso. In generale si possono distinguere:

- unioni a secco, ottenute per semplice contatto fra i componenti strutturali e presenza di inserti metallici; per regolarizzare il contatto e distribuire gli sforzi in modo ottimale evitandone possibili concentrazioni dovute ad irregolarità delle superfici, talvolta gli elementi sono appoggiati mediante dispositivi in neoprene. Nel caso di sollecitazioni particolarmente elevate possono essere utilizzati appoggi rinforzati oppure piastre d'acciaio;
- unioni gettate in opera, ottenute per mezzo di getti di calcestruzzo in cantiere, previa aggiunta di armatura metallica di richiamo.

La soluzione a secco è quella maggiormente utilizzata, in quanto di modesta difficoltà realizzativa e, contemporaneamente, associata alla massima velocità di montaggio. La soluzione gettata in opera, invece, non ha mai riscontrato particolare successo per diversi motivi, il principale dei quali è la velocità di montaggio notevolmente ridotta.

Di seguito si illustrano le modalità di realizzazione delle principali connessioni strutturali a secco, in quanto tradizionalmente impiegate nella pratica costruttiva italiana.

#### a. Connessione trave-pilastro

Nel caso di solai intermedi, la soluzione tipica prevede il pilastro passante dotato di mensole a quote intermedie e le travi appoggiate tramite cuscinetti in neoprene. In genere la trave è vincolata alla mensola mediante un tirafondo verticale.

Nel caso di copertura, l'appoggio di travi I, L, T rovescio sulla parte terminale del pilastro è risolto con la testa piatta eventualmente mediante un allargamento quando le dimensioni trasversali della trave rispetto a quelle del pilastro siano tali da non garantire in fase di montaggio la sua stabilità laterale. In presenza di travi a doppia pendenza, generalmente di sezione snella, viene adottata una soluzione a forcella.

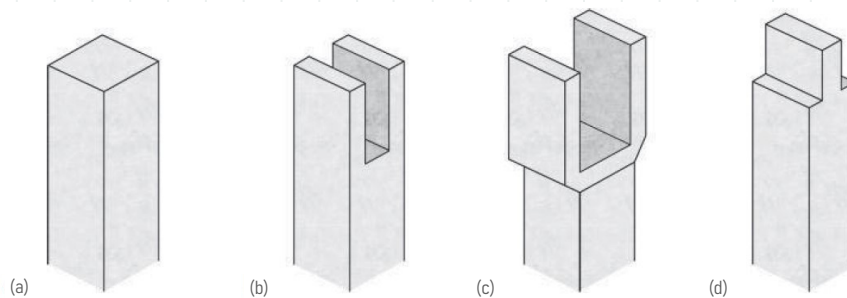


fig. 16 morfologia delle teste dei pilastri: a) a testa piatta per l'alloggiamento di travi rettangolari, a I, a L e T rovescio; b) e c) a forcella e a forcella allargata per l'alloggiamento di travi a doppia pendenza; d) a tenone per l'alloggiamento di travi H.)

La trave H viene di norma appoggiata su uno strato di neoprene e stabilizzata con un tenone centrale. Il meccanismo di trasferimento delle azioni sismiche orizzontali e verticali ai pilastri è risolto nella quasi totalità dei casi mediante:

- tirafondo verticale
- scatolari metallici zancati annegati all'estremo della trave e sulla testa del pilastro con spinotto verticale iniettato. Non sono previste soluzioni con un numero di spinotti superiore a due per testata;
- barre metalliche trasversali colleganti la testata della trave alle forcelle o alla baionetta del pilastro.

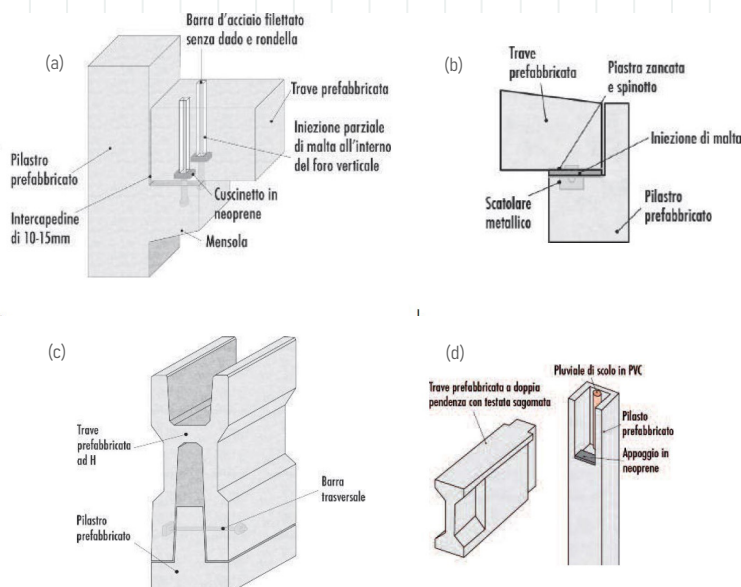


fig. 17 tipiche connessioni trave-pilastro: (a) tirafondo verticale (travi I), (b) spinotto verticale e scatolari metallici zancati (travi a doppia pendenza) (c) e (d) barra metallica orizzontale (travi H o a doppia pendenza).



### b. Connessione trave/tegolo

I tegoli di piano o di copertura sono solitamente vincolati alle travi mediante:

- semplice appoggio;
- squadrette metalliche imbullonate nel caso di tegolo provvisto di nervature o fondello · chiodi battuti per tegoli piani o pseudopiani (soluzione non sismica).
- barre metalliche longitudinali di collegamento nel getto in opera (tegoli piani) (Fig.10b).

### c. Connessione pannello/struttura

La connessione pannello struttura è pensata, in campo statico, solo per sopportare il peso proprio del pannello. Generalmente i pannelli orizzontali gravano su mensole metalliche annegate nei pilastri (grazie a scatolari annegati nel pannello ai due estremi inferiori) e quelli verticali scaricano il proprio peso direttamente sul cordolo di fondazione; i vincoli posizionati all'estremo superiore e realizzati mediante inserti metallici non sopportano carichi gravitazionali, ma hanno la funzione di prevenire il ribaltamento fuori piano del pannello e di assorbire le sollecitazioni di trazione dovute alla depressione del vento. Ai fini di una buona risposta sismica, tali vincoli dovranno essere in grado di sopportare anche le sollecitazioni discendenti dall'interazione fra il comportamento dinamico del pannello e quello della struttura stessa. Nel caso di strutture pluripiano, è in genere previsto un collegamento a livello di ogni piano, al fine di evitare una freccia fuori piano del pannello eccessivamente elevata, con significativo distacco rispetto alla struttura in corrispondenza dei piani intermedi; esso è realizzato mediante una moietta orizzontale (barra metallica sagomata a U) annegato nel pannello stesso e, successivamente, nella parte gettata in opera del solaio.

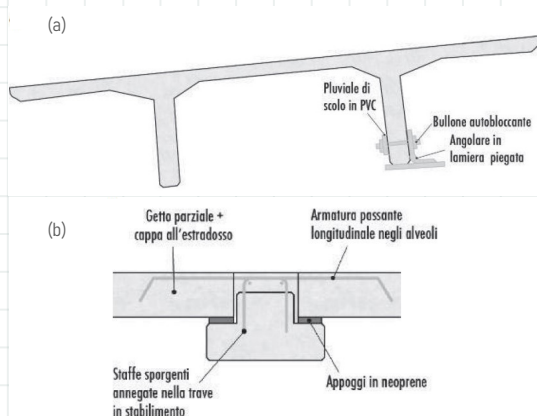


fig. 18 possibili soluzioni di collegamento impalcato/trave: a) collegamento tegolo/trave mediante bulloni e squadretta metallica.; b) collegamento lastra alveolare/trave a T rovescio mediante getto parziale in opera e barre metalliche annegate (RDB, 2004).

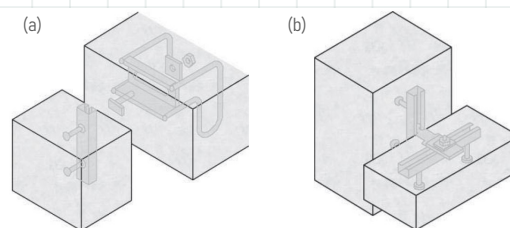


fig. 19 collegamenti pannello - struttura: a) vincolo per evitare il ribaltamento fuori piano sia di pannelli orizzontali che verticali (profilo a C zancati annegati nel pilastro o nella trave e nel pannello, vincolo mediante bullone a testa di martello); b) dettaglio di un collegamento trave - pannello verticale dotato di veletta (profili a C zancati annegati, piastrina di ritenuta e bullone a testa di martello).

## Classificazione delle tecnologie costruttive prefabbricate 2.2

Le costruzioni prefabbricate in cemento armato possono essere ricondotte a dei sistemi strutturali di base che, combinati in diversi modi, conducono ad un organismo strutturale in grado di soddisfare i bisogni del caso specifico in modo efficace. I sistemi strutturali più comuni sono le strutture a pannelli portanti, quelle ad ossatura portante (o a telaio) e le strutture a celle o ad elementi prefabbricati

### 2.2.1. Strutture a pannelli portanti

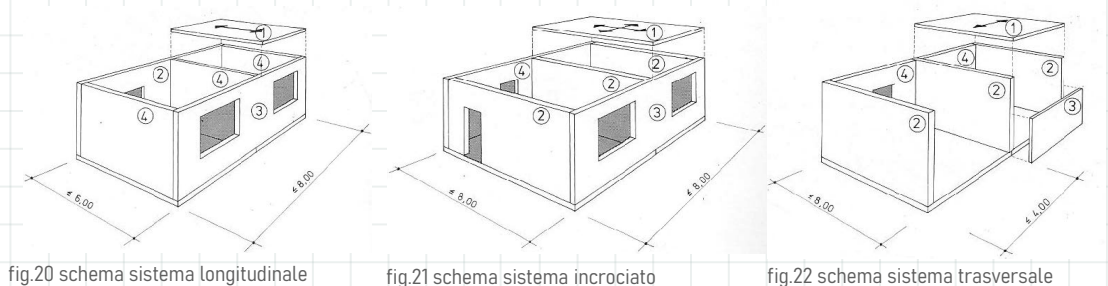
Gli schemi costruttivi realizzabili con il sistema dei pannelli portanti vengono diffusamente applicati soprattutto per la costruzione di edifici scolastici, ospedali, uffici e residenze. L'elemento caratteristico di questo tipo strutturale si configura nel pannello verticale di tamponatura o di divisione interna e funge come elemento di trasferimento dei carichi di ciascun piano alle fondazioni. Le strutture a pannelli portanti possono essere ulteriormente classificate in relazione alla disposizione in pianta degli elementi portanti principali, a seconda che gli elementi portanti siano disposti parallelamente alla direzione del lato più lungo dell'edificio, in entrambe le direzioni o trasversalmente.

**1. sistema longitudinale:** i pannelli esterni di facciata si presentano di uno spessore consistente perché devono assolvere la duplice funzione di struttura portante e di elemento isolante. Questo sistema concede poca libertà compositiva nel disegno della facciata, in quanto non è possibile inserirvi grandi aperture e inoltre necessita di elementi di controventamento aventi la funzione di trasferire alle fondazioni le sollecitazioni derivanti dalle azioni orizzontali agenti in direzione perpendicolare alla facciata principale. Il sistema longitudinale era ampiamente diffuso nelle prime costruzioni prefabbricate, in particolare nell'Europa orientale. Il concept trae ispirazione dalle strutture in muratura portante tradizionale, di cui ne assume anche gli schemi distributivi. Questo sistema viene ampiamente impiegato nell'ambito della costruzione di scuole e ospedali.

**2. sistema incrociato:** i pannelli verticali formano degli elementi cellulari molto stabili anche nei confronti delle azioni orizzontali, ma a causa della presenza di numerosi elementi portanti nelle due direzioni, presenta l'inconveniente di una scarsa flessibilità della distribuzione planimetrica degli ambienti. Possiamo ritrovare questo sistema nella tipologia abitativa tipica dell'Europa centrale.

**3. sistema trasversale:** risulta il più utilizzato grazie all'indipendenza che intercorre tra i diversi elementi che lo compongono. Gli elementi verticali si presentano separati tra loro, così da poter essere costruiti in materiali diversi, in funzione del compito che devono assolvere; e quindi i pannelli portanti interni saranno in cls ordinario, mentre quelli esterni in cls alleggerito.

Tale sistema ha inoltre un buon funzionamento anche nei riguardi di azioni orizzontali ortogonali alla direzione dei pannelli portanti; infatti, solitamente si dispone di un buon numero di elementi trasversali sufficientemente rigidi da poter assicurare una buona azione di controventamento.



Il sistema S8GS si configura tra le strutture a pannelli portanti e consente la realizzazione di edifici pluripiano con grandi pannelli verticali portanti prefabbricati, associati ad altri pannelli di solaio di vario tipo. I pannelli generalmente sono composti da conglomerato pesante, ma vi è anche la possibilità d'impiego di calcestruzzo leggero strutturale. Ogni pannello è provvisto di una piastra o profilato a cui viene ancorato tramite zanche. Sono previste adeguate pareti armate aventi funzione di controventamento.

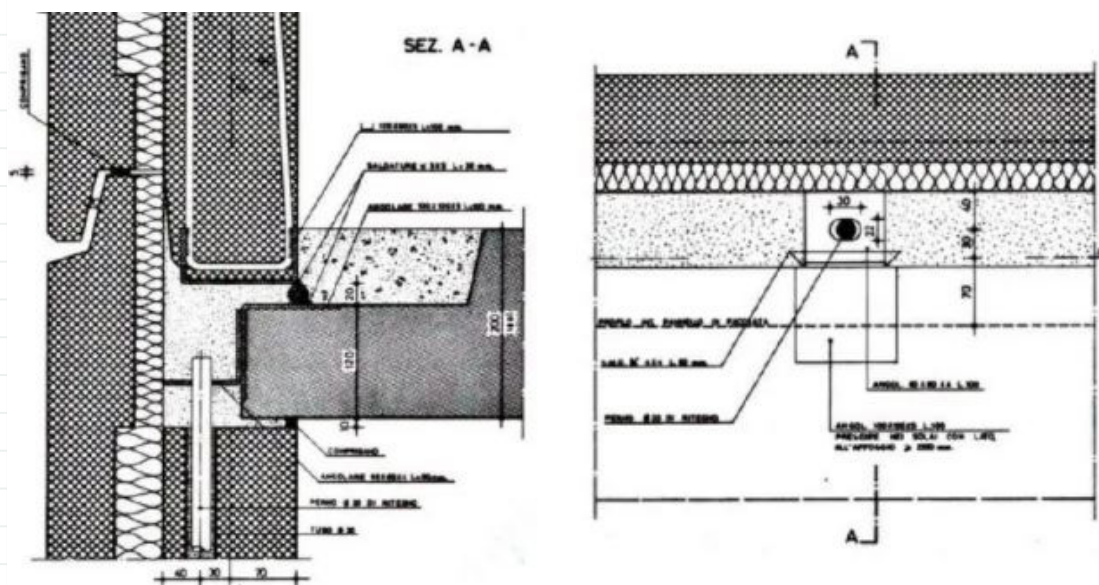


fig. 23 schema sistema S8GS

L'S8GS si distingue dagli altri sistemi per la possibilità di impiegare qualsiasi tipo di solai. Sotto ogni pannello è prevista una trave rovescia di elevata rigidezza il cui collegamento è garantito da innesti metallici. La fondazione in tal senso è costituita sempre da un reticolo di travi rovesce.

Le pareti verticali assolvono la funzione di reggere il carico verticale trasmesso dai solai e le azioni orizzontali derivanti dalle azioni del vento, del sisma e dai difetti di perpendicolarità delle pareti stesse. Le pareti verticali portanti che sono perpendicolari alle precedenti assolvono essenzialmente la funzione di controventamento. I pannelli di parete interni portanti di calcestruzzo, con spessori variabili dai 14 ai 20 cm, sono realizzati attraverso due reti elettrosaldate sulle due facce e cordoli perimetrali, rinforzi di armature sono previsti anche in corrispondenza di porte e architravi. I pannelli portanti esterni sono invece formati da tre strati:

- strato interno di conglomerato armato, con spessore che varia dai 14 ai 20 cm;
- uno strato compreso tra i 4-6 cm di materiale isolante;
- crosta di rivestimento compresa tra i 8-6 cm di spessore in conglomerato armato, non portante.

I pannelli verticali sono vincolati superiormente ai giunti orizzontali dei solai tramite perni, inseriti in tubi d'opportuno diametro con riempimento di malta. Nei quattro angoli dei solai e nel centro dei lati sono previste delle piastre per garantire l'ancoraggio delle medesime ad altri pannelli formando delle chiavi elastiche a trasmissione di taglio. L'S8GS è un sistema tecnologicamente stabile, caratterizzato da una maggiore attenzione ai dettagli e una grande sensibilità verso i problemi energetici, come ad esempio i ponti termici. Nonostante questo, la velocità e la facilità di montaggio o smontaggio dei pannelli non ne ha risentito. Difficilmente edifici che presentano questo sistema possono ritrovarsi con problematiche legate alla bassa inerzia o alla bassa trasmittanza, quali ad esempio la condensa.

Da un punto di vista energetico il sistema rappresenta la miglior soluzione, perché prevede una coibentazione dell'intero edificio tramite l'interposizione di uno strato di isolante che, anche nel caso in cui sia

troppo esiguo, non impedisce di intervenire con il classico cappotto esterno. Ciò permette di avvicinare questa soluzione a una delle classiche pareti tradizionali, sia come spessore che quindi come massa termica. S8GS può ospitare la possibilità di addizione con altri sistemi, nella casistica di degrado parziale o totale dei componenti.

## 2.2.2 Strutture ad ossatura portante

Le strutture prefabbricate ad ossatura portante (o a telaio) si caratterizzano di uno schema che riproduce gli elementi tradizionali delle strutture in cemento armato gettate in opera. Lo scheletro principale si compone di elementi lineari quali travi e pilastri o parti di telai che vengono collegati in opera. Le connessioni tra gli elementi divengono il perno centrale attorno cui ruota il comportamento dell'intera struttura; pertanto, è necessario rivolgere particolare attenzione a questo elemento nella fase della loro progettazione nonché nel loro montaggio. L'ossatura portante viene generalmente organizzata disponendo telai in senso ortogonale alla direzione della maggiore dimensione in pianta del fabbricato. Con tale soluzione si ottiene una migliore efficienza delle azioni di controventamento, in quanto gli elementi resistenti si trovano proprio nella direzione in cui risulta prevalente l'effetto del vento.

Le strutture ad ossatura portante sono la tipologia di costruzione prefabbricata più diffusa nell'ambito industriale, da sempre settore molto interessato allo studio delle diverse applicazioni di questi sistemi. In generale, è un sistema che trova largo impiego in quelle costruzioni che necessitano di ampi volumi liberi e grandi luci in pianta. Si configurano bene nel campo industriale, commerciale e in quello dei servizi.

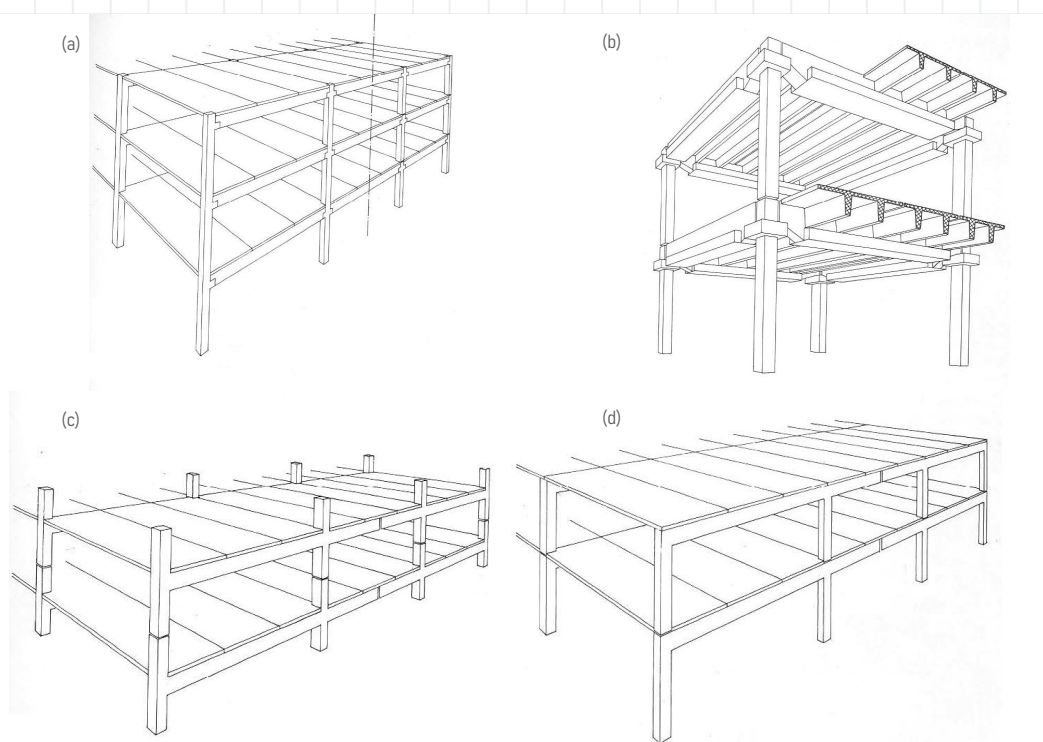


fig. 24 schema strutture a ossatura portante: (a) telaio con sistema trave-pilastro con pilastri molitici (passanti), (b) telaio con sistem trave-pilastri ad altezza di piano; (c) telaio con sistema a portali ad H; (d) telaio con sistema a portali sovrapposti

Tra i sistemi ad ossatura portante possiamo ricordare il **sistema "K"**. Si compone di elementi prefabbricati in cemento armato da collegare in opera tramite getti integrativi di calcestruzzo, pilastri, travi, pannelli di solaio. I pilastri con altezza pari a un piano del fabbricato hanno una sezione costante e con estremità conformate per adattarsi all'appoggio delle travi: in testa il pilastro presenta dei fori per l'al-

loggiamiento dell'armatura d'attesa sporgente dalla base del piano superiore.

Al fine di garantire un incolonnamento autocentrante del sistema, l'estremità del pilastro presenta uno spinotto sporgente, ancora in fase di prefabbricazione, che trova riscontro nell'alloggio predisposto alla base dei pilastri stessi. Le travi, realizzate in stabilimento e completate in opera, presentano sezione a T rovescio e sono armate con un traliccio metallico sporgente all'estradosso.

La sezione varia a seconda della ubicazione della trave stessa, se di bordo o di spina. I solai possono essere realizzati in latero-cemento o facendo uso dei sistemi tradizionali in opera, lasciando comunque la possibilità anche di assemblaggio con pannelli prefabbricati in stabilimento o a piè d'opera in cemento armato alleggeriti.

Per quanto riguarda gli aspetti tecnologici il sistema risulta aperto, perché offre la possibilità di realiz-

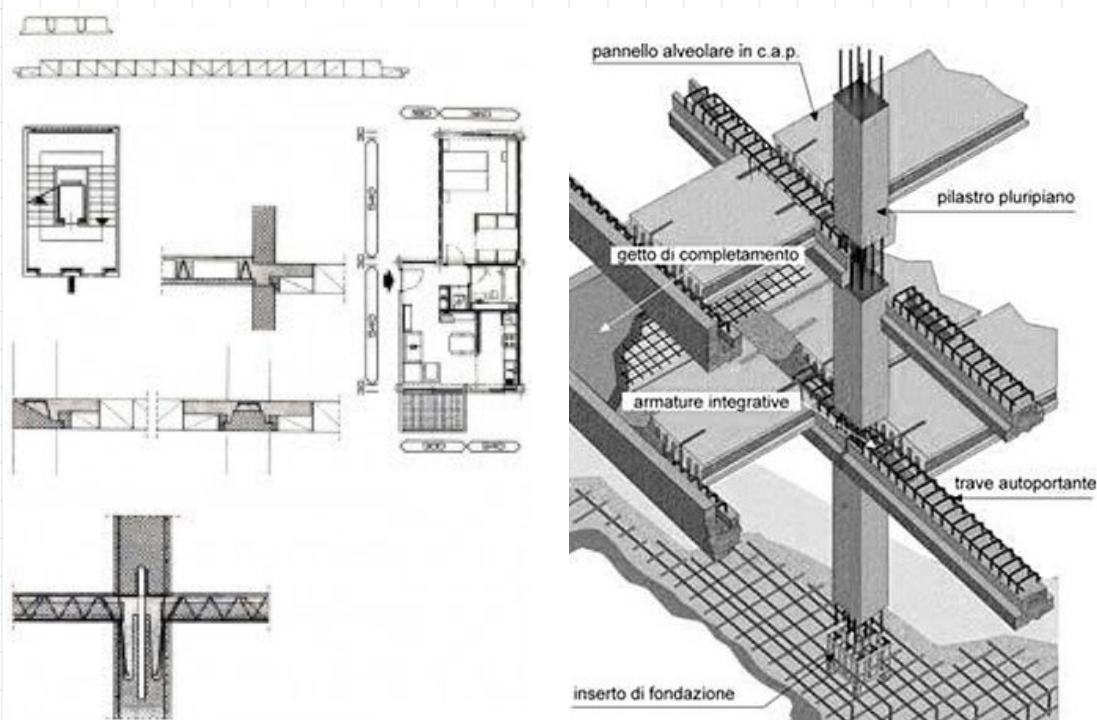


fig. 25 schemi funzionamento sistema K

zare i tamponamenti e le opere impiantistiche, nonché le finiture attraverso l'uso di tecniche diverse. Per la sua versatilità e il facile montaggio è uno tra i sistemi ancora in uso, grazie anche alle buone prestazioni antisismiche, in relazione alla capacità dissipativa dell'azione sismica dovuta alla duttilità delle unioni e per la minor deformabilità dei telai.

Il sistema "K", rispetto alle altre tipologie di prefabbricazione, permette una più ampia manovra di intervento, sia in sede di demolizione che di risanamento, perché favorisce l'aggregazione di solai e pareti tradizionali. Non essendo composto da pannelli prefabbricati portanti, la parete può essere progettata a piacimento nel rispetto dei livelli di comfort interni e di facilità di costruzione. È un sistema molto flessibile, dove si possono aggiungere altri sistemi e intervenire sia a livello energetico, distributivo e funzionale degli spazi, sia a livello manutentivo, che a livello sostitutivo.

### 2.2.3 Strutture a celle o ad elementi portanti spaziali

Le strutture a celle tridimensionali sono edifici realizzati mediante assemblaggio di elementi scatolari o tubolari che possono essere combinati con pannelli orizzontali interposti fra le pile di scatole sovrapposte, o, in alternativa, scomposti in più parti per essere trasportabili e successivamente assemblati in

opera. Gli elementi prefabbricati tridimensionali hanno, in genere, dimensioni contenute in una sagoma dell'ordine di 3,20 x 6,50 x 2,80 metri, peso dell'ordine di 15 ÷ 20 tonnellate. Di regola le pareti di facciata, cioè la tamponatura esterna degli elementi tubolari, viene realizzata con pannelli anch'essi prefabbricati o con infissi delle dimensioni del vano.

Nell'immagine sottostante possiamo vedere alcuni esempi di come la differente combinazione degli elementi che compongono la struttura a celle possa originare tipologie compositive molto diverse.

L'impiego maggiormente diffuso di quest'ultima tipologia strutturale si riscontra negli edifici residenziali. È un sistema molto diffuso nell'Europa del nord e nell'Europa dell'est, negli Stati Uniti e nel Giappone. Con tale sistema sono state realizzate, agli inizi degli anni Ottanta, circa tremila abitazioni fino a cinque piani in diverse zone d'Italia, per poi lasciare il passo ad altri sistemi costruttivi più innovativi.

Il sistema di prefabbricazione denominato a "L" è realizzato mediante l'uso di pannelli autostabili in

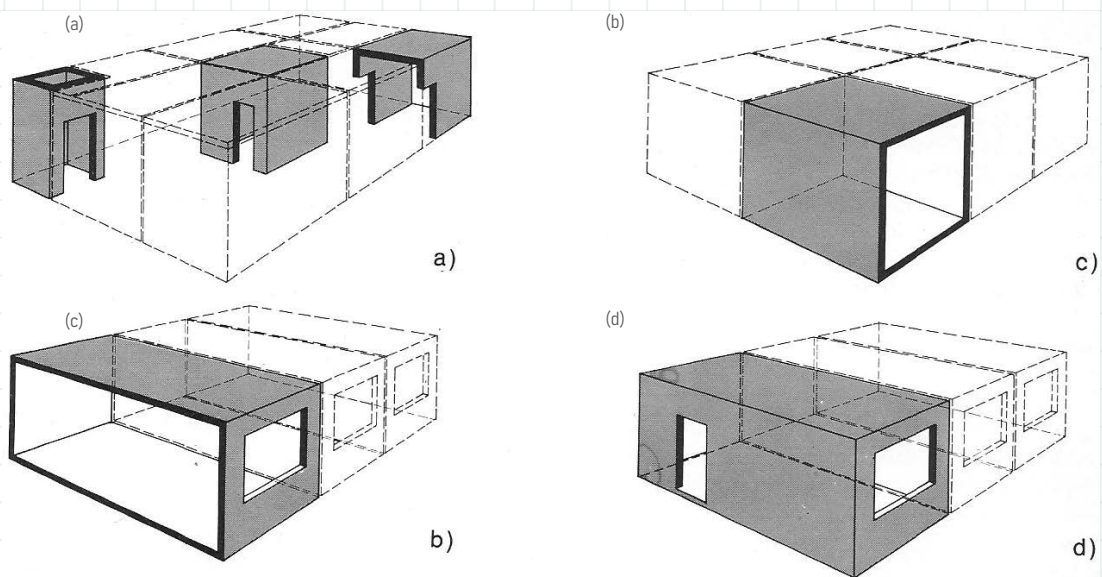


fig. 26 schema strutture a celle spaziali:

(a) combinazione di celle spaziali e grandi pannelli; (b) celle spaziali aperte longitudinalmente, pareti portanti interne; (c) celle spaziali aperte trasversalmente, pareti portanti esterne; (d) celle spaziali chiuse

calcestruzzo armato dello spessore di 10-12 cm. È formato da due piani ortogonali, una parete verticale e il solaio orizzontale, collegati rigidamente. I bordi orizzontali del solaio, in corrispondenza del lato lungo, presentano una conformazione cosiddetta "a sella", perché consentono l'appoggio sugli "L" delle componenti piane del solaio. Lungo il lato corto si ha una conformazione a sella rovesciata, in modo tale che l'elemento "Elle" possa appoggiarsi ad altri analoghi e a elementi tridimensionali portanti.

Il componente fondamentale può essere di vari tipi: a pilastri, a sbalzo, ad angolo. L'elemento base ha una larghezza fissa di 2,4 m e lunghezza variabile ogni 60 cm fino a 6 m. Il sistema "L" prevede degli elementi tridimensionali portanti come il blocco scale e il blocco bagno, che sono il primo riferimento di appoggio per i componenti "Elle" del solaio, e svolgono la funzione di controventatura. Lo schema statico adottato per il sistema è un telaio tridimensionale.

Valutando gli aspetti energetici del sistema L, si possono notare delle somiglianze con il sistema Triedro: si garantisce la massa termica con uno strato unico monolitico di calcestruzzo senza contemplare spessori isolanti. Il vantaggio del sistema è la ridotta presenza dei ponti termici.

Da un punto di vista tecnologico, il sistema garantisce una grande versatilità d'impiego, infatti, attraverso l'assemblaggio dei vari elementi "portanti", si ottengono strutture di qualsiasi dimensione. La forma a "L" è più flessibile rispetto a quella a triedro; tuttavia, il carattere monolitico non consente di adottare sottrazioni per eventuali manutenzioni, per il rinnovo dei pannelli o la sostituzione. Pur garantendo si-

curamente maggiori margini/possibilità d'intervento rispetto al Triedro, risulta comunque uno dei sistemi meno flessibili. Inoltre, avendo una parete di calcestruzzo sufficientemente consistente, il sistema "L" riduce in ambito energetico le necessità di riqualificazione, riconducendola al solo isolamento termico: attraverso soluzioni in cui si adottano materiali per aumentare la massa non offrirebbero contributi significativi. Complessivamente è un sistema che avendo massa e pochi ponti termici, attraverso l'introduzione di un cappotto esterno può garantire gli standard di comfort richiesti, ottenendo un comportamento simile a quello degli altri sistemi tradizionali.

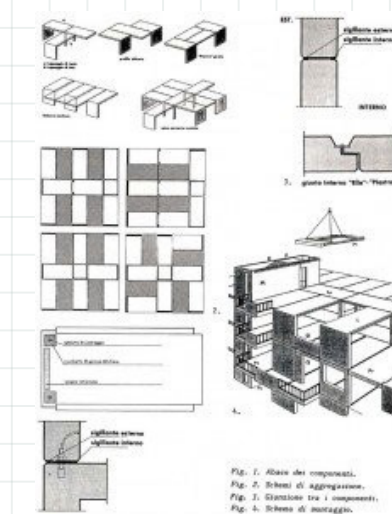


fig. 27 schema sistema "a L"

## 2.3 Edilizia prefabbricata scolastica

### 2.3.1 Le origini

Dopo la seconda guerra mondiale, conseguentemente ad un generalizzato processo di ricostruzione e una crescente richiesta di infrastrutture, ma anche al raggiungimento di determinati requisiti nei diversi settori che convergono nella prefabbricazione, si è passati da una domanda di case ad una domanda di interi quartieri, da una domanda di singoli edifici ad una domanda di centri direzionali, dalla realizzazione di ponti e viadotti all'esecuzione in serie di sovrappassi autostradali o ferroviari, dalla costruzione di strade e autostrade a gallerie ecc., si è passati ad intendere la prefabbricazione come metodo di costruzione per razionalizzare i processi e quindi contenere i costi.

Il più interessante tentativo che fu effettuato in quegli anni forse può essere attribuito all'UNRRA-CASAS (l'ente edilizio della ricostruzione post-bellica in Italia), che nel 1957-58 predispose un piccolo intervento di realizzazioni scolastiche in prefabbricato di cemento, per la costruzione di dodici scuole materne, da realizzare in Calabria in luoghi assai disagiati. Tale programma, che incontrò numerosissime difficoltà di carattere tecnico-amministrativo, non poté che essere realizzato parzialmente, ma in misura tale, comunque, da confermare la bontà della impostazione, e da convincere chi lo aveva ideato a proseguire negli studi e nelle ricerche in questo settore.

Nei mesi intercorrenti tra la fine del 1961 e gli inizi del 1962 si ebbero poi i due episodi che possono considerarsi determinanti per l'evoluzione dell'edilizia scolastica industrializzata: la mostra-rassegna al Parco dei Daini, a Roma (ottobre-novembre 1961) e il Convegno sulle scuole prefabbricate di Genova (dicembre 1961 - gennaio 1962). Nel corso di queste manifestazioni, patrocinate dal Ministero della P.I. e dal Centro Studi dell'Edilizia Scolastica, furono delineati i caposaldi di quella griglia culturale e tecnica entro cui, negli anni seguenti e fino ad oggi, si evolverà l'edilizia scolastica industrializzata.

Alla mostra del Parco dei Daini, che deve intendersi come la preparazione in senso pratico del Convegno di Genova, si materializzarono sui prototipi esposti gli indirizzi e le tendenze, e si valutarono gli scarti intercorrenti fra l'impostazione teorica e l'esempio reale.

Il terremoto dell'Irpinia del 1962 offrì infine la occasione per la sperimentazione, mediante l'utilizzazione di un precedente disposto legislativo (legge 15-2-1961 n. 53), delle proposte raccolte al Parco dei Daini.

E così in pochi mesi, l'ISES (ex UNRRACASAS), cui venne affidata dal Ministero P.I. la realizzazione del programma stesso, consegnò ai comuni disastrati gli edifici del primo organico intervento pubblico di edilizia scolastica industrializzata.

Nelle espansioni delle grandi città del primo dopoguerra i padiglioni di legno prefabbricati furono posti in aree ove già in parte esisteva un edificio scolastico che si intendeva completare, o dove si riteneva dovessero sorgere poi gli edifici definitivi. Il ricorso alle scuole prefabbricate era quindi giustificato dalla provvisorietà delle costruzioni. Le esperienze tecniche relative alla Seconda Guerra Mondiale furono condizionate anche dalla previsione della riutilizzazione delle strutture edilizie; la smontabilità e la riutilizzabilità furono dunque le concause, anche se ipotetiche, dell'adozione di edifici industrializzati. Il fatto è che tali concause si rivelarono poi puramente teoriche, perché quando una attrezzatura edilizia fu posta in qualche luogo, questa assai raramente fu poi spostata e riutilizzata in altra sede.

Purtroppo, però, questa inesatta giustificazione fu sfruttata anche per l'edilizia scolastica industrializzata, che veniva talvolta offerta con l'accompagnamento della promessa dei requisiti di smontabilità e riutilizzabilità dell'edificio.

A conclusione occorre ricordare che alcune ben chiare prese di posizione della cultura specializzata posero infine termine a tale proliferazione di pseudo-giustificazioni. Nei tre incontri di Genova (1962), e di Roma (per la prima - 1963 - e la seconda conferenza sull'edilizia - 1964) si identificarono invece nella coordinabilità degli elementi, nella riduzione dei tempi di costruzione ed in senso globale nella possibilità di dare avvio al processo di più larga industrializzazione dell'edilizia in genere, le vere ragioni che presiedono ed inclinano all'adozione non ristretta della edilizia scolastica industrializzata.

## 2.3.2 I sistemi costruttivi più utilizzati per l'edilizia scolastica prefabbricata

Di seguito si andrà a descrivere il processo di adozione e di evoluzione delle tecniche industrializzate nell'edilizia scolastica in Italia. Si fa notare come l'evoluzione di questa edilizia industrializzata sia stata fortemente influenzata dalle disposizioni tecniche, giuridiche, ed amministrative in vigore nel nostro Paese. Dei vari sistemi di prefabbricazione esistenti ne saranno presentati solo alcuni in cemento armato, adottati in Italia per gli edifici scolastici e relative realizzazioni.

### 2.3.2.1 S.C.A.C. S.p.A.

La Società Cementi Armati Centrifugati, con sede a Milano, ha realizzato una scuola materna a Picerno in cui tutti gli elementi sono stati prefabbricati; ha una pianta articolata su uno schema ad H per una superficie complessiva di 550 m<sup>2</sup> e si sviluppa in altezza su due piani.

I pezzi sono stati realizzati in officina e poi montati sul posto: i pilastri monolitici per l'altezza di uno e due piani con una sezione stellare ed il loro collegamento con le travi, in cemento armato vibrato, è realizzato in modo tale da ottenere telai semplici o multipli. Le travi hanno sezione scatolare ad U ed a L, su di esse viene poggiato il solaio, che è precompresso; l'unione tra i due elementi è ottenuta con un getto di calcestruzzo nella parte cava delle travi e dei solai. In questa scuola, sia le scale interne, che esterne, a doppio ginocchio e a ginocchio semplice, sono state anch'esse prefabbricate,



fig. 28 sistema costruttivo S.C.A.C S.p.A



come tutte le tamponature esterne, realizzate con pannelli in cemento armato scannellati, perimetralmente, per l'incastro laterale con i pilastri e superiormente e inferiormente per quello con le travi portanti. I pannelli, di 6 m<sup>2</sup> di superficie, possono essere pieni o completi di telaio per l'infisso, cassonetto per l'avvolgibile e soglia parapetto: il loro spessore totale è di 18 cm e vengono alleggeriti all'interno con materiale leggero coibente.

### 2.3.2 Impresa Grassetto

Questa Impresa, i cui stabilimenti di prefabbricazione "Aedilia" hanno sede a Padova e Latina, fornisce, con una produzione in serie, un tipo di scuola monopiano prefabbricata; cemento armato e calcestruzzo vengono impiegati come materiali per le strutture verticali, orizzontali e di fondazione; per il piano di calpestio, travetti in cemento armato misti a laterizi: la copertura è realizzata con un tetto a quattro falde mediante capriate. La scuola che viene costruita è di tipo stabile nel tempo: il sistema con cui è realizzata non ne permette lo smontaggio e rimontaggio, con recupero degli elementi, come non lo prevedono d'altronde tutti i sistemi analizzati. Questa possibilità, presentata da alcune ditte come particolare peculiare dei loro sistemi, è un vantaggio del tutto teorico: esso, infatti, si risolve normalmente a tutto danno della costruzione stessa per altri difetti ben più gravi degli eventuali vantaggi economici, tra i quali in primo luogo la tenuta dei giunti. Il sistema Grassetto (fig.29) prevede fondazioni di tipo tradizionale, in calcestruzzo leggermente armato, che presenta un cordolo particolare, dalla sagoma ad U, per ricevere i pannelli di facciata portanti; sul bordo di questo, dal lato interno, vengono poggiati travetti in cemento armato prefabbricati, del tipo "Varese", a sostegno del pavimento che, come già detto, è sopraelevato rispetto al piano di campagna realizzando, al medesimo tempo, un vespaio areato e ispezionabile mediante una botola situata nel locale della centrale termica. Per l'impermeabilizzazione della fondazione, dal lato esterno, il cordolo viene intonacato con malta di cemento liscio.

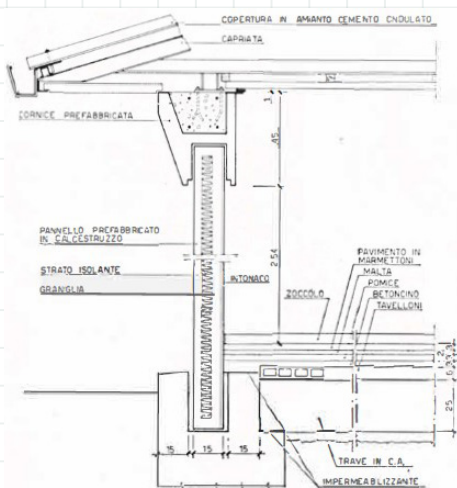


fig. 29 schema sistema Grassetto



fig. 30 montaggio elementi di facciata

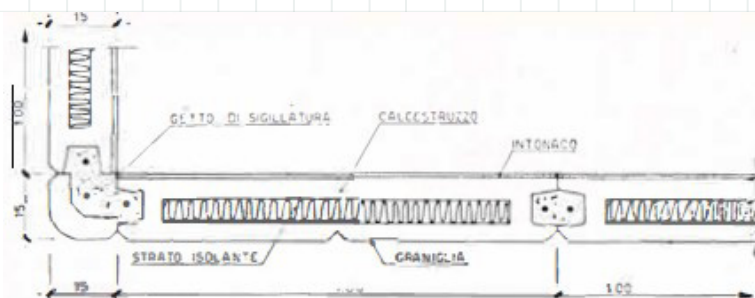


fig. 31 schema degli elementi costitutivi il pannello

Gli elementi verticali portanti sono ottenuti, in questo sistema, attraverso le pareti esterne perimetrali: sui pannelli che le costituiscono, viene riportato il carico trasmesso dalla copertura tramite una cornice in calcestruzzo prefabbricata (fig.30); questi pannelli hanno uno spessore di 15 cm, costituito da uno strato esterno di graniglia di marmo trattato con la bocciarda, ed uno strato di cemento armato con incorporata, come isolante termico, una lastra di polistirolo espanso di 6 cm di spessore (fig.31).

L'appoggio delle pareti sulla fondazione è preceduto dalla stesura di uno strato di asfalto a freddo per l'isolamento. Messa in opera i pannelli, nei giunti verticali viene immessa una armatura e colato del calcestruzzo realizzando così dei pilastrini che vengono poi collegati tra loro da un cordolo armato facente parte della cornice di coronamento dell'edificio.

Per la struttura orizzontale, che sostiene il pavimento, sono usati travetti "Varese" e tavelloni, cioè una struttura di tipo misto in cemento armato e laterizi, mentre per le pareti di divisione degli ambienti interni viene impiegato calcestruzzo di pomice, ottenendo così elementi afofoni; i pannelli, che hanno uno spessore di 10 cm, non richiedono intonaco e vengono anch'essi sigillati in opera e quindi muniti di coprigiunto in plastica.

### 2.3.2.3 Società Sogene

Questa Impresa "Società Generale per Lavori e Pubbliche Utilità", ha adottato un sistema di origine francese chiamato sistema Estiot (fig.32), impiegato nella realizzazione di scuole elementari e medie. Questo sistema è del tipo pesante: se viene definito per le dimensioni e quindi il peso dei pannelli impiegati; o chiuso se si vuole significare il grado di industrializzazione in esso raggiunto. La sua caratteristica peculiare è nella struttura più che nelle particolari soluzioni adottate per i nodi o per le pareti, infatti tutti gli elementi prefabbricati, sia pannelli di facciata, o muri trasversali o solai, sono eseguiti in cemento armato e presentano sul loro bordo esterno, nelle particolari posizioni stabilite dalla funzione statica svolta, profilati di acciaio di appropriata sezione. In questi profilati, sono praticati fori di riferimento che permettono con il loro sovrapporsi e con l'inserimento di perni, un rapido assemblaggio dei vari elementi ed una eccezionale precisione di montaggio.(fig.33)

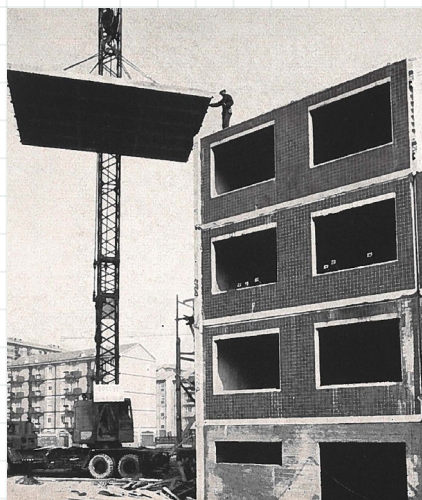


fig.32 posa in opera pannello di solaio prefabbricato in cemento armato con sistema francese Estiot

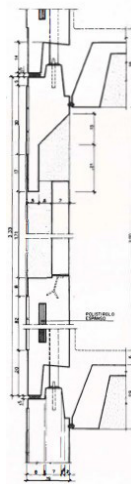


fig.33 sezione verticale di un pannello di facciata

Questi profilati vengono, in un'operazione successiva al montaggio, mutuamente saldati e quindi incorporati nel calcestruzzo del giunto che realizza l'unione tra i vari pannelli. La monoliticità della struttura è così definitivamente ripristinata, a fabbricato ultimato, oltre che dal calcestruzzo dei giunti armato con ferrotondo, anche e soprattutto dai profilati saldati che realizzano una seconda vera e propria gab-

bia continua. Le pareti trasversali in calcestruzzo armato dello spessore variabile tra gli 8 ed i 14 cm, trasmettono i carichi verticali alle fondazioni. L'interasse di queste pareti corrisponde quindi al modulo-aula che è di circa 7 metri. Sul bordo superiore delle pareti trasversali poggiano i solai e sul bordo esterno le pareti di facciata. Per garantire la continuità dell'appoggio di un pannello di parete sull'altro, condizione indispensabile per la trasmissione dei carichi, si realizza un primo appoggio, in fase di montaggio, con due piedini in calcestruzzo o in acciaio solidali al pannello superiore, ottenendo quello definitivo, su tutta la superficie di contatto, con il getto del giunto di unione orizzontale. Così anche tra i pannelli esterni di facciata si realizzano, dopo il getto del giunto verticale, pilastri di unione gettati sul posto. Gli elementi di parete esterna, prefabbricati, sono costituiti da due lastre di cemento armato vibrato collegate tra loro mediante nervature; interposto tra queste è uno strato isolante di polistirolo espanso, dello spessore di 3 cm; il valore dello spessore totale del pannello raggiunge i 19 cm (fig.34). Dis seguito si riporta l'esempio di una palestra di una scuola media di Milano realizzata con questo sistema: sono visibili i solai realizzati con nervature portanti, che permettono un migliore isolamento acustico per rumori interni attenuando il fenomeno della coda sonora (fig. 35).

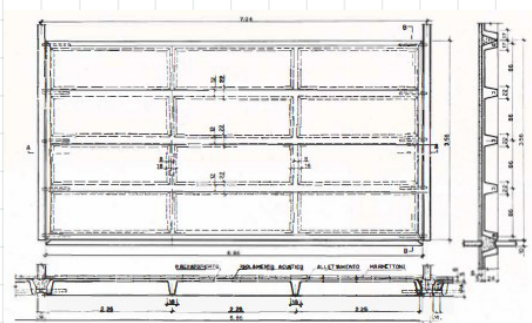


fig.34 carpenteria di un pannello di solaio prefabbricato

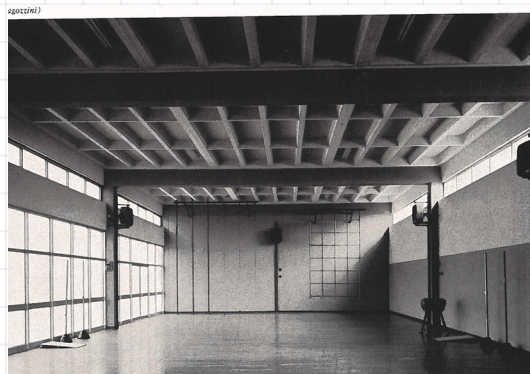


fig.35 interno della palestra della scuola media di Milano realizzata con solai con nervature portanti.

#### 2.3.2.4 Borini Costruzioni s.p.a.

Questa impresa ha ottenuto uno dei primi certificati di idoneità per sistemi di prefabbricazione a pannelli parete, studiato in Italia: il Sistema Borini.

I primi esempi di edifici scolastici costruiti da questa Impresa e descritti nell'articolo sono stati tuttavia realizzati utilizzando il sistema di prefabbricazione francese "Barets". Tale sistema è basato sull'utilizzazione di materiali tradizionali e sulla preparazione degli elementi prefabbricati in officina, a pie' d'opera sul luogo di impiego, e quindi eseguibili in qualsiasi località mediante l'adozione d'impianti mobili. (fig.36) Gli elementi prefabbricati forniti sono pannelli di facciata, muri interni e solai. I materiali componenti i pannelli di facciata sono laterizi forati di forma particolare, calcestruzzo ad alta resistenza, reti metalliche saldate e ferri tondi e nervati, feltro bituminoso per l'impermeabilizzazione dei giunti verticali e polistirolo espanso agglomerato come isolante. Gli elementi di facciata sono portanti e possono essere con o senza forati, le dimensioni dell'altezza sono fisse, mentre la larghezza dipende dalle esigenze di sollevamento, progettazione e modulazione.

In Italia per le scuole realizzate con il sistema Barets dalla Borini sono stati usati pannelli prefabbricati del tipo cosiddetto "semplice", cioè senza forati, detti anche a « cassone » : questi sono costituiti da lastre di cemento armato, dello spessore di 5 cm, con nervature perimetrali che presentano, inferiormente, un dente nella parte esterna per la sovrapposizione, e superiormente, un solco interno per ricevere il solaio ed uno esterno per l'accostamento del pannello superiore. La prefabbricazione di questi elementi è realizzata su una superficie piana o su lastre di cemento, preventivamente trattate; sformatura, trasporto e stoccaggio sono effettuati mediante gru.

La continuità tra i pannelli è ottenuta mediante la sovrapposizione dei ferri di chiamata laterali. Prima del getto in calcestruzzo, per impermeabilizzare il giunto, il fondo di questo viene ricoperto da una banda di feltro bituminoso incollata a caldo e sovrapposta al giunto orizzontale, per ottenere una certa continuità: i giunti vengono poi rinzaffati dall'esterno con malta di cemento pressata alla spatola. (fig.37) Nei pannelli a cassone viene costruita una parete di chiusura in tavelle, formante una controfodera da 5 cm e viene interposta una lastra di polistirolo espanso di spessore minimo di 1,5 cm: il tutto, tra lastra cementizia, polistirolo e controfodera raggiunge normalmente uno spessore di 21 cm.

Come negli elementi di facciata, la giunzione è assicurata sia verticalmente tra loro, che orizzontalmente con i solai, mediante armature fuoriuscenti dai bordi che vengono annegate in un getto di calcestruzzo effettuato tra gli elementi del solaio, oppure ponendo la parete sul solaio grezzo, dopo aver gettato il giunto tra gli elementi orizzontali, e fissando quindi la base con malta di cemento.

I solai possono essere del tipo a cassone, a lastra piena o alleggerita. Nelle scuole, in Italia, è stato adottato il primo tipo: questo è realizzato mediante calcestruzzo cementizio e armature consistenti in reti saldate ed acciai ad alta aderenza.

I pannelli si presentano come lastre collegate tramite nervature e prevedono dei vuoti per ospitare la gettata di calcestruzzo: ciò serve ad assicurare la monoliticità dell'insieme, l'azione comune trasversale degli elementi per effetto dei giunti e la continuità di appoggio che viene realizzata mediante ferri posti superiormente nelle nervature prima del getto.

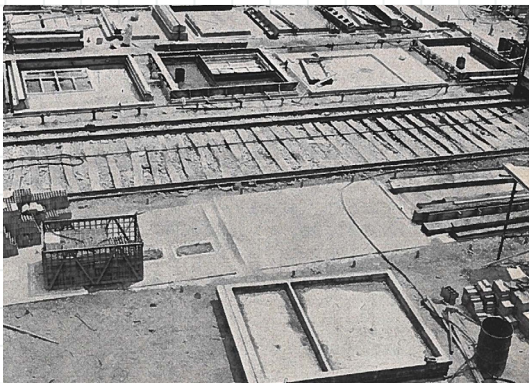


fig.36 -Il cantiere di prefabbricazione a pie' d'opera installato per la costruzione di un edificio scolastico nel quartiere « Quipp », Torino

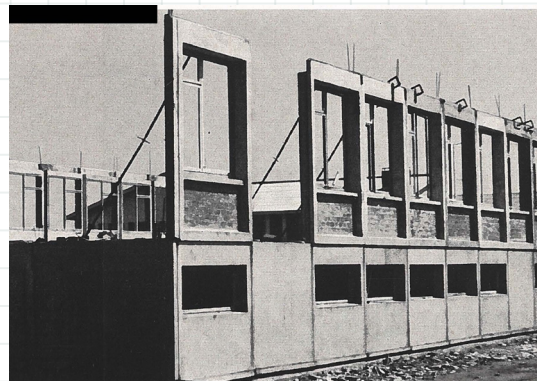


fig.37 Posizionamento dei pannelli di facciata per la costruzione di una scuola in via Pisacane a Torino. Durante il montaggio gli elementi sono sostenuti da puntelli metallici telescopici

#### 2.3.2.4 Stager

I vari metodi di prefabbricazione adottati in Italia seguono per lo più brevetti esteri. Una delle eccezioni, è il sistema "Stager" che prende nome dai progettisti, arch. Massimo Starita e ing. Nicola Germano, appartenenti all'UPEI, un organo tecnico di conduzione e consulenza per attività riguardanti il settore dell'edilizia industrializzata.

Gli elementi componenti il sistema vengono ottenuti mediante produzione in stabilimento e forniti direttamente in cantiere pronti per il montaggio: essi sono realizzati in apposite casseforme metalliche mediante un getto di conglomerato cementizio armato secondo le esigenze del normale calcolo statico e vibrato ad alta frequenza. (fig.38) Lo studio delle dimensioni degli elementi è stato condotto su di un modulo, in senso orizzontale, di 10 cm mentre nessun limite modulare è posto per lo sviluppo in altezza: la combinazione dei pezzi prodotti, plinti, solai, travi, pannelli, permette nell'ambito del coordinamento modulare, una certa libertà planimetrica. I pezzi vengono montati in cantiere per mezzo di gru, autogrù o gru a portale, per assemblaggio ottenuto mediante semplice accostamento od incastro; il collegamento strutturale avviene mediante piccoli getti di calcestruzzo armato eseguiti in sito, completanti i nodi: in questo modo si ottiene per l'edificio, un sistema statico a cui tutti gli elementi contribuiscono in

maniera diversa, realizzando una struttura irrigidita per punti e nodi.

Gli elementi che compongono il sistema sono quattro: plinti, travi, solai e pannelli, tutti realizzati in c.a. vibrato. I plinti rappresentano l'elemento che desta più interesse: essi, infatti, contrariamente a quanto avviene in generale per tutti gli altri sistemi sono prefabbricati. Il plinto è costituito da due parti, prodotte separatamente, che vengono poi sovrapposte: una base quadrata, che ha la funzione di sottoplinto e dimensioni variabili, ed il plinto vero e proprio, di forma troncopiramidale, con un alloggiamento superiore a croce per ricevere le travi del primo solaio. (fig.39)

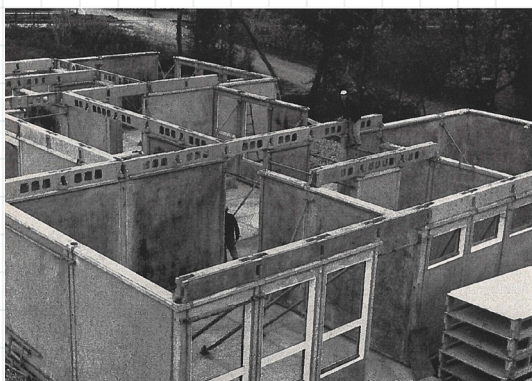


fig.38 montaggio della struttura di un edificio scolastico composta da elementi prefabbricati, assemblati ad accostamento e ad incastro e, quindi suturati con piccoli getti. L'appiombamento e l'orizzontalità dei singoli pezzi sono controllati mediante un sistema di riscontri fissi

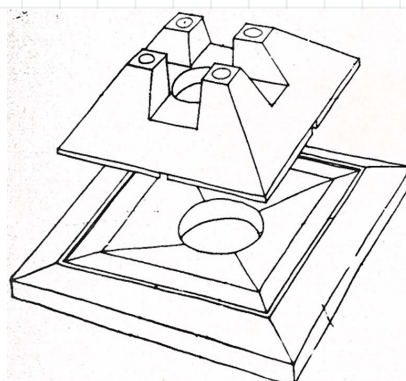


fig.39 giunto tra il plinto di fondazione e il primo solaio

Le travi sono alleggerite con forature ed hanno sezione trapezoidale e su di un lato, sempre a distanza modulare, portano risalti, opportunamente sagomati, per permettere la realizzazione degli appoggi delle lastre di solaio durante la fase del loro montaggio; sull'altro lato invece, sono predisposte alcune nervature che formano la cassera per il getto di collegamento dei nodi tra le lastre dei solai, delle travi e dei pannelli superiori e inferiori; il nodo che si ottiene realizza in tal modo una giunzione tri-direzionale (fig.40). Le lastre di solaio poggiano sulle travi ed hanno una sezione trasversale in cui l'elemento orizzontale è costituito da una soletta nervata dello spessore di 3 cm, mentre quelli verticali laterali sono ottenuti mediante travetti del tipo Vierendel.

E' interessante notare che, dato il procedimento con cui sono state realizzate le travi portanti e le lastre di solaio, per il montaggio di quest'ultimo non occorrono ponteggi od armature in quanto già negli stessi elementi sono approntati, fin dal loro getto, gli appoggi sufficienti per i carichi che possono verificarsi durante il montaggio stesso. Le strutture verticali sono costituite da pannelli composti da un elemento portante ed uno di tamponamento: quello portante è realizzato da un pilastro cavo all'interno, quello di tamponamento, che può essere pieno o provvisto di infisso, è monolitico con il pilastro ed è formato da due solette, in conglomerato cementizio retinato, dello spessore di 3 cm ciascuna; tra di esse è interposto del materiale in blocchi coibente, alto 12 cm; si ottiene così un pannello dello spessore totale di 18 cm. L'unione strutturale tra elementi orizzontali e verticali viene raggiunta mediante un getto di calcestruzzo vibrato, all'interno dei pilastri, sfruttando i ferri di chiamata già predisposti nella fase di realizzazione della struttura orizzontale; il giunto verticale tra i pannelli è ottenuto con un normale incastro del tipo a tenone e mortasa che viene poi sigillato con cimosa espansa e materiale plastico.

Possiamo dire che, nell'insieme, questo sistema si rivela abbastanza pratico data la leggerezza degli elementi che lo compongono, fattore oggettivamente di notevole importanza sia per le manovre di montaggio, e quindi per i costi ed i tempi, sia per il trasporto degli stessi e sia per il fatto che permette la realizzazione dei pezzi in stabilimento con tutti i vantaggi di precisione ed economia che derivano da una produzione continua industrializzata. (fig.41).

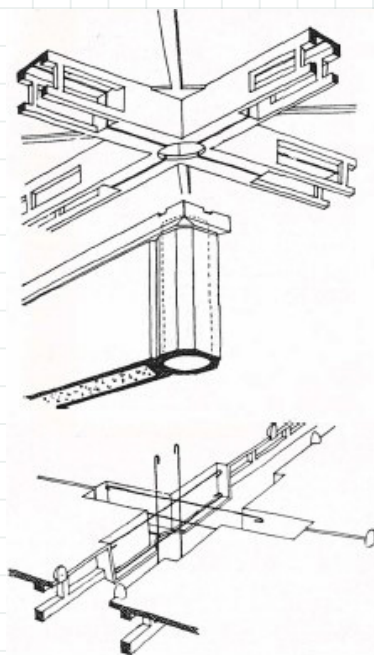


fig.40 giunto tra pannello verticale portante e le travi su cui poggiano le lastre di solaio



fig.41 vista interna dell'aula laboratorio realizzata per la Facoltà di Architettura di Roma. Sono visibili i puntelli telescopici metallici regolabili per il fissaggio dei pannelli e gli elementi sfinetrati ad essi sovrapposti e simili per strutture

## 2.3.3 Il sistema Valdadige

### 2.3.3.1 Cronologia Valdadige Costruzioni s.p.A.

La società Valdadige (già Fornaci Valdadige) con sede a Verona, costituita il 21 ottobre 1933, aveva come oggetto sociale l'industria e il commercio di materiali laterizi ed edilizi in genere, la costruzione e l'esercizio di stabilimenti e opifici per la produzione dei materiali stessi, l'assunzione di qualsiasi lavoro costruttivo e stradale, l'esercizio di cave e miniere. Sulle camicie originali compare Sfm, Archivio società collegate, Parte generale, la/55.

**1° gennaio 1985:** la società viene trasformata in "Prefabbricati Valdadige S.p.A." con sede in Matera;

**1° gennaio 1999:** la società RDB acquisisce il 50% delle azioni della Valdadige S.p.A. che assume la denominazione di "RDB Valdadige S.p.A.";

**1° ottobre 2003:** la RDB Valdadige S.p.A. viene incorporata nella RDB S.p.A. Divisione Sud comprendente 4 stabilimenti: Matera, Bitetto (Bari), Carapelle (Foggia) e Bellona (Caserta). Dal 15 febbraio 2007 si assiste a repentini cambiamenti ai vertici dell'azienda: il Direttore generale della Divisione Sud, già Amministratore delegato della Prefabbricati Valdadige e della RDB Valdadige S.p.A., ing. Giovanni Amato, che aveva guidato l'azienda per tanti anni assicurandone lo sviluppo, viene sostituito. Il 30 marzo 2007 viene soppresso il reparto amministrativo (5 dipendenti) con l'intento di mantenere a Piacenza questa funzione dell'azienda. Con la stessa motivazione, il 31 ottobre 2007 viene soppresso anche l'Ufficio tecnico, 8 dipendenti, consentendo ad uno solo di essi il trasferimento nella sede legale di Pontenure.



Proprietà riservata - A termini di legge ci riserviamo l'esclusiva proprietà di questo disegno, con divieto di copiarlo, riprodurlo o mostrarlo a terzi, senza nostra autorizzazione scritta.

fig.42 logo valdadige

Contestualmente nel corso di un incontro a livello nazionale con i sindacati veniva comunicato che lo stabilimento di Matera non rientrava nei piani industriali dell'azienda;

**2008:** RDB firma un accordo con El Seif Group, prestigioso gruppo saudita con sede a Riyadh, leader nel settore delle costruzioni civili, industriali e militari ed attivo a livello internazionale nella fornitura di apparecchiature mediche e sanitarie e nella gestione ospedaliera, che definisce i termini della collaborazione per la produzione e commercializzazione in Arabia Saudita di strutture prefabbricate per l'edilizia civile e industriale.

### 2.3.3.2 Premessa al sistema tecnologico

Negli anni Settanta si pensava che il processo di industrializzazione edilizia e di esecuzione in cantiere potesse generare una trasformazione radicale del modo di costruire e ci si credeva. Ciò riguardava sia l'edilizia scolastica, sia l'edilizia residenziale. La Regione Lombardia, sempre in quegli anni, aveva bandito due concorsi per progetti tipo di strutture scolastiche e residenziali. Si pensava di potere impostare sia l'edilizia residenziale pubblica sia l'edilizia scolastica su criteri di industrializzazione sulla base di cataloghi di riferimento definiti "repertori" (una sistematizzazione fondamentale in chiave tipologica) coinvolgendo, attraverso lo strumento del bando, progettisti e costruttori importanti. Confrontando le due esperienze, a distanza di tempo bisogna constatare che, mentre nella scuola si è riusciti a ottenere risultati interessanti, nell'edilizia residenziale, in cui si è cimentata anche la Valdadige, molto meno. Tre sono i motivi principali:

1. il DM scuola del 1975. Una riforma molto chiara che ha prodotto per una volta, in Italia, situazione molto rara, un sistema normativo di riferimento semplice, comprensibile, senza ambiguità di interpretazione nel quale si definivano gli standard, le dimensioni e le "regole del gioco";
2. un investimento di risorse pubbliche molto importante per finanziare la riforma della scuola;
3. una certa ritrosia culturale nei confronti della prefabbricazione destinata alla residenza.

Questi tre elementi hanno determinato due esiti molto diversi.

A differenza di quanto è accaduto per la residenza, infatti, per l'edilizia scolastica si è prodotta una domanda configurata, facilmente interpretabile, che ha creato i presupposti affinché le imprese si concentrassero sul tema mettendo a punto tecnologie specifiche. Di imprese che hanno tentato di dare una risposta industriale al processo edilizio ce ne sono state diverse. Il successo di Valdadige si spiega con l'implementazione di un sistema di prefabbricazione sofisticato, un lavoro di grande interesse nato dalla sinergia tra professionalità molto preparate. Data questa fase di espansione dell'attività industriale, gli architetti erano fortemente concentrati sui temi dell'edilizia legata all'industria, infatti per Valdadige è stato studiato un sistema di prefabbricazione apposito per edifici industriali (capannoni). Nonostante ciò, il sistema che ha avuto più risultati operativi è risultato essere quello delle scuole. Valdadige considerava l'edificio come un'entità scomponibile in sistemi e sub-sistemi, teoricamente intercambiabili tra di loro. Questi erano approfonditi nel dettaglio a partire dai componenti costruttivi prefabbricati che erano tutti omogenei tra di loro componibili che consentono di realizzare le diverse "scatole".

### 2.3.3.3 Il sistema architettonico "scuola"

Attraverso lo strumento dell'appalto-concorso (l'equivalente dell'odierno appalto integrato) sono state realizzate più di 30 scuole e progettate almeno il doppio. Lo strumento vincente consisteva nel catalogo del sistema Valdadige, ndr, "catalogo di possibili nuclei scolastici, compilato per rispondere alle richieste di programmi diversi in diverse situazioni. urbane ed extraurbane"), correttamente impostato, che forniva sempre la risposta giusta dal punto di vista dimensionale e soprattutto consentiva dei gradi di flessibilità (riassunti in diagrammi) che permettevano di risolvere il più correttamente possibile l'inserimento nelle diverse situazioni urbane o ambientali. Si tratta di un sistema molto semplice che presentava due caratteristiche principali. una per l'interno e una per l'esterno:

1. il sistema di aggregazione delle aule attorno allo spazio comune creava sempre un insieme molto riconoscibile. L'impostazione tipologica nasceva da una nostra avventura che era entrata nell'uso corrente con i termini "aula" e "contro aula". Uno schema che prevedeva che le aule non fossero distribuite attraverso corridoi, ma attraverso spazi destinabili alle attività libere. Nell'aula si svolgevano le attività ordinate, nella contro-aula le attività libere. Tutte le contro-aule erano rivolte verso lo spazio interno. uno spazio collettivo. di identità per la scuola, un unico grande spazio aperto a tutti gli utenti della scuola. Mentre aula e contro-aula erano destinate esclusivamente al gruppo di studenti della stessa classe, lo spazio centrale diventava invece il luogo "pubblico" (fig.43)

2. la scomposizione in "parti", definite attraverso diagrammi, rendeva molto semplice l'aggregazione delle varie componenti e il loro corretto dimensionamento. Le "parti" erano codificate in tre gruppi: attività didattica, attività sportiva/mensa e locale tecnico (centrale termica). Questi elementi venivano composti in maniera libera e servivano a costruire dei piccoli aggregati che riuscivano ad assumere, pur nella semplicità, i caratteri e una connotazione di tipo urbano. Le parti ricordavano per analogia un insieme di edifici organizzati intorno a uno spazio comune a costituire un complesso simile a una piccola cittadina. Era una scuola che in qualche modo si costruiva da sola, un'aggregazione di tanti volumi semplici che crescevano con la stessa logica degli spazi urbani.

Tale impostazione ha funzionato bene anche dal punto di vista iconografico, proponendo un'immagine della scuola alternativa all'edificio istituzionale/caserma.

Questo approccio è stato seguito per la realizzazione della scuola edia di Chirignago, in provincia di Venezia, (fig, 44), presenta le sopracitate caratteristiche di modularità in "parti" e di aggregazione delle aule.



fig.43 foto interna scuola media chirignago in cui si evince il sistema di aggregazione delle aule attorno allo spazio comune



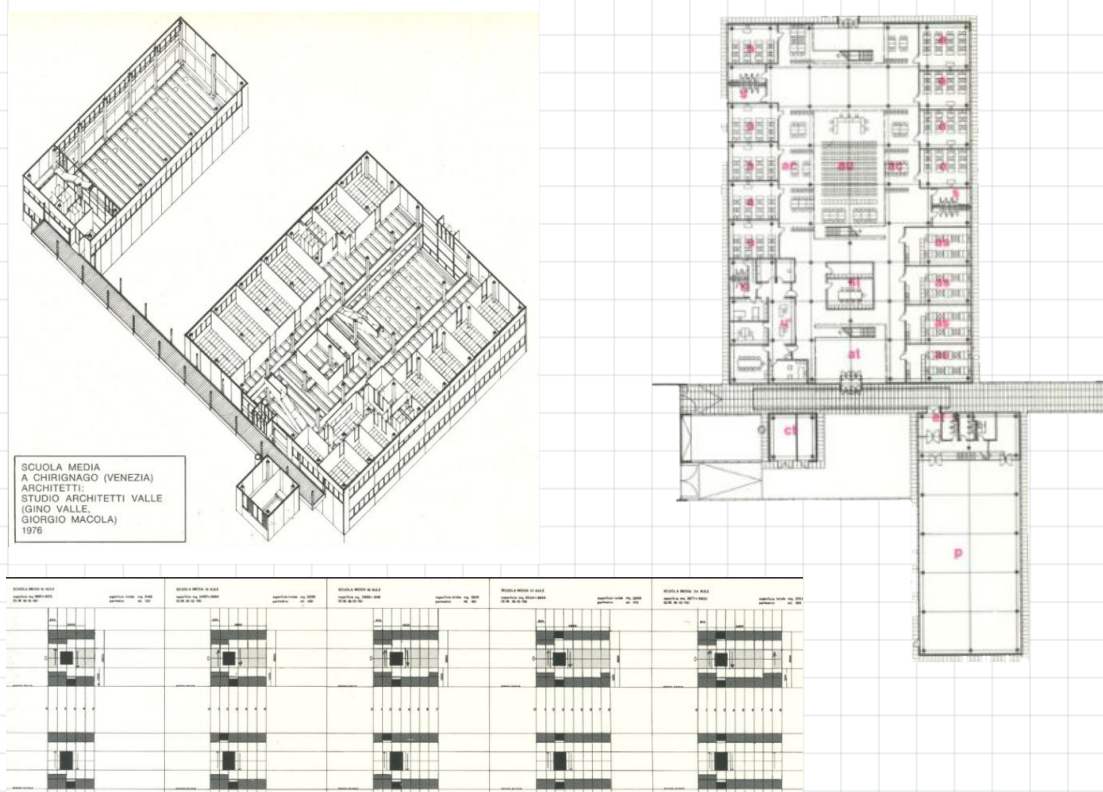


fig.44 vista assonometrica, pianta e schema compositivo della scuola media di Chirignago (Venezia), in cui viene adottato il sistema tecnologico "scuola"

#### 2.3.3.4 Revisione del sistema – il sistema PTK

Nel catalogo era presente la prima versione del sistema (tre campate di 12 metri. reticoli di 6x6). Il passo strutturale era tranquillamente sopportabile dagli elementi prefabbricati per le coperture, mentre per i solai calpestabili, la struttura veniva raddoppiata, con un passo di 6 metri e una maglia più fitta fino al primo impalcato e poi più rada fino alla copertura. Queste dimensioni producevano come risultato, in termini di superficie disponibile, una metratura al di sopra degli standard previsti dal decreto ministeriale. Lavorando con questo sistema perdevano i concorsi per i costi troppo elevati derivanti da un eccesso di superficie. Pertanto, la soluzione è stata rivista e corretta. Il sistema più efficace per ridurre i costi era ridurre le superfici. È stata messa a punto una revisione consistente nel limitare la luce a 10,80 metri, una soluzione che riusciva comunque a coordinare tutti i componenti. La misura di 10,80 rappresentava il limite massimo strutturale per lavorare con la campata unica. Sono stati semplificati tutti e tre i livelli del sistema, adeguandoli ad un passo di 10,80 metri (Sistema PTK). Ciò ha comportato una riduzione di superficie utile di circa il 10% e questo ha reso la Valdadige nuovamente concorrenziale, consentendo di sviluppare delle superfici utili totali comprese nel range previsto dalla legge.

Il sistema PTK è un sistema puntiforme a una direzione, impostato su una griglia modulare. I pilastri non sono previsti al centro degli assi della griglia, in modo da consentire di fare funzionare la nervatura delle cospelle nelle due direzioni e di utilizzare il sistema su assi ortogonali. Sul passo del modulo cadono anche le nervature dell'elemento prefabbricato. Il passo di queste nervature è di 60 cm. La soluzione è molto innovativa per quegli anni e si basa su cospelle (sezione a doppio T) a testa chiusa, che invece di essere prodotte su banchi (per potere graduare le lunghezze) e tagliate, erano prodotte in stampi chiusi in un'unica misura (questo era possibile grazie al contenimento in fase progettuale della varietà delle componenti). Al centro di questo sistema vi è la trave (90 cm).

Il sistema era stato messo a punto fin nei minimi particolari per limitare gli imprevisti in cantiere. Non

c'erano da fare getti, se non quelli per le cappe di 5 cm sopra i prefabbricati per tenerli insieme. Anche gli imprevisti legati al lavoro a terra erano stati molto contenuti, perché ricondotti all'interno della logica del sistema. Il sistema della scala è stato uno dei pezzi forti del progetto. Il supporto consiste in una trave dritta mentre il parapetto descriveva l'andamento reale delle rampe. (fig. 45)



fig.45 foto interna scuola media chirignago in cui si evince il sistema della scala

Niente di tutto questo, oggi, si potrebbe fare con le stesse modalità e soluzioni costruttive utilizzate allora. Anche le vetrate venivano prodotte artigianalmente: con tubolari di ferro e degli angolari per tenere i vetri, senza nessun taglio termico.

L'intero sistema era basato sulla filosofia dell'"onestà costruttiva", ovvero il mostrare il singolo componente nella sua funzione secondo il principio dell'autonomia dei sottosistemi (pelle/struttura/interno), informava tutto il progetto. Niente diventava predominante o aggressivo. non c'era esibizione violenta della tecnologia. Gran parte del risultato derivava dal fatto che le lampade con le canaline di sostegno costituivano un piano luminoso che lasciava in ombra la parte soprastante dove passavano gli impianti. (fig.46)

Si procede quindi a descrivere i tratti caratteristici di questo sistema. Anzitutto esso presenta una fondazione isolata con plinto a bicchiere, all'interno del quale si inseriscono i pilastri. (fig.47)



fig.46 sistema di illuminazione in una scuola Valdadige

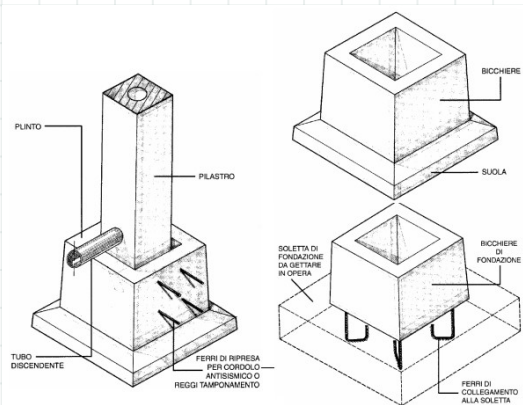


fig.47 Particolare di plinto a bicchiere

L'irrigidimento delle fondazioni è garantito da un cordolo perimetrale che collega i plinti. I pilastri presentano una sezione di 40x40 cm e sono dotati di una predisposizione di mensole di appoggio per le travi (fig.48). Le travi principali hanno una sezione "a T rovescia", quelle di bordo, invece, hanno una sezione rettangolare, con una scanalatura per ospitare gli agganci dei pannelli di facciata. Sulle travi poggiano elementi di solaio armati, con sezione "a doppio T" larga 2,40 metri, e con interasse tra le nervature di 1,20 metri. (fig.49) Le altezze di interpiano che si vengono a creare sono di 3,60 m.

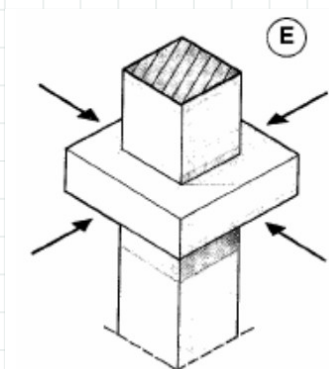


fig.48 pilastro con allargamento per l'alloggiamento delle travi

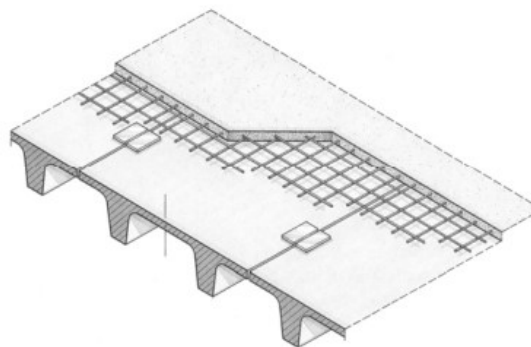


fig.49 elementi prefabbricati di solaio in calcestruzzo (coppelle)

Il sistema viene irrigidito mediante armature fuoriuscenti dai bordi delle travi a doppia T che vengono annegate in un getto di calcestruzzo effettuato tra gli elementi del solaio.

Le soluzioni proposte nel catalogo prevedono tre unità lineari distinte:

1. il corpo della scuola vera e propria (unità base)- sezione trasversale costante di 36 m. lunghezza variabile (da 24 a 60 m) corpo alto due piani con aule, uffici e gruppi di servizi esposti estovest passo in sezione 6+6+ 12+6+6 PT, 12+ 12+ 12 PP; ogni passo di 6 comprende due aule per piano; spazio centrale a doppia altezza con collegamenti verticali; involucro esterno in pannelli orizzontali di cemento armato con argilla espansa alternati a finestre a nastro (serramenti in alluminio naturale) nelle facciate delle aule e a elementi solidi verticali nelle testate cieche.
2. il corpo della palestra (e della eventuale mensa) - vano a doppia altezza costruito con gli stessi criteri.
3. il corpo della centrale termica (pianta quadrata 6x6 con camino esterno)

A livello architettonico si evince come i corpi costituenti i plessi scolastici realizzati con il suddetto sistema ricreino un raccordo urbano in piccola scala: i volumi infatti sono disposti a pettine o in linea, collegati da una pensilina metallica(fig 50,51).



fig.50 vista esterna di una scuola Valdadige, in cui si evince il mix dei "corpi" che compongono il plesso, e la pensilina



fig.51 vista dal sotto la pensilina di collegamento





# 3

## La situazione italiana attuale

3.1 il problema statico

3.2 il problema energetico

3.3 il problema degli spazi didattici

3.4 il quadro normativo



## 3.1.1 La situazione scolastica italiana

Didattica, sicurezza e sostenibilità ambientali: sotto tutti e tre questi aspetti, gli edifici scolastici italiani non sono più adeguati. Le scuole sono quindi inadeguate a garantire il benessere di docenti e studenti, e con questo la qualità degli insegnamenti e degli apprendimenti; sono inadeguate a favorire la diffusione dell'innovazione didattica e organizzativa e sono inadeguate a garantire livelli crescenti di inclusione. E ancora: sono inadeguate a soddisfare buoni requisiti di sicurezza e come luogo esemplare di educazione alla sostenibilità.

In Italia la costruzione delle scuole ha sempre proceduto a strappi, con momenti di investimento più intensi: subito dopo l'Unità d'Italia, all'inizio del Novecento, in epoca fascista fra il 1929 e lo scoppio della Seconda guerra mondiale, all'inizio del terzo millennio. Nessuna di queste fasi è, però, paragonabile a quanto accaduto fra il 1964 e il 1979, il periodo che segue il baby boom: sotto la spinta della fortissima crescita demografica, un terzo delle scuole ancora oggi attive è stato completato in quella manciata di anni, gli stessi nei quali si è avviata la vera scolarizzazione di massa del paese. Era un periodo in cui si costruiva in fretta, su modelli predefiniti e spesso con materiali di modesta qualità e dove gli spazi della scuola continuavano a essere pensati per una didattica tradizionale, trasmissiva: cattedre rialzate, lavagne al muro, banchi rigidamente disposti in file di fronte alla cattedra, attaccapanni nei corridoi. Sporadicamente affioravano elementi di novità, soprattutto nelle logiche che ispiravano la forma dell'edificio, la disposizione e gli usi degli spazi che non erano aule.

L'età avanzata del patrimonio scolastico comporta poi altre due altre conseguenze negative presentate all'interno del Rapporto sull'edilizia scolastica. La prima: molte nostre scuole sono fragili e insicure, costruite spesso senza attenzione ai criteri antisismici e con l'impiego di materiali scadenti e rapidamente deperibili; a questo va frequentemente aggiunta l'assenza di adeguate politiche di manutenzione ordinaria e straordinaria da parte delle amministrazioni locali proprietarie. (fig.1)

La seconda criticità è entrata solo da qualche anno nel dibattito pubblico. Sia gli edifici degli anni Settanta sia quelli antecedenti sono carenti dal punto di vista della sostenibilità ambientale e dell'efficienza energetica: materiali non isolanti, vetrate e infissi che disperdono il calore, fonti di riscaldamento o raffreddamento inquinanti e inefficienti. Oggi bisogna invece tenere conto che esiste un problema di

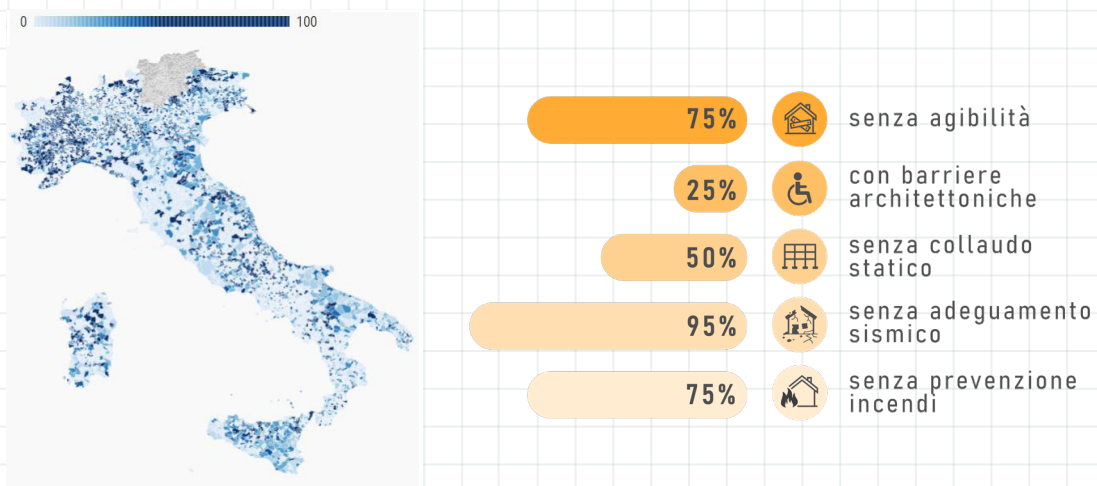


fig. 1 percentuale di edifici scolastici classificati come vetusti (2018)  
fonte: elaborazione openpolis - Con i Bambini su dati Miur



benessere degli studenti e di loro educazione allo sviluppo sostenibile che deve entrare nella più ampia nozione di educazione alla cittadinanza.

Ad intervenire in questo panorama di crisi sono i rapporti sull'edilizia scolastica con lo scopo di interpretare il cambiamento della società e gli scenari del futuro dell'Italia, attraverso gli strumenti della ricerca sociale. Oggi i loro programmi guardano ai nodi critici della scuola e dell'università, nella prospettiva di un rinnovamento del sistema dell'istruzione cercando di fornire indicazioni di politiche in vista degli interventi necessari all'edilizia scolastica italiana nei prossimi anni.

## 3.1.2 Rapporti edilizia scolastica

### 3.1.2.1 Rapporto Legambiente

La pandemia ha portato spazi e servizi scolastici al centro della cronaca dell'ultimo anno, mettendo in luce quanto questo aspetto infrastrutturale del Paese, strategico, sia in sofferenza; in linea, purtroppo, con quanto fotografa e denuncia da anni l'indagine dell'associazione ambientalista.

A fotografare la situazione è il XXI Rapporto Ecosistema Scuola, l'indagine di Legambiente sulla qualità dell'edilizia scolastica e dei servizi, che fa il punto sullo stato di salute di 7.037 edifici scolastici di 98 capoluoghi di provincia, frequentati da oltre 1,4 milioni di studenti.



Legambiente riporta che per far fronte a questa emergenza, per l'avvio dell'anno scolastico 2020-2021, sono stati stanziati 30mln di euro, ripartiti tra tutte le Province e Città metropolitane nonché tra i Comuni con popolazione scolastica pari o superiore a 10.000 studenti, al fine di supportare gli enti locali in interventi urgenti di edilizia scolastica e per l'adattamento degli ambienti e delle aule didattiche per il contenimento del contagio.

Attraverso questi fondi i Comuni hanno svolto lavori in quasi 1.500 edifici scolastici, realizzando 788 nuove aule e recuperandone altre 411 da spazi inutilizzati. (fig.2)

#### Fondi Covid - Edilizia scolastica

Edifici in cui si sono svolti lavori per contenimento contagio con i Fondi Covid	1.483
Nuove aule realizzate	788
Aule recuperate da spazi inutilizzati	411

fig.2 interventi per il contenimento del contagio a scuola  
fonte: XXI rapporto sulla qualità dell'edilizia scolastica e dei servizi, Legambiente

Per quanto riguarda il panorama sulla sicurezza, il primo elemento che emerge dai dati sulle certificazioni è il persistere di una situazione di difficoltà nel riuscire a mettere in regola tutti gli edifici scolastici. A livello nazionale quasi un edificio su due non dispone ancora del certificato di collaudo statico (46,8%), di agibilità (49,9%), prevenzione incendi (43,9%). Seppure il numero di edifici che ne risultano sprovvisti è in costante diminuzione si tratta di un percorso ancora lungo, con significative sperequazioni tra le diverse aree del Paese. Se al Nord oltre il 60% delle scuole risulta possedere tutte e tre le certificazioni, al Sud quelle con l'agibilità sono solo il 29,2%, nelle Isole solo una scuola su 3 è in regola con la certificazione di prevenzione incendi. Gli edifici dotati di accorgimenti per il superamento delle

## Certificazioni e accessibilità

	Nazionale	Nord	Centro	Sud	Isole
<b>Collaudo statico</b>	53,2%	62,8%	43,8%	42,1%	43,3%
<b>Agibilità</b>	50,1%	63,3%	40,3%	29,2%	40,1%
<b>Prevenzione incendi</b>	56,1%	60,6%	58,1%	58,3%	32,4%
<b>Edifici dotati di accorgimenti per superamento barriere architettoniche</b>	87,8%	95,7%	88,6%	80,9%	66,5%

fig.3 percentuali degli edifici accessibili e dotati di certificazioni di sicurezza, investimenti e manutenzione divisi per zone di territorio nazionale  
fonte: XXI rapporto sulla qualità dell'edilizia scolastica e dei servizi, Legambiente

barriere architettoniche sono l'87,8%, dato che nel caso delle scuole delle Isole scende al 66,5%, segno che qui c'è ancora molto da lavorare per rendere tutte le scuole accessibili a tutti. (fig.3)

Sul piano della sicurezza invece, dal rapporto emerge che gli edifici scolastici posti in zona sismica 1 sono il 4,1%, tra questi il 40% risulta progettato o adeguato alla normativa tecnica di costruzione antisismica, quelli in zona sismica 2 sono il 30,9% con l'8,1% progettato o adeguato alla normativa.

Al Sud gli edifici complessivamente posti in area sismica 1 e 2 sono 86,2%. I Comuni che hanno realizzato la verifica di vulnerabilità sismica in tutti gli edifici scolastici sono solo il 15,5%, nonostante costituisca uno dei principali strumenti per verificare lo stato di salute degli stessi e del terreno su cui sono costruiti, dato che sale al 28,6% nel caso di amministrazioni ricadenti in zona sismica 1 e 2. Gli edifici in cui non risulta ancora effettuata sono il 68,5%. (fig.4)

## Sicurezza e antisismica

	Dato nazionale
<b>Edifici in zona sismica 1</b>	4,1%
<b>Edifici zona sismica 1 progettati o adeguati alla normativa di costruzione antisismica</b>	40,0%
<b>Edifici in zona sismica 2</b>	30,9%
<b>Edifici zona sismica 2 progettati o adeguati alla normativa di costruzione antisismica</b>	8,1%
<b>Edifici in cui non è stata ancora effettuata la verifica di vulnerabilità sismica</b>	68,5%
<b>Amministrazioni che hanno realizzato interventi di adeguamento sismico negli ultimi 5 anni</b>	54,5%
<b>Edifici in cui sono stati realizzati interventi di adeguamento sismico negli ultimi 5 anni</b>	3,3%

fig.4 classificazione degli edifici in base alla sicurezza e la zona sismica  
fonte: XXI rapporto sulla qualità dell'edilizia scolastica e dei servizi, Legambiente

Per garantire una gestione virtuosa dei fondi per una migliore qualità degli edifici scolastici occorre, secondo Legambiente:

- mappare i bisogni attraverso lo strumento dell'anagrafe dell'edilizia scolastica;
- programmare gli interventi secondo una scala di priorità a partire dall'efficientamento energetico e dalla messa in sicurezza;
- sostenere le strutture tecniche delle amministrazioni che sono più indietro nel reperimento dei fondi e nella capacità progettuale;
- semplificare le linee di finanziamento, il loro accesso e la loro gestione per ridurre il divario esistente tra i progetti finanziati e quelli conclusi e conseguentemente, tra gli importi stanziati e quelli rimborsati agli enti locali.

Solo così i fondi a disposizione potranno incidere in maniera efficace su un patrimonio edilizio vetusto e poco curato nel tempo, sperequazioni territoriali importanti fra la qualità degli edifici e dei servizi scolastici tra nord, centro, sud e isole, l'eccessiva concentrazione di studenti in spazi non adeguati al benessere e alla didattica, la necessità di interventi strutturali urgenti, la progressiva perdita dei servizi pubblici collettivi rivolti alle scuole, a cominciare dai trasporti.

In conclusione, il Rapporto suggerisce come prioritari gli interventi per gli edifici con una maggior fragilità strutturale e sociale. Imposta la messa in sicurezza degli edifici in area sismica 1 e 2, a fronte di un investimento di 17 miliardi di euro, come condizione necessaria per garantire la qualità diffusa dell'edilizia scolastica e l'accesso per tutti e in tutti i territori ai servizi connessi alla scuola.

### 3.1.2 Rapporto Fondazione Agnelli

Parallelamente al Rapporto Legambiente, anche la Fondazione Giovanni Agnelli ha contribuito all'impegno di tutela e rinnovamento del patrimonio edilizio scolastico.

La Fondazione Giovanni Agnelli è un istituto indipendente di cultura e di ricerca nel campo delle scienze umane e sociali. È stata fondata nel 1966 e dal 2008 ha scelto di concentrare le proprie attività di ricerca sui temi dell'education (scuola, università, lifelong learning).

La Fondazione ha promosso il progetto "Torino fa scuola" presentato nel 2015 nella Scuola Secondaria E. Fermi (fig 5,6), con la presentazione di un report che analizza il panorama dell'edilizia scolastica italiana e contiene una riflessione culturale, pedagogica e architettonica sui nuovi spazi di apprendimento che servono alla scuola italiana.



fig.5 vista interna scuola media Enrico Fermi, Torino - pre intervento



fig.6 vista interna scuola media Enrico Fermi, Torino - post intervento

La missione è anche quella di offrire idee e un modello di processo per la riqualificazione del patrimonio edilizio scolastico replicabile in tutto il Paese. Per avviare il progetto è stato indetto un concorso di progettazione in cui sono state coinvolte due comunità scolastiche, la scuola Enrico Fermi, e la scuola Giovanni Pascoli, entrambe scuole secondarie di primo grado localizzate a Torino, con lo scopo di disegnare una nuova traiettoria su cui impostare i nuovi modelli di scuole del futuro. Il concorso era aperto a tutti e ha previsto due fasi di selezione: la prima è stata un concorso di idee, mentre la seconda, la redazione di un progetto preliminare.

La scuola media Fermi è una scuola di periferia costruita a metà degli anni Sessanta. Seppure gli spazi risultino ampi e ben illuminati, molti sono mal utilizzati e non rispondono alle nuove esigenze didattiche l'edificio era in uno stato di conservazione senza tratti di eccezionalità né in positivo né in negativo (fig.5) Presentava caratteristiche costruttive e tecnologiche molto ricorrenti nelle strutture dell'epoca del boom. La riqualificazione completa e radicale di una scuola così connotata può offrire un esempio replicabile per molti altri interventi sul patrimonio esistente in tutto il territorio nazionale.(fig 6)

La scuola media Pascoli è stata scelta in quanto si tratta di una tipologia di edificio storico "comune" avente caratteristiche costruttive e stato di conservazione tipici, al fine di garantire l'obiettivo della replicabilità del progetto. L'edificio risale alla fine dell'Ottocento, si presenta in un discreto stato di conservazione (fig 7) ed è posto ai vincoli della Soprintendenza, condizione che limita la flessibilità nel ripensamento degli spazi interni ma che al tempo stesso pone una sfida avvincente (fig. 8).

È interessante notare che anche sotto il piano giuridico è stato proposto un modello innovativo: per la scuola Pascoli l'intervento è stato compiuto direttamente dalla Fondazione per la Scuola, proprietaria



fig.7 vista interna scuola media Giovanni Pascoli, Torino - pre intervento



fig.8 vista interna scuola media Giovanni Pascoli, Torino - post intervento

dell'edificio. Per la scuola Fermi, di proprietà pubblica, è stato sottoscritto uno specifico accordo che costituisce un interessante esempio di collaborazione pubblico/privato.

Il primo elemento che emerge dai dati sullo stato delle scuole e sulle certificazioni è il persistere di una situazione di difficoltà nel riuscire a mettere in regola tutti gli edifici scolastici. L'età media degli edifici scolastici è di 52 anni, con due di questi su tre che risalgono a più di 40 anni fa (fig.9).

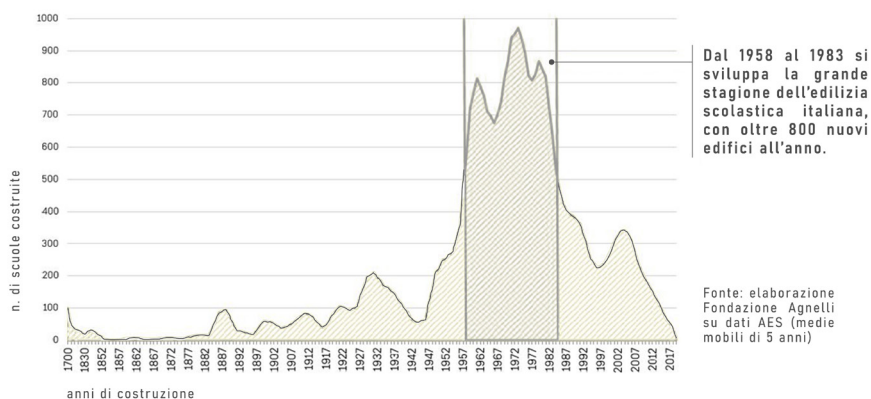


fig.9 grafico temporale della densità di costruzione dilizia degli edifici scolastici dal 1700 ai giorni nostri  
 fonte: rapporto sull'edilizia scolastica, fondazione Agnelli

A livello nazionale quasi un edificio su due non dispone ancora del certificato di collaudo statico (46,8%), di agibilità (49,9%), prevenzione incendi (43,9%). Seppure il numero di edifici che ne risultano sprovvisti sia in costante diminuzione, si tratta di un percorso ancora lungo, con significative sperequazioni tra le diverse aree del Paese. Se al Nord oltre il 60% delle scuole risulta possedere tutte e tre le certificazioni, al Sud quelle con l'agibilità sono solo il 29,2%, nelle Isole solo una scuola su 3 è in regola con la certificazione di prevenzione incendi.

Viene offerta, inoltre, un'analisi più approfondita sulle tipologie di problemi strutturali che caratterizzano gli edifici, classificandole per ordine di importanza e per tipologia di elemento. (fig.10)

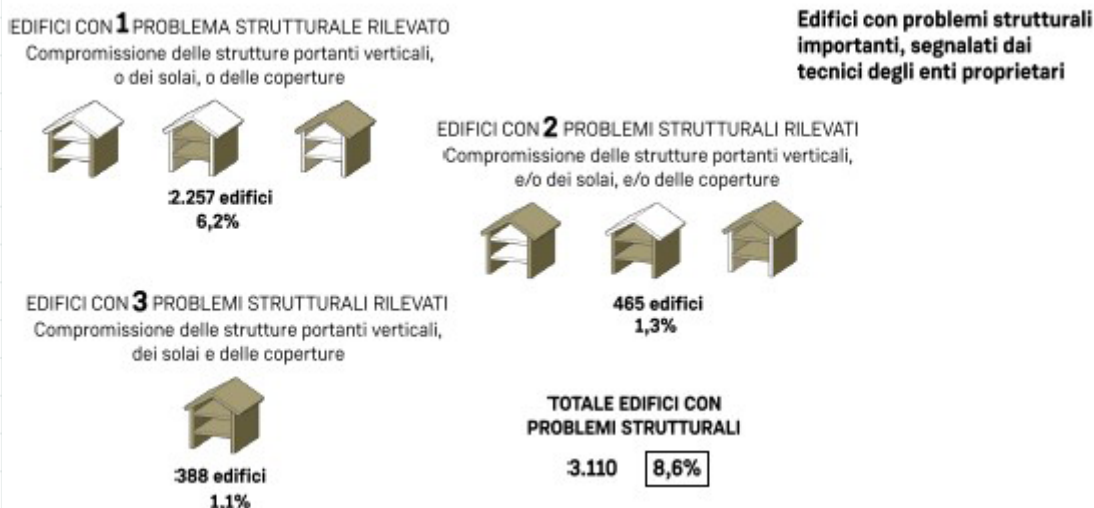


fig.10 schema delle problematiche a livello strutturale riscontrati sugli edifici scolastici e relative percentuali  
 fonte: rapporto sull'edilizia scolastica, fondazione Agnelli

### 3.1.3 Il piano di ripresa “Italia Domani”

Nel dicembre 2021 il governo italiano ha predisposto il Pnrr (Piano nazionale di ripresa e resilienza) per illustrare alla commissione europea come il nostro paese intende investire i fondi che arriveranno nell'ambito del programma Next generation Eu.

Il documento si chiama “Italia Domani”, è stato recentemente approvato dalla commissione europea e descrive quali progetti l'Italia intende realizzare grazie ai fondi comunitari. Il piano delinea inoltre come tali risorse saranno gestite e presenta anche un calendario di riforme collegate finalizzate in parte all'attuazione del piano e in parte alla modernizzazione del paese.

Il programma alimenta “Futura - La scuola per l'Italia di domani”, cornice che collega le diverse azioni attivate grazie a risorse nazionali ed europee per una scuola innovativa, sostenibile, sicura e inclusiva. Sei riforme ed undici linee di investimento (sei per le infrastrutture e cinque per le competenze) è il programma di interventi previsto per la parte di competenza del Ministero dell'Istruzione, 17,59 miliardi è l'investimento complessivo per realizzare un nuovo sistema educativo per garantire il diritto allo studio, le competenze digitali e le capacità necessarie a cogliere le sfide del futuro, superando ogni tipo di disparità e contrastando dispersione scolastica, povertà educativa e divari territoriali.

Le sei riforme contribuiscono a mettere il sistema scolastico al centro della crescita del Paese, integrandolo pienamente alla dimensione europea. Le misure afferiscono, infatti, agli aspetti più strategici della scuola: la riorganizzazione del sistema scolastico, la formazione del personale, le procedure di reclutamento, il sistema di orientamento, il riordino degli istituti tecnici e professionali e degli Istituti Tecnici Superiori (ITS). In conformità alle linee guida della Commissione Europea e al Regolamento UE n. 241/2021, tutte le riforme saranno adottate entro il 2022.

Una delle linee di investimento concerne la messa in sicurezza e la riqualificazione delle scuole, per le quali è stato messo a disposizione un budget di 3,9 miliardi di euro con lo scopo di rendere gli edifici pubblici adibiti a scuole del primo e secondo ciclo di istruzione innovativi, sostenibili, sicuri e inclusivi, con interventi di messa in sicurezza, adeguamento sismico, efficientamento energetico e sostituzione edilizia. L'edilizia scolastica costituisce una priorità assoluta non solo per garantire la sicurezza degli edifici scolastici, ma anche per assicurare una reale ed effettiva fruibilità degli ambienti didattici, essi stessi risorse educative che contribuiscono alla crescita dei giovani. L'investimento si concentrerà sulla ristrutturazione, messa in sicurezza e riqualificazione energetica degli edifici, puntando a ridurre le emissioni e migliorare le classi energetiche degli edifici, aumentare la sicurezza sismica, digitalizzare gli ambienti di apprendimento.

## Il problema energetico 3.2

### 3.2.1 Progetto “La scuola in bolletta”

Il progetto La scuola in bolletta nasce dalla collaborazione scientifica tra il mondo dei servizi (LGH), della ricerca (RSE) e della scuola, ed è finalizzato alla promozione di interventi di efficienza e risparmio energetico nelle scuole, intese come patrimonio edilizio.

Attraverso la messa a fattor comune delle competenze e dei ruoli dei singoli partecipanti, intende infatti generare risparmi energetici negli edifici scolastici, ridurre i costi di gestione per le amministrazioni comunali e promuovere allo stesso tempo, tra gli studenti, una più diffusa cultura nell'uso efficace ed efficiente dell'energia.

Nel concreto, il progetto interessa una quarantina circa di edifici scolastici selezionati, all'interno dei Comuni interessati dalla fornitura dei servizi energetici/ambientali da parte di LGH. Quattro scuole sono state assunte come "strutture di riferimento" o "edifici-tipo", in quanto rappresentative di gruppi omogenei di istituti scolastici, in virtù della destinazione d'uso e delle caratteristiche costruttive (anno di realizzazione, volumetria, eccetera). Sulle quattro scuole "tipo" è in corso un'analisi speditiva di audit energetico; sulla base della planimetria, delle caratteristiche costruttive e delle prestazioni energetiche dei relativi materiali prevalentemente utilizzati, si potranno così ricostruire le relative domande in termini di servizio termico ed elettrico. Grazie ai dati e ai risultati ottenuti, sarà poi realizzato il database energetico di tutte le scuole considerate.

Parlando di efficienza energetica con alcuni esperti di RSE, è comparso sul tavolo uno studio relativo ai consumi delle scuole italiane: un miliardo e mezzo di kWh/anno e poco meno di 900 ktep per gli usi termici. Lo stesso studio rilevava, inoltre, che attraverso una serie di interventi mirati di efficientamento già oggi sarebbe stato possibile ottenere riduzioni del fabbisogno energetico finale degli edifici scolastici tra il 35% e l'82%.

### 3.2.1.1 I consumi

Attualmente in Italia ci sono circa 8 milioni di alunni, considerando dalla scuola dell'infanzia al diploma di maturità. Nel complesso il patrimonio dell'edilizia scolastica conta circa 45 mila edifici, con un consumo elettrico complessivo stimato in 1,46 TWh. Il consumo medio di energia elettrica associato a ciascuno studente è pari a 180 kWh/anno. La principale fonte di consumo è rappresentata dall'illuminazione (49,9% della domanda complessiva di energia elettrica), mentre risulta trascurabile il peso specifico della climatizzazione e del raffrescamento, limitato a poche scuole e solo ad alcuni ambienti (fig.11).

Negli anni del boom economico il tema dell'efficienza energetica era visto con una certa diffidenza, perché efficienza significava austerità e la parola sostenibilità veniva confusa con il termine ecologia.

## LE FONTI DI CONSUMO NELLE SCUOLE ITALIANE (% SU DOMANDA TOTALE DI kWh)

Domanda di servizio	Tecnologia prevalente	Valori medi per scuola %
ILLUMINAZIONE	Lampade fluorescenti Lampade mercurio (lampioncini)	49,9
CLIMATIZZAZIONE, RISCALDAMENTO E CONDIZIONAMENTO	Climatizzatori (splitter a pompe di calore) e servizi elettrici per riscaldamento	7,5
MACCHINE UFFICIO	Computer, stampanti, fotocopiatrici	6,9
REFRIGERAZIONE, CONSERVAZIONE DEGLI ALIMENTI	Congelatori, frigo-congelatori, distributori automatici	11,5
TRATTAMENTO CIBI	Elettrodomestici	0,7
COTTURA CIBI	Forni elettrici e scaldavivande	2,4
SISTEMI DI LAVAGGIO	Lavastoviglie e lavabiancheria	20,9
ACQUA CALDA SANITARIA	Scaldabagni elettrici	0,1
VARIE	Sistemi audio (centrale e diffusori) e TV	0,1

fig.11 schema delle fonti di consumo nelle scuole italiane  
fonte: elaborazione dati RSE

Oggi fortunatamente le prospettive sono molto cambiate: il tema dei consumi energetici è trasversalmente diffuso in tutti gli strati della popolazione, sebbene non vi sia ancora la completa consapevolezza delle potenzialità dell'efficienza energetica. L'unica cosa a non essere cambiata è la scuola: è sempre lo stesso edificio. Mediamente una scuola spende ogni anno dai 15 ai 45 mila euro per la bolletta energetica. Circa il 30-40 per cento dei costi delle bollette scolastiche sono legati alla fornitura di energia elettrica per erogare illuminazione, servizi generali e per le mense. Se si potesse sostituire l'attuale mix di lampadine a incandescenza, alogene e fluorescenti (efficacia luminosa media pari a 40 lumen/W) con sistemi di regolazione e lampade fluorescenti e a led (efficacia luminosa media a 65 lumen/W), a parità di domanda di servizio si risparmierebbe già il 40%, tagliando complessivamente di circa il 9% il consumo elettrico totale di una scuola. Le fonti dei consumi sono attribuibili prevalentemente alle aule, ma anche gli elettrodomestici legati al consumo di cibi, responsabili del 21% dei consumi, occupano una posizione importante nella classifica riportata dalle indagini. (fig.11)

Gli altri apporti si considerano trascurabili e offre quindi minori margini di intervento e relativo efficientamento. Un ulteriore dato interessante che emerge è che i consumi delle scuole italiane sono inversamente proporzionali rispetto al grado di insegnamento: l'asilo è più energivoro del liceo. Questo dato è giustificabile dal numero medio di alunni per singolo plesso scolastico, che incide direttamente sul fabbisogno termico pro-capite. (fig.12)

Attualmente la bolletta energetica (elettrica + termica) delle scuole italiane ammonta a 1 miliardo e trecentomila euro, pari a 165 euro a studente, oppure a 27 mila euro per singolo edificio.

	<b>STIMA DEI CONSUMI DELLE SCUOLE ITALIANE (E DEI SINGOLI STUDENTI)</b>				
	<b>Scuole</b>				<b>Totale</b>
	<b>infanzia</b>	<b>primarie</b>	<b>secondarie</b>		
		<b>di 1° grado</b>	<b>di 2° grado</b>		
Stima consumi termici Italia (ktep)	174	329	196	191	890
Stima consumi elettrici Italia (ktep)	29	44	30	22	124
<b>Totale Italia (ktep)</b>	<b>203</b>	<b>373</b>	<b>226</b>	<b>213</b>	<b>1.014</b>
Numero studenti	1.175.100	2.630.480	1.704.300	2.542.750	8.052.600
<b>Stima consumo per singolo studente tep</b>	<b>0,17</b>	<b>0,14</b>	<b>0,13</b>	<b>0,08</b>	<b>0,13</b>

Fonte: elaborazione dati RSE

fig.12 schema delle dei consumi della scuole italiane suddivisi per grado scolastico  
fonte: elaborazione dati RSE

### 3.2.1.2 Metodologia e strategie di intervento

L'iniziativa volta a favorire e diffondere nelle scuole una maggiore attenzione e consapevolezza nell'uso dell'energia, prevede il coinvolgimento diretto di circa 40-60 scuole selezionate nei Comuni e nelle Province in cui l'associazione LGH opera.

Attraverso un percorso didattico, le scuole scelte saranno interessate da un'analisi speditiva di audit energetico, i cui risultati contribuiranno a definire un database energetico di tutte le scuole considerate. L'analisi, con benchmark di consumo per raggruppamenti omogenei di edifici, consentirà di definire la qualità energetica delle scuole e sarà propedeutica alla definizione di proposte di riqualificazione energetica secondo un approccio cost effective.

Lo svolgimento delle attività vedrà infatti un coinvolgimento diretto degli allievi delle scuole individuate, che saranno attori principali fin dal primo audit energetico. Nei vari territori interessati, gli edifici campione saranno individuati anche in virtù dei diversi livelli e cicli dell'istruzione, e successivamente classificati per anzianità, così da poter prevedere interventi dedicati. (fig.13)

Per supportare la pubblica amministrazione nel definire le priorità e pianificare nel tempo interventi di efficienza energetica con il miglior rapporto costi-benefici, RSE ha svolto uno studio finalizzato a





fig.13 fasi del procedimento proposto dal progetto per la riqualificazione degli edifici scolastici

valutare la sostenibilità di cinque “pacchetti di interventi di riqualificazione energetica”, che il Comune di Roma prevede di applicare in un ampio progetto di riqualificazione del proprio patrimonio scolastico. Per ogni pacchetto di interventi (caratterizzati da differenti tipologie) è stato selezionato un edificio scolastico reale, su cui analizzare le potenzialità di tali azioni. Gli interventi di efficienza energetica presi in esame, nello specifico, riguardano gli impianti di riscaldamento e l’involucro edilizio da applicare agli edifici; pertanto, si parla di sostituzione di caldaie tradizionali con quelle a condensazione, sostituzione dei serramenti, coibentazione del solaio di copertura e controterra, e delle pareti perimetrali. Per queste scuole le valutazioni economiche si basano sul confronto di tre indici: il costo globale (somma del costo dell’investimento iniziale, costi di gestione e costi energetici), il tempo di ritorno e il rapporto tra costo globale/risparmio energetico conseguito ipotizzando una vita utile degli interventi pari a 30 anni si è osservato che, in presenza di incentivi, l’intervento più conveniente è quello sull’impianto di riscaldamento.

Una considerazione conclusiva di quest’analisi verte sull’enorme varietà delle situazioni con le quali ci si trova ad operare. Esaminando come variabile l’anno di costruzione, si va da cantieri aperti nel primo Ottocento a realizzazioni, addirittura, del 2013. Si ha a che fare con volumetrie utili che partono da meno di 4 mila metri cubi per sfiorare la soglia dei 15 mila. Ci sono realtà che accorpano edifici consegnati in epoche diverse. La situazione è estremamente complessa, e questo rappresenta una sfida in più per i ricercatori e per il progetto in generale che non vuole confezionare un abito da sartoria – esclusivamente realizzato sulle esigenze di un singolo cliente, e per una singola stagione – ma offrire, al contrario, una linea di prêt à porter che possa incontrare e soddisfare i bisogni di molti.

### 3.2.2 Il rapporto Legambiente per il problema energetico

Negli ultimi anni sono stati stanziati diversi fondi per l'efficientamento energetico degli edifici scolastici, al fine di rendere le scuole meno energivore e implementare la produzione di energia da rinnovabili; tuttavia, gli interventi realizzati sono ancora troppo pochi e insufficienti per poter parlare di vere e proprie scuole sostenibili. Gli edifici con certificazione energetica sono solo il 24%. Tra questi, solo il 5,5% si trova nella classe energetica A, l'1,7% in classe B, mentre complessivamente il 73,4% è nelle ultime tre classi energetiche (E, F, G) (fig.14).

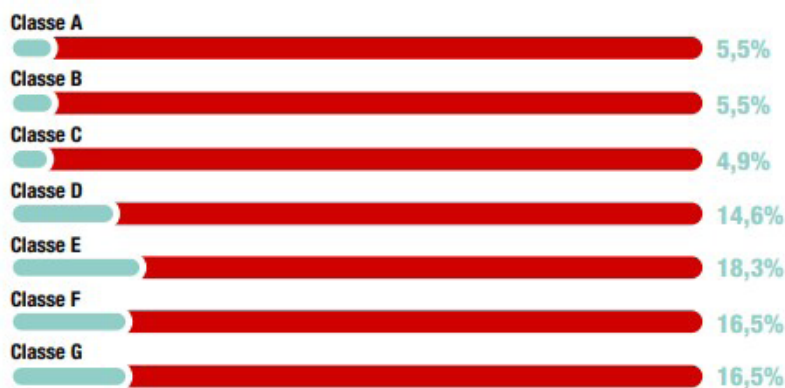


fig.14 grafico delle percentuali di edifici scolastici con certificazione energetica, suddivisi per classe energetica  
fonte: rapporto sull'edilizia scolastica, fondazione Agnelli

Gli interventi di efficientamento energetico, realizzati negli ultimi 5 anni, hanno riguardato solo il 15% degli edifici scolastici, con una media del 20% al Nord e del 5,6% nelle Isole. Questi hanno riguardato prevalentemente la sostituzione di vetri e serramenti, l'isolamento delle coperture e/o delle pareti esterne, l'installazione di caldaie a condensazione e gli impianti di energia rinnovabile. Interventi, questi ultimi, che non contribuiscono ancora in modo significativo alla crescita delle scuole con impianti di energia rinnovabile. Anzi, riuscendo quest'anno a raccogliere e analizzare i dati di un maggior numero di Comuni e quindi di edifici scolastici, si è registrato un dato medio nazionale più basso rispetto all'anno precedente (16,7% contro 18,1%). Tra questi: il 69,2% utilizza il solare fotovoltaico, il 34,8% il solare termico, solo l'1,2% impianti a geotermia e l'1,2% a biomassa. La copertura dei consumi da fonti rinnovabili è del 37,5%, un dato rimasto costante rispetto alla rilevazione precedente.

Anche la Fondazione Agnelli fornisce dei valori interessanti circa lo stato degli interventi per il risparmio energetico attualmente eseguiti. Gli interventi maggiormente diffusi risultano essere le sostituzioni dei serramenti, seguite dagli interventi sugli impianti, quindi l'installazione dei pannelli solari e degli isolamenti di copertura, mentre l'isolamento delle pareti esterne è una soluzione adottata in una piccolissima minoranza di casi di edilizia scolastica. (fig.15)

Secondo quanto riferito nel rapporto Legambiente, se considerati nell'arco di un decennio, gli investimenti ambientali sarebbero in grado di abbattere di un terzo i consumi termici, della metà quelli per l'energia elettrica e di un quinto l'utilizzo di acqua. Si evince che la tempestività di un intervento a breve termine diviene di grande rilevanza, ed ecco che Futura torna in campo anche nel contesto energetico. Nel capitolo 3.1.3 abbiamo visto quanto l'Italia abbia deciso di investire per la riqualificazione del patrimonio edilizio esistente; altrettanta importanza è stata data agli investimenti per le scuole di nuova costruzione. Secondo il piano, con una linea di investimento di ben 800 milioni, si intende realizzare nuove scuole del primo e secondo ciclo di istruzione sicure, inclusive, innovative e altamente sostenibili, abbassando del 20% i parametri energetici NZEB nazionali.

Nella consapevolezza che gli ambienti scolastici sono fondamentali per poter garantire una didattica di

qualità e innovativa, gli interventi sono finalizzati a realizzare spazi che possano garantire una didattica basata su metodologie innovative, in grado di stimolare la creatività ponendo le studentesse e gli studenti e la loro crescita al centro di una prospettiva educativa orientata al futuro.

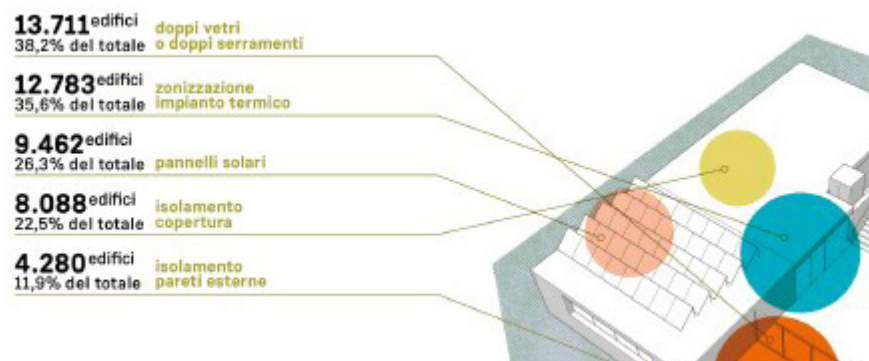


fig.15 schema dei principali interventi realizzati sugli edifici scolastici  
fonte: rapporto sull'edilizia scolastica, fondazione Agnelli

## 3.3 Il problema degli spazi didattici

### 3.3.1 La necessità di rigenerazione di edifici esistenti

L'emergenza Covid ha messo a nudo criticità latenti da anni per il sistema educativo. L'edilizia scolastica è in qualche modo la cartina al tornasole di questo tipo di problemi di lungo periodo. La necessità di dover ripensare e riadattare spazi per consentire un ritorno in sicurezza si è dovuta infatti confrontare, in ogni comune, scuola per scuola, con la situazione reale di ciascun territorio.

Il rapporto sull'edilizia scolastica della Fondazione Agnelli illustra, attraverso una linea storica, le fasi di questo processo che ha contribuito a rendere il sistema scolastico sempre più obsoleto negli anni. (fig.16). Le nostre scuole sono inadeguate sul piano della didattica, perché progettate e realizzate secondo il dogma della centralità dell'aula e la dominanza di un'unica strategia di insegnamento, quella trasmissiva. Mal si prestano, dunque, a un'auspicabile maggiore corralità di strategie e metodi coerenti con la diffusione dell'innovazione didattica e organizzativa.

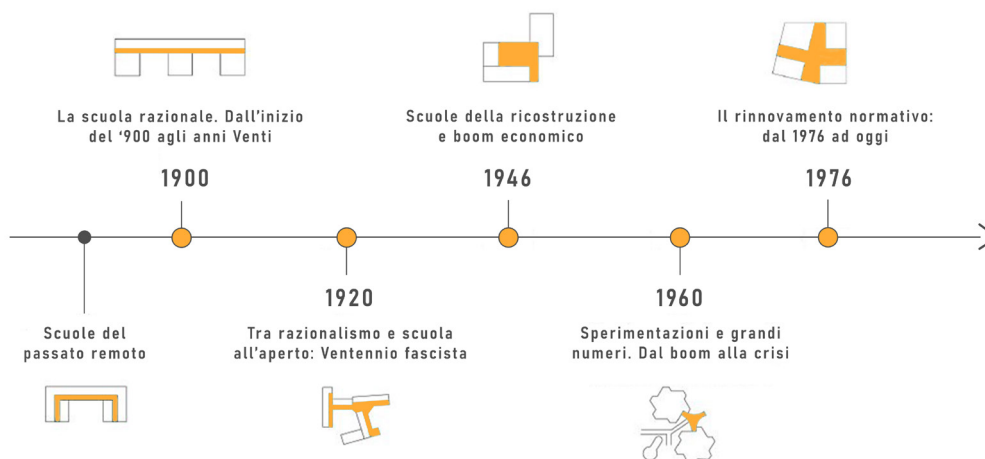


fig.16 schema temporale sulle tipologie architettoniche degli edifici scolastici nel XX secolo  
fonte: rapporto sull'edilizia scolastica, fondazione Agnelli

In concomitanza con l'esigenza di modernizzare gli spazi di apprendimento, si presenta la necessità di sfruttare quanto più possibile il patrimonio scolastico esistente, riducendo al minimo gli interventi di nuova costruzione. Questo si giustifica con il panorama demografico europeo presentato dall'EU-ROISTAT 2019, che ha previsto un forte decremento della popolazione nelle proiezioni dal 2019 al 2030 (fig.17). La situazione italiana sembrerebbe essere la più drammatica tra tutti i Paesi analizzati.

### Il declino della popolazione scolastica italiana

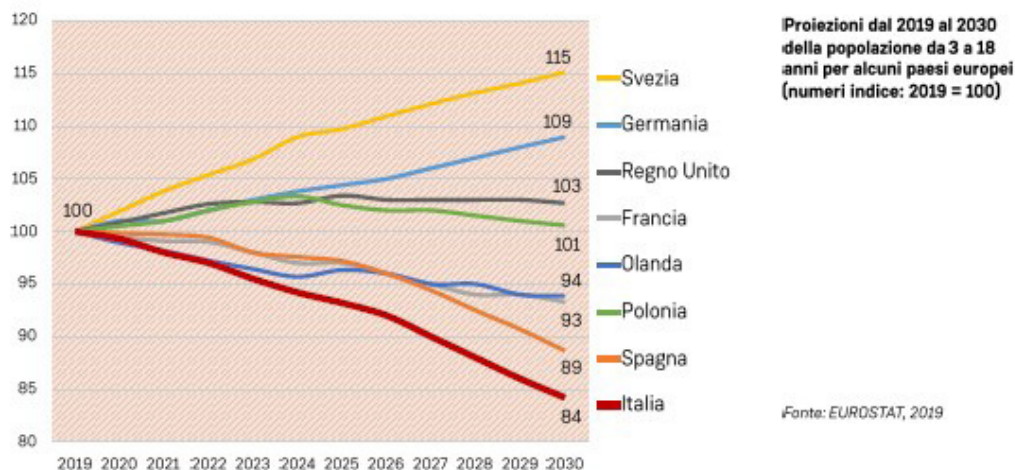


fig.17 grafico sull'andamento della popolazione scolastica italiana ipotizzata dal 2019 al 2030  
fonte: rapporto sull'edilizia scolastica, fondazione Agnelli

### Meno studenti, meno classi, meno docenti

Nel 2030 in Italia avremo 1.100.000 studenti in meno

	Nord Ovest	Nord Est	Centro	Sud	Italia
sezioni infanzia	-1.185	-1.073	-1.113	-2.914	-6.285
classi primaria	-4.374	-3.551	-3.516	-6.890	-18.332
classi sec I grado	-2.497	-2.028	-1.919	-4.706	-11.149
classi sec II grado	-486	-516	+56	-6.680	-7.626
<b>Totale</b>	<b>-8.541</b>	<b>-7.167</b>	<b>-6.492</b>	<b>-21.191</b>	<b>-43.392</b>

**Variazioni assolute nel numero di classi/sezioni, dall'a.s. 2018/19 al 2029/30, per grado di scuola e circoscrizione**

fig.18 variazione nel numero di classi/sezioni previste dal 2019 al 2030  
fonte: rapporto sull'edilizia scolastica, fondazione Agnelli

Secondo le stime, nel 2030, ci saranno un milione e centomila studenti in meno, di cui più di un quarto, appartenente alle scuole secondarie di primo grado. (fig.18)

Tralasciando le scuole realizzate ex novo grazie a una vision resa possibile da una fortunata combinazione di risorse disponibili e istituzioni lungimiranti, dobbiamo considerare che da alcuni anni sono gli istituti stessi che stanno forzando i vincoli e le barriere dei propri edifici per predisporre ambienti di apprendimento più moderni ed efficaci. Numerose sono le scuole italiane che hanno cominciato individuando uno spazio delimitato e interno all'edificio per progettare e realizzare un nuovo tipo di aula dotata di tecnologie digitali, connettività a banda larga, arredi flessibili e spazi riconfigurabili. Si tratta di strategie non guidate da indicazioni o standard posti a livello nazionale ma di iniziative che nascono "dal basso" e che danno vita ad ambienti di apprendimento prototipali da consolidare ed estendere su scala più ampia in modo graduale e accompagnato. Banchi combinabili, sedie scorrevoli, schermi interattivi, dispositivi mobili, diventano gli elementi di un nuovo ambiente che abbandona il concetto di aula

monouso per proporre una gamma di potenziali setting personalizzabili e funzionali a una molteplicità di strategie didattiche.

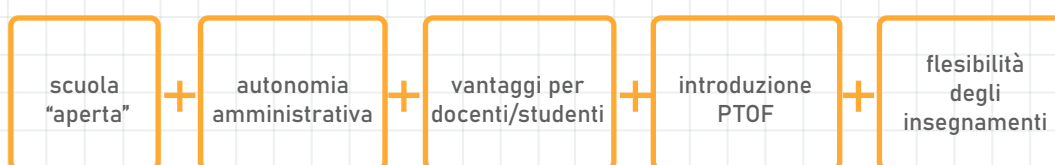
Il ripensamento degli spazi scolastici è tema trasversale che interessa tutti gli stakeholder coinvolti direttamente o indirettamente nella vita della scuola stessa e del suo territorio. Governi nazionali, enti locali, aziende, studenti e loro familiari, dirigenti scolastici e personale interno, tutti i portatori di interesse, stanno alimentando un processo di cambiamento divenuto negli anni sempre più urgente e necessario per superare la disconnessione che divide gli ambienti della scuola da tutti gli altri, formali e informali, nei quali è possibile imparare a usare efficacemente strumenti e risorse tecnologiche oggi disponibili. La progettazione di ambienti didattici innovativi parte da esigenze pedagogiche e didattiche della scuola e dalla loro relazione con gli spazi. Deve permettere agilmente l'allestimento di setting didattici diversificati e funzionali ad attività differenziate (lavorare per gruppi e in modo individuale, presentare elaborati, realizzare prodotti multimediali, svolgere prove individuali o di gruppo, discutere attorno a uno stesso tema, svolgere attività di tutoraggio tra studenti, ecc.). Deve anche permettere lo svolgimento di attività laboratoriali specialistiche, sia per ambito disciplinare che per tipologia di strumentazione necessaria (ad esempio dotazioni tecnologiche o periferiche specifiche). La nuova scuola è attenta alla sostenibilità ambientale, energetica ed economica, alla rapidità di costruzione, alla riciclabilità dei componenti e dei materiali di base, con alte prestazioni energetiche, utilizzo di fonti rinnovabili, facilità di manutenzione.

Possiamo quindi dire che il processo avviato verso una nuova concezione non solo della didattica, ma anche delle reti comunicative e sociali, stia finalmente assumendo un'identità ben definita, anche se c'è ancora molto lavoro da fare, in quanto il modello "aule-scuola" risulta tutt'oggi quello prevalente, e siamo ancora ben lontani da un'idea di scuola come civic center.

### 3.3.2 Le iniziative

#### 3.3.2.1 "La Buona Scuola"

Con il termine "Buona Scuola" si fa riferimento alla legge 107 proposta dal Governo Renzi nel 2015. L'obiettivo di questo provvedimento legislativo è riaffermare il ruolo centrale della scuola, migliorare le competenze di studentesse e studenti, contrastare le disuguaglianze socioculturali e prevenire l'abbandono scolastico. La nuova normativa si propone di realizzare anche una scuola aperta, pensata come laboratorio permanente di ricerca, di sperimentazione e innovazione didattica, che garantisca il diritto allo studio e alle pari opportunità. Nelle intenzioni legislative doveva determinare una vera e propria rivoluzione scolastica, introducendo un nuovo modo di vedere l'istruzione. Dal punto di vista amministrativo La Buona Scuola stabilisce una maggiore autonomia scolastica, in modo che le scuole possano gestirsi in maniera autonoma, con gli strumenti finanziari e operativi necessari, sotto la guida del Dirigente Scolastico. Le responsabilità e la libertà della figura del capo d'istituto aumentano notevolmente grazie alla normativa. I Presidi possono scegliere i neoassunti attingendo dagli albi territoriali, formare la propria squadra di collaboratori, valutare l'anno di prova dei neoassunti e premiare i docenti migliori. Come garanzia del suo operato, il "superpreside" viene però valutato ogni tre anni e in base all'esito verrà stabilito il suo compenso. Sono stati introdotti anche dei vantaggi per gli insegnanti e per le famiglie; la normativa prevede un aumento di circa 7 docenti in più per ogni scuola, con un piano di 100 mila



assunzioni pensato per porre fine al precariato scolastico e poter soddisfare le esigenze della scuola del futuro. In realtà, quest'anno il Ministro dell'Istruzione del nuovo governo ha annunciato assunzioni per più di 65 mila nuovi docenti. Un altro vantaggio per gli insegnanti è rappresentato dalla Carta del Docente, un bonus di 500 euro annuali a disposizione degli insegnanti da destinare alle spese relative all'aggiornamento professionale e alla formazione. Il decreto ha introdotto anche agevolazioni fiscali come lo school bonus e le detrazioni per i genitori che optano per le scuole paritarie. Questi incentivi sono nati per evitare che la disegualianza tra scuole ricche e povere potesse aumentare, ma ha portato a un acceso dibattito in Parlamento.

I maggiori cambiamenti sono quelli che riguardano la didattica: la riforma ha introdotto il PTOF (Piano triennale dell'offerta formativa) che va a sostituire il POF come documento di progettazione curricolare, extracurricolare, educativo e organizzativo delle singole scuole. Prevede una maggiore flessibilità negli insegnamenti, per cui negli ultimi tre anni di superiori possono essere attivati percorsi specifici autonomi curricolari. In questo modo gli studenti avranno la possibilità di personalizzare il proprio percorso scolastico, in base alle singole preferenze, anche in vista di una carriera post-scolastica.

Sempre per agevolare il passaggio tra l'ambiente scolastico e il lavoro, questa legge introduce la molto dibattuta alternanza tra scuola e lavoro. Si tratta di uno dei cambiamenti più discussi, introdotto dal Governo Renzi con l'introduzione di 400 ore di tirocinio negli istituti tecnici e professionali, ma solo 200 ore nei licei, effettuabili essere anche nel periodo di sospensione della didattica per le vacanze estive, di Natale e di Pasqua. La legge prevede lo stanziamento di 30.000.000 euro per le scuole, finalizzate all'incoraggiamento di nuove discipline e al potenziamento delle competenze digitali, sempre più attuali e richieste.

### 3.3.2.2 Il bando "Scuole innovative"

Grazie ad uno stanziamento di 350 mila euro previsto dalla legge della Buona Scuola, nel 2016 il MIUR (Ministero dell'Istruzione dell'Università e della Ricerca) ha indetto un concorso di idee internazionale per la progettazione di 51 scuole innovative aperto a tutti i professionisti del settore.

L'obiettivo è quello di acquisire idee progettuali per la realizzazione di scuole innovative da un punto di vista architettonico, impiantistico, tecnologico, dell'efficienza energetica e della sicurezza strutturale e antisismica, caratterizzate dalla presenza di nuovi ambienti di apprendimento e dall'apertura al territorio. Il concorso di idee si svolge in un'unica fase consistente nell'esame e nella valutazione, da parte di apposita Commissione giudicatrice di esperti, delle proposte ideative presentate dai concorrenti e finalizzata alla individuazione delle migliori idee per singole aree territoriali regionali.

All'interno della pagina web dedicata al bando è possibile trovare anche numerosi esempi di edilizia scolastica innovativa italiana ed europea da cui prendere spunto per partecipare al concorso. Vediamo di seguito alcuni esempi di spazi innovativi progettati su misura in queste nuove concezioni di apprendimento. (fig. 19,20,21,22)

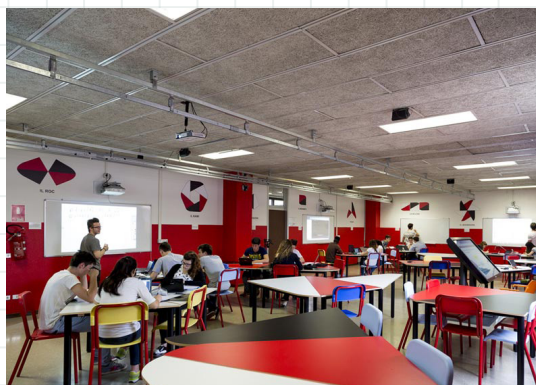


fig.19 vista interna scuola media Enrico fermi, Mantova



fig.20 vista interna istituto comprensivo IC9-Bologna



fig.21 vista interna istituto comprensivo statale di Cadeo e Pontenure



fig.22 vista interna scuola Pablo Picasso, Amsterdam

Un'altra iniziativa molto utile messa in atto dal bando Scuole Innovative è la segnalazione di convegni e seminari dove discutere le caratteristiche della scuola del futuro, e di spazi espositivi dove le scuole mostrano le potenzialità dei nuovi ambienti. Non solo visioni e scuole d'eccellenza: una ampia area espositiva in cui è stato allestito un ambiente di apprendimento diversificato per tipologia di attività didattica. Docenti e studenti delle scuole invitate dimostrano dal vivo come è possibile utilizzare questi spazi per fare lezione: esercitazioni, attività per progetti, svolgimento di esperimenti, soluzione di problemi in situazioni reali sono solo alcune delle attività svolte nelle diverse aree predisposte.

### 3.3.2.3 "Futura – La scuola per l'Italia di domani"

Nei paragrafi precedenti abbiamo definito l'importanza del bando nel panorama del recupero del patrimonio edilizio scolastico e nell'ambito energetico delle nuove costruzioni. Vediamo ora come Futura è scesa in campo nella trasformazione della didattica. L'obiettivo è realizzare un nuovo sistema educativo per garantire il diritto allo studio, le competenze digitali e le capacità necessarie a cogliere le sfide del futuro, superando ogni tipo di disparità e contrastando dispersione scolastica, povertà educativa e divari territoriali.

La riforma intende intervenire su alcuni aspetti del panorama scolastico seguendo una timeline a breve termine per alcuni interventi, mentre una più lunga dedicata ad altre tipologie di obiettivi. Entro il 2022, ad esempio, la riforma intende ridurre il numero di studenti per classe, con conseguente riduzione del personale scolastico, che offre l'occasione per ripensare l'organizzazione del sistema scolastico. Il risultato sarà una diminuzione del numero medio di alunni per classe, a vantaggio della qualità dell'insegnamento.

Sono stati stanziati degli investimenti davvero importanti per le competenze che riguardano il digitale, le pari opportunità e la riduzione di divari territoriali, l'istruzione tecnica e professionale, lo sviluppo delle competenze multilinguistiche e tecnico-scientifiche.

Uno degli obiettivi impostati sulla lunga distanza prevede un budget di 34 milioni di euro, che garantirà un continuo sviluppo professionale e di carriera del personale scolastico attraverso l'istituzione di una Scuola di Alta formazione e formazione continua per dirigenti scolastici, insegnanti e personale ATA. Saranno coinvolti Indire, Invalsi e Università italiane e straniere, al fine di garantire un sistema di formazione continua di qualità, in linea con gli standard europei. L'obiettivo è fornire una formazione pedagogica e didattica che, insieme a una conoscenza approfondita della materia, consenta di affrontare efficacemente la sfida della trasmissione di competenze metodologiche, digitali e culturali nell'ambito di una didattica di alta qualità.

Oltre alla formazione per il personale, ingenti investimenti sono stati stanziati anche per gli studenti. Grazie ad un budget di 560 milioni si punta a determinare un incremento dell'offerta formativa e a rafforzare il contrasto alla dispersione scolastica, grazie all'attivazione del tempo pieno. L'allungamento

dell'orario scolastico, con il ripensamento dell'offerta formativa durante l'intera giornata e l'introduzione di attività volte a rafforzare le competenze trasversali di studentesse e studenti, migliora l'insieme del servizio scolastico e favorisce il contrasto all'abbandono. L'apertura delle scuole al pomeriggio permette di rafforzare la funzione della scuola rispetto ai territori, promuovendo equità, inclusione, coesione sociale, creatività e innovazione. Il piano è sinergico rispetto al potenziamento delle infrastrutture, in particolare delle mense, in modo da poter davvero garantire un efficace ampliamento del tempo scuola. C'è sicuramente ancora molto lavoro da fare per portare l'istruzione italiana all'altezza dei migliori modelli europei, tuttavia riteniamo che Futura, il progetto avviato grazie al PNRR, sia uno strumento sì ambizioso, ma anche prezioso e ben sviluppato in quanto i suoi contenuti affrontano tutte quelle che riteniamo essere le principali criticità del sistema scolastico italiano di questo secolo impostando obiettivi molto in linea con le caratteristiche di una scuola innovativa tipo.

## Il quadro normativo 3.4

### 3.4.1 Requisiti minimi edilizia scolastica

In questo capitolo sono illustrati i parametri degli indici scolastici che verranno poi verificati in fase di progettazione. Per questa fase si fa riferimento a due normative, una più datata, DM 18/12/1975 "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", di tipo prescrittivo e una più recente, DM13/04/2013 "Norme tecniche-quadro, contenenti gli indici minimi e massimi di funzionalità urbanistica, edilizia, anche con riferimento alle tecnologie in materia di efficienza e risparmio energetico e produzione da fonti energetiche rinnovabili, e didattica indispensabili a garantire indirizzi progettuali di riferimento adeguati e omogenei sul territorio nazionale", che consiste in una norma prestazionale.

#### 3.4.1.1 DM 18/12/1975: Norme tecniche per la progettazione delle scuole

Vediamo brevemente quali sono i parametri presi in considerazione dalla normativa meno recente, ossia quella prescrittiva:

- **localizzazione** : la norma esprime la necessità di uno studio morfologico preliminare dell'ambiente (preesistenze urbane, storiche, naturali, risanamento e completamento di centri urbani, nuove progettazioni urbane, ecc.), che valuti le conseguenze determinate dalla scuola nel contesto in cui viene inserita, specificando in quale modo quest'ultima favorisca lo scambio di relazioni sociali. Si considerano, inoltre, alcuni parametri quali: tipo di scuola, età e numero degli alunni destinati a frequentarla, tempo massimo e modo di percorrenza, condizioni ambientali.
- **dimensioni della scuola** : si prescrive la dimensione minima e massima dell'edificio scolastico per ogni tipo di scuola.
- **caratteristiche dell'area** : vengono definite le caratteristiche e l'ampiezza minima dell'area necessaria alla costruzione di un edificio scolastico per tipi di scuole e per numero di classi. Definisce inoltre la proporzione tra la parte costruita e parte adibita a verde, nonché il rapporto tra l'area dei parcheggi e il volume dell'edificio.
- **caratteristiche dell'edificio e dei suoi spazi** : la normativa descrive nel dettaglio le caratteristiche che devono avere gli spazi che la scuola dovrà avere per svolgimento di programmi didattici, attività parascolastiche e programmi di insegnamento dell'educazione fisica e sportiva.



- **purezza dell'aria** : La norma prescrive che dovrà essere assicurata l'introduzione delle portate d'aria esterna, mediante opportuni sistemi, e definisce anche i coefficienti di ricambio dei vari spazi in base alla destinazione d'uso.
- **condizioni di agibilità** : la norma fissa, inoltre, i valori da rispettare per le condizioni acustiche, di illuminazione, termoigrometriche e di sicurezza. Si precisa che queste tematiche non verranno trattate in questo capitolo in quanto saranno affrontate nei paragrafi successivi, coerentemente con il contenuto dell'argomento specifico trattato.

### 3.4.1.2 DM 11/04/2013: Linee guida per la progettazione degli edifici scolastici

La normativa più recente differisce da quella appena descritta in quanto presenta un approccio prestazionale. Il testo è in linea con le nuove forme di didattica e descrive le caratteristiche a cui mirare nella progettazione degli spazi per massimizzare la riuscita dell'approccio pedagogico. Lo scopo, quindi, è quello di ottimizzare la vivibilità degli spazi e favorire l'apprendimento a 360° degli alunni. Tra gli ambienti descritti, non figurano solo ingressi, spazi di servizio, palestra e auditorium, ma anche gli spazi innovativi caratterizzanti la nuova didattica, tra cui agorà, home base e spazi di apprendimento informale.

## 3.4.2 La normativa antincendio

In questo paragrafo verranno illustrati i requisiti delle prestazioni antincendio degli edifici scolastici secondo il DM 26/08/1992, che verranno successivamente verificati in fase progettuale. Per completezza, sono state analizzate anche le regole tecniche verticali illustrate dal DM24/08/2017, ma i cui criteri non saranno oggetto di verifica. Infine, si annota che sono state analizzate anche le indicazioni per l'adeguamento antincendio degli edifici scolastici esistenti prescritte dal DM 21/03/2018, ma non trattandosi di un progetto esecutivo, non si definirà l'ordine degli interventi da effettuare, in quanto verranno verificati esclusivamente i parametri sulla conformazione geometrica e sulle dotazioni dell'edificio scolastico.

### 3.4.2.1 DM 18/12/1975: Norme tecniche per la progettazione delle scuole

Di seguito si descrivono i criteri di valutazione previsti dalla normativa:

- **tipologia scuola** : le scuole vengono suddivise in relazione alle presenze effettive contemporanee in esse prevedibili di alunni e di personale docente e non docente.
- **accesso all'area** : per consentire l'intervento dei mezzi di soccorso dei Vigili del fuoco gli accessi all'area ove sorgono gli edifici oggetto delle presenti norme devono rispettare determinati requisiti minimi.
- **comportamento al fuoco** : la norma richiede sia le caratteristiche di resistenza al fuoco delle strutture, sia la reazione al fuoco dei materiali, in rapporto all'altezza dell'edificio.
- **compartmentazione** : gli edifici devono essere suddivisi in compartimenti anche costituiti da più piani, di superficie massima definita in base all'altezza dell'edificio.
- **scale** : la norma prevede disposizioni sulle dimensioni minime dei vani scala e dei vani ascensori.
- **massimo affollamento** : la norma fissa i valori massimi di affollamento differenziandoli in funzione della destinazione d'uso dell'ambiente.
- **capacità di deflusso** : viene espressa la capacità di deflusso calcolata per ogni piano.
- **vie d'uscita** : la norma prescrive i requisiti minimi, sia in termini di numero che in termini di dimensione e di presenza di vie d'uscita quali scale di sicurezza.
- **impianto di protezione ed estinzione degli incendi** : la norma impone i requisiti per l'impianto di protezione ed estinzione degli incendi, descrivendo la minima attrezzatura necessaria quali idranti, estintori, attacco per autopompa e fornendo delle prescrizioni in merito al dimensionamento dell'impianto idrico relativo. Richiede che sia predisposto un piano di evacuazione, nonché la previsione di un'illuminazione

zione di emergenza e della segnaletica di emergenza.

### 3.4.3 Accessibilità

Per quanto riguarda l'accessibilità, il testo normativo di riferimento è il Decreto del Presidente della Repubblica 24 luglio 1996, n. 503, recante norme per l'eliminazione delle barriere architettoniche negli edifici, spazi e servizi pubblici. Questa norma riporta gran parte dei valori della normativa precedente, ovvero il DM del Ministero dei Lavori Pubblici del 14 giugno 1989, n. 236 "Prescrizioni tecniche necessarie a garantire l'accessibilità, l'adattabilità e la visitabilità degli edifici privati e di edilizia residenziale pubblica sovvenzionata e agevolata, ai fini del superamento e dell'eliminazione delle barriere architettoniche."



# 4

## Scopo della tesi e metodo di analisi

4.1 La nostra proposta

4.2 Il metodo: la fase di confronto



## 4.1.1 Individuazione del parco edilizio

La ricerca sull'evoluzione della didattica e lo studio dei dati e delle statistiche, ci hanno portato a comprendere l'importanza della tutela del patrimonio edilizio scolastico italiano, non solo per la sua valenza storica e per lo sviluppo e la crescita socio-pedagogica della singola persona e della società, ma anche per un progresso volto al risparmio energetico, all'insegna di politiche ecosostenibili e sempre più consapevoli.

In considerazione dell'ingente numero di scuole esistenti a nostra disposizione su cui poter operare, al fine di rendere il nostro studio più preciso e approfondito, abbiamo ritenuto opportuno effettuare una scrematura attraverso la selezione di un campione di edifici. La scelta è stata operata secondo due criteri, ovvero anno di costruzione e tipologia costruttiva

Alcune scuole italiane risalgono a tempi molto lontani (in alcuni casi si tratta di monasteri o di caserme oggi destinati a uso scolastico), ma la maggioranza degli edifici è stata costruita dal 1958 al 1983, durante gli anni del boom economico post bellico e il conseguente rapido aumento della scolarità: in quella fase, vera e propria epoca d'oro dell'edilizia scolastica, sono stati costruiti oltre 800 edifici all'anno. Data la cospicua presenza di edifici costruiti in questo ventennio, la nostra scelta è ricaduta su tutti i complessi scolastici costruiti tra gli anni Sessanta e gli anni Ottanta (fig.1).

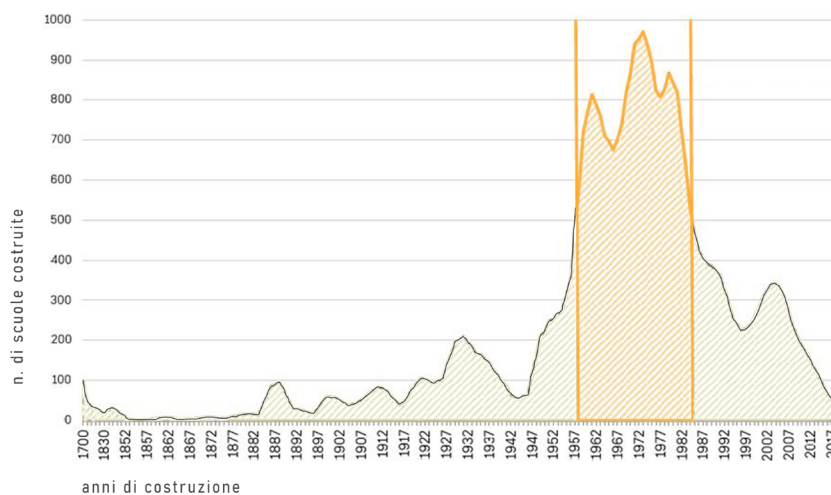


fig.1 individuazione periodo storico in cui reperire il parco edilizio su cui verterà l'indagine

Come già detto nel capitolo 2, il periodo da noi selezionato è caratterizzato da un utilizzo molto diffuso della tecnologia prefabbricata in cemento armato, all'interno della quale possiamo trovare svariate tipologie costruttive. Abbiamo quindi applicato anche il secondo criterio di scelta, ponendo il focus della nostra ricerca sul sistema a telaio e pannelli prefabbricati in cls. (fig.2).

Una ulteriore selezione del campo edilizio riguarderà la tipologia di pannelli prefabbricati in calcestruzzo sui quali le soluzioni proposte nella presente tesi potranno essere applicate. Per questa considerazione si rimanda al capitolo 14, dove verrà illustrato come questa scelta risponda a specifiche esigenze progettuali.



fig.2 edificio prefabbricato in cls con struttura a telaio prefabbricata e pannelli di tamponamento

## 4.1.2 Criticità assimilabili

Nonostante il sistema a telaio possieda buone caratteristiche sul piano della praticità, con ingenti contributi sul piano del risparmio economico e dei tempi cantieristici, occorre soffermarci su alcune criticità che questa tipologia costruttiva possiede, e più in generale, che abbiamo riscontrato nelle strutture scolastiche a telaio appartenenti al ventennio scelto.

Nei paragrafi seguenti si ritiene utile operare alcune valutazioni sulle problematiche più comuni e importanti che abbiamo ritenuto di dover approfondire al fine di adottare una progettazione più consapevole e vantaggiosa.

### 4.1.2.1 Il problema strutturale

Gli eventi sismici avvenuti in Italia, in particolare quello dell'Aquila nell'aprile 2009 e dell'Emilia-Romagna nel maggio 2012, hanno causato il crollo di numerosi capannoni industriali, portando l'attenzione sulla questione della sicurezza sismica delle strutture costituite con elementi prefabbricati in c.a. e c.a.p. Tra i motivi di questi collassi possono essere individuate in particolare quattro cause ricorrenti:

- la mancanza di collegamenti tra elementi strutturali, ovvero tra tegoli e travi e tra travi e pilastri;
- la carenza strutturale dei pilastri, in termini di resistenza e di duttilità;
- la presenza di elementi di tamponatura prefabbricati non adeguatamente vincolati alla struttura;
- la presenza di scaffalature non controventate, portanti materiali pesanti, che possono collassare coinvolgendo la struttura, causandone il danneggiamento o addirittura il crollo.

Queste carenze danno luogo a delle labilità intrinseche della struttura, in quanto spesso non sono previsti specifici sistemi di ritegno: la stabilità dei collegamenti è infatti affidata esclusivamente all'attrito, che oltre volte non risulta sufficiente per la stabilità dell'intero edificio. I meccanismi di collasso che si generano a seguito di queste carenze sono:

- perdita d'appoggio dei tegoli in calcestruzzo armato;
- perdita di equilibrio/ribaltamento delle membrature.

La progettazione di queste strutture è spesso avvenuta considerando quasi esclusivamente carichi verticali, in quanto prima dell'uscita del OPCM 3274/2003 molte zone d'Italia erano classificate come non sismiche. Gli unici carichi orizzontali di cui si teneva conto in fase di progettazione erano l'azione del vento, il 2% dei carichi verticali e le eventuali azioni orizzontali (frenatura e serpeggiamento) in-

dotte dai carriponte sulle vie di corsa. Il trasferimento di queste azioni orizzontali era spesso affidato esclusivamente all'attrito tra le varie parti, in quanto i collegamenti non erano esplicitamente richiesti dalle leggi.

A partire dagli anni Ottanta vi è stato un aggiornamento delle normative, con periodiche revisioni delle stesse, che ha portato ad un graduale incremento dell'azione da considerare nella progettazione, oltre ad una progressiva estensione delle zone di rischio e ad un aumento di pericolosità delle stesse. (fig.3).

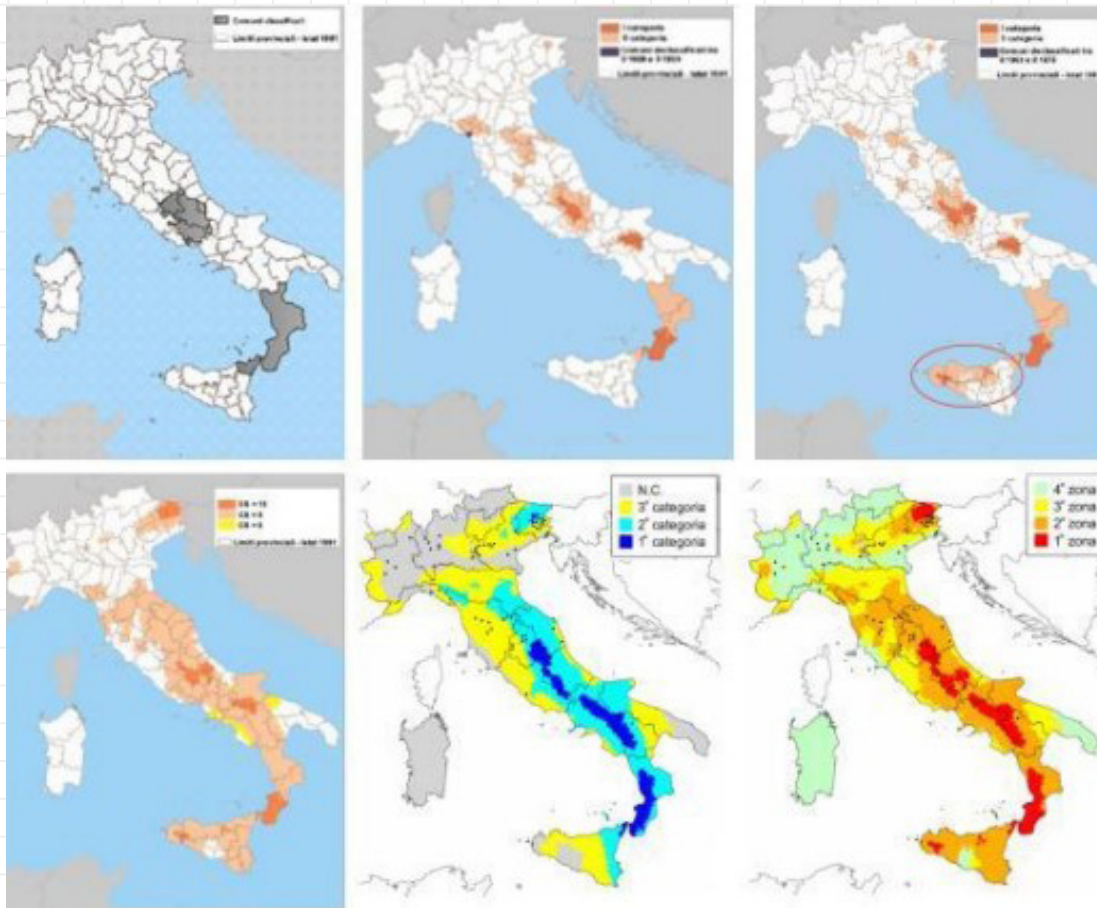


fig.3 evoluzione delle mappe di pericolosità sismica: 1909, 1930, 1962, 1980, 1998 e 2003

Questa continua evoluzione ha fatto sì che edifici progettati secondo le normative dell'epoca, in seguito diventate obsolete, risultassero inadeguati alle sollecitazioni

Come evidenziato nelle mappe di pericolosità esposte nel paragrafo precedente, fino al 1980 moltissime zone non erano considerate a rischio sismico, non vi era quindi il bisogno di specifici calcoli per la valutazione delle forze orizzontali derivanti dal terremoto. Le strutture prefabbricate venivano quindi progettate tenendo conto solamente delle forze orizzontali relative alla spinta del vento e delle forze orizzontali convenzionali. Viene inoltre posta particolare attenzione sul tipo di schema statico che si realizza al termine del montaggio di tutti gli elementi della struttura, ricordando che le strutture ottenute dall'assemblaggio di elementi prefabbricati monodimensionali, presentano una discontinuità di resistenza e deformabilità nelle connessioni tra i vari elementi, che diventano suscettibili a slittamenti nei punti nodali. (fig.4)

Per contrastare questo problema, ad oggi, interviene la nuova normativa sismica N.T.C. 2018.

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali vengono valutati i diversi stati limite, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. (fig.5) Essa costituisce l'elemento di



conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. L'azione sismica è composta da tre componenti traslazionali tra loro indipendenti: due orizzontali (X e Y) e una verticale (Z). Le componenti del sisma vengono definite mediante l'accelerazione massima e il relativo spettro di risposta.



fig.4 nodo tra pilastro e travi prefabbricate, con elementi di solaio di copertura in appoggio

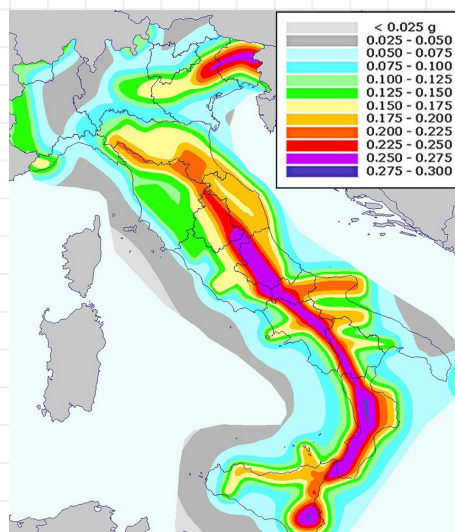


fig.5 rappresentazione grafica della pericolosità sismica di base sul territorio italiano

#### 4.1.2.2 Il problema energetico e tecnologico

Il problema strutturale non è l'unica emergenza a cui fare fronte in questo scenario di interventi da attuare.

Gli edifici scolastici italiani risalenti al trentennio 1950-1980, sono stati realizzati privi di alcuna norma sul risparmio; quelli costruiti nel periodo che va dagli anni Ottanta ai giorni nostri sono stati realizzati secondo i criteri definiti dalla legge n.373/1976, che risultano attualmente del tutto insoddisfacenti.

Con l'emanazione della legge n. 10/1991, le scuole, come tutti gli edifici pubblici nuovi o in ristrutturazioni edilizie, avrebbero dovuto integrare il risparmio energetico e le fonti rinnovabili negli edifici dichiarati interventi di pubblica utilità e di pubblico interesse, ma la mancata applicazione della norma in tutto il territorio nazionale ha portato ad un parco edilizio scolastico con un basso standard qualitativo rispetto alla media europea.

La caratteristica energetica fondamentale di un edificio scolastico è l'utilizzo spesso parziale della struttura, in termini di orario e spesso di volumi. Gli edifici scolastici hanno quasi sempre una morfologia poco compatta e di conseguenza gli impianti di riscaldamento spesso non sono ben dimensionati, senza trascurare anche la presenza di grosse lacune nell'isolamento termico delle murature e nelle pareti vetrate, si pensi ad esempio alle dispersioni generate dai sistemi a nastro. Se si tiene presente che i tamponamenti e i divisori definiscono l'organismo sui suoi aspetti di fruibilità più generale e definitiva, si comprende la delicatezza e la complessità di un'indagine su questo argomento.

Un primo sforzo è stato quello di istituire una classificazione degli elementi secondo categorie morfologiche, funzionali, tecnologiche, strutturali e dimensionali che permettessero di individuarne costanti e variabili caratteristiche. Gli aspetti qualitativi degli elementi ne risultano distinti in due grandi classi che si riferiscono l'una alle caratteristiche intrinseche (comportamento termico, proprietà acustiche, resistenze all'urto e alla penetrazione, etc.) e l'altra al rapporto dell'elemento con gli altri elementi funzionali della costruzione (struttura, infisso, impianti, etc.).

Nelle strutture costruite con sistemi di prefabbricazione, l'eccessiva confidenza riposta nell'uso del calcestruzzo a sfavore di un utilizzo limitato, se non addirittura inesistente, di materiale isolante, ha

generato evidenti problemi di isolamento termico, mentre cattive impermeabilizzazioni hanno portato ad infiltrazioni d'acqua dalle coperture piane.

Il caso degli impianti rappresenta fortemente interdipendente dalla morfologia del fabbricato; infatti si è constatato come, quasi sempre, ad un buon livello globale di industrializzazione, raramente corrisponda un eguale livello di industrializzazione delle apparecchiature e degli impianti. Questo perché evidentemente la necessità di far ricorso a ditte specializzate non consentiva ai produttori dell'industrializzato globale di far coincidere i momenti ed i fini progettuali dell'intero edificio con quelli degli impianti tecnici. Le vie di soluzione per ovviare a tale inconveniente sono più di una, ma comunque tutte vertono sull'opportunità di far ricorso ad unità preparate fuori opera, entro cui accentrare più particolari tecnici, partendo dai piccoli box contenenti un gruppo di tubazioni o un gruppo di valvole o di comandi, fino ad arrivare alle grandi unità pluri-attrezzate comprendenti i servizi igienici, le relative tubazioni, etc.

Negli anni, la comparsa di unità generatrici ad aria calda, a forma compatta e di piccole dimensioni, unitamente alle unità coordinate di bruciatori, caldaie, pompe, ecc, e alle leggi sempre meno tolleranti in ambito di emissioni e sprechi, hanno consentito una graduale sostituzione dei sistemi più obsoleti, a vantaggio di impianti meno dispendiosi, ma che ad oggi, risultano comunque da sostituire con impianti ancora più moderni ed efficienti.

#### 4.1.2.3 Il problema architettonico

Nel capitolo precedente si è visto come il problema degli spazi sia tra le problematiche più ricorrenti all'interno del panorama dell'edilizia scolastica italiana e di quanto i conflitti bellici e la successiva improvvisa crescita demografica abbiano influito positivamente sui tempi delle lavorazioni, accelerando le tempistiche di produzione, tanto quanto abbiano generato una scarsa attenzione alla qualità e al comfort delle costruzioni. Le criticità più ricorrenti si riscontrano in configurazioni di piante architettoniche completamente mancanti di flessibilità, che rendono l'esperienza didattica monotona e priva di stimoli. Gli spazi didattici sono ridotti a mere aule dalla geometria fissa: gli studenti non hanno la possibilità di spostarsi in quanto ogni attività della giornata viene svolta all'interno dello stesso ambiente. Le aule si presentano, inoltre, poco capienti per il numero di alunni ospitato, agevolando un'atmosfera di confusione e caotica (fig. 6). Si rileva anche una scarsa attenzione al comfort luminoso: la posizione delle finestre all'interno delle aule, disponendole tutte lungo un unico lato dell'aula, non garantisce un'illuminazione omogenea, creando dei punti di abbagliamento eccessivo, e zone d'ombra che rendono le condizioni visive alquanto carenti.



fig.6 aula e spazio distributivo di una scuola romana. si nota la mancanza di flessibilità degli ambienti e la disuniformità dell'illuminazione

Gli arredi non sono esenti da inconvenienti, in quanto risultano vecchi, disposti secondo schemi rigidi che inducono a forme di didattica trasmissiva, e talvolta addirittura inutilizzabili. I corridoi sono un'altra nota dolente delle strutture scolastiche italiane perché risultano come spazi fini a sé stessi, necessari solo al passaggio dell'utenza, privando gli altri ambienti scolastici di spazio utile alle attività didattiche. Con l'aiuto delle istituzioni, le quali offrono strumenti indispensabili come i rapporti sull'edilizia scolastica, ed enti che promuovono politiche a sostegno per una didattica più innovativa, fornendo utili linee guida da seguire nella progettazione dei nuovi spazi, la didattica sta lentamente dirigendosi verso una realtà sempre più equilibrata e stimolante.

In questa atmosfera di proposte e innovazioni che partono dal rapporto alunno-docente, passando poi per il coinvolgimento delle istituzioni, la collaborazione di figure esterne alla scuola, quali famiglie e collettività, si rende indispensabile per chiudere il cerchio di questa macchina sempre più complessa e produttiva chiamata scuola.

### 4.1.3 Interventi reiterabili

Abbiamo visto quali sono, ad oggi, le criticità più comuni che presentano le scuole italiane e che interferiscono maggiormente con il programma di sviluppo di una didattica più innovativa.

Riteniamo che la scuola e l'educazione rappresentino un diritto di rilevante importanza per l'individuo e poiché contribuiscano anche a definirne la sua identità; inoltre, in considerazione del fatto che il sistema scuola ha attraversato le vite di ognuno di noi, e consapevoli del fatto che possiamo essere tutti partecipi in questo progetto grazie ad una didattica innovativa intesa anche come inclusiva nei confronti della comunità, ci sentiamo in dovere di offrire il nostro contributo, sperando che possa essere di aiuto in questo percorso di crescita sociale e culturale.

Ecco che i tratti della nostra mission divengono sempre più chiari: l'intento è quello di realizzare una soluzione che risulti adattabile al parco edilizio scelto, espresso nel paragrafo 4.1.1.

Nei capitoli seguenti si illustreranno le scelte e gli interventi che abbiamo ritenuto efficaci da adottare in merito ai diversi aspetti appena trattati, applicando sempre con perseveranza una strategia che sia reiterabile, con la consapevolezza che per ottenere un edificio sicuro ed energeticamente efficiente, siano necessari interventi sull'edificio nella sua interezza.

Per ottenere degli interventi riproponibili sui diversi edifici, le tipologie di opere sono state catalogate in quattro diverse categorie, a cui abbiamo attribuito delle linee guida che descriviamo di seguito:

- **interventi architettonici:** sono interventi che dovranno mantenere inalterata sia la geometria sia la struttura dell'edificio. Per quanto riguarda gli ambienti interni, sono previste delle modifiche sulle disposizioni degli spazi, e che siano applicate anche ad altri edifici presi in esame;
- **interventi tecnologici:** verrà proposta una soluzione di facciata che dovrà risultare riproducibile e riutilizzabile anche su altri edifici al di fuori del caso studio. Gli interventi sulle stratigrafie verranno realizzati con sistemi quanto più possibile prefabbricati, in modo da abbattere al massimo le tempistiche di cantiere;
- **interventi strutturali:** i suddetti interventi verranno ipotizzati in modo che siano sempre in grado di risolvere le criticità comuni riscontrate nelle strutture interessate. Si sottolinea che, per ogni edificio, si rende comunque necessario ripetere di volta in volta le verifiche per distinguere gli interventi necessari da quelli superflui. In linea generale, gli interventi proposti risponderanno ai cinematismi che si riscontrano abitualmente negli edifici del parco edilizio considerato;
- **interventi impiantistici:** in questa tipologia di intervento si rende necessario provvedere al miglioramento dell'impianto utilizzando delle strategie sottili e camaleontiche che non alterino le altezze interne degli ambienti. Anche in questo caso si parla di interventi riproponibili in quanto il problema

delle altezze interne è molto frequente. L'obiettivo ultimo consiste nel raggiungimento del livello di automazione previsto dalla legge per questa categoria di edifici.

La natura degli interventi verrà trattata in maniera più esaustiva nei capitoli a seguire, ricordando che tutti gli interventi proposti saranno scelti in modo da soddisfare le linee guida appena proposte.

## Il metodo: la fase di confronto 4.2

Dopo avere individuato il parco edilizio di riferimento è stato selezionato un campione di edifici scolastici appartenenti al ventennio selezionato per studiarne le caratteristiche in maniera più approfondita e creare così un sistema di catalogazione che sintetizzasse alcune delle informazioni da noi raccolte e ritenute più utili da consultare in vista degli interventi da attuare previsti.

### 4.2.1 Gli strumenti di ricerca

La conoscenza delle informazioni concernenti il patrimonio immobiliare scolastico riveste un ruolo di importanza fondamentale, sia per le attività di programmazione degli interventi, sia per garantire un ottimale utilizzo degli edifici disponibili. È necessario, pertanto, che i dati tecnici e amministrativi relativi al patrimonio edilizio esistente siano costantemente aggiornati e tali da costituire un quadro conoscitivo condiviso dai soggetti coinvolti sul tema dell'edilizia scolastica, fra tutti, in particolare, gli Enti locali ai quali compete la gestione degli edifici. Il portale unico dei dati della scuola, istituito con la Legge n. 107 del 2015, è lo strumento che il Ministero dell'istruzione dell'università e della ricerca (MIUR) mette a disposizione dei cittadini per dare concreta attuazione al principio della trasparenza, garantendo il libero accesso alle informazioni e ai dati della scuola compresi quelli relativi all'edilizia scolastica. Una volta definito il parco edilizio, abbiamo quindi approfondito lo stato di alcuni edifici scolastici ad esso appartenenti servendoci di questo strumento di ricerca. Nel 2019 il sistema è stato aggiornato, e attualmente prevede due componenti: una centrale (SNAES) (fig. 7), che garantisce al MIUR le conoscenze necessarie per lo svolgimento delle funzioni di indirizzo, pianificazione e controllo. E un'altra, distribuita in "nodi regionali" (ARES), che assicura la programmazione, a livello regionale, del patrimo-

The screenshot shows the SNAES portal interface. At the top, a teal banner displays the building name: "Edificio 0400070424 - Piazza ALDO MORO 25, 47521, CESENA (FC) - Stato Attivo". Below this, there are three tabs: "DATI SNAES", "SCUOLE OSPITATE", and "FINANZIAMENTI". The "DATI SNAES" tab is active, showing a sidebar with various menu items: "DATI SNAES", "DATI ANAGRAFICI EDIFICIO SCOLASTICO" (highlighted), "AMBIENTE ED AREA SCOLASTICA", "MACRO AMBITI FUNZIONALI PRESENTI", "VINCOLI", "CATASTO", "COLLEGAMENTI - L'EDIFICIO PUÒ ESSERE RAGGIUNTO CON:", and "CONSISTENZA AREA". The main content area is titled "DATI ANAGRAFICI EDIFICIO SCOLASTICO" and contains a table with the following data:

Codice Comune	CESENA
Codice Provincia	FORLI'-CESENA
Sigla Provincia	FC
Località	
Indirizzo	Piazza ALDO MORO 25
CAP	47521
Latitudine	
Longitudine	
Codice Edificio	0400070424

fig.7 schermata SNAES - dati anagrafici edificio scolastico

nio edilizio e la gestione del medesimo su base provinciale, comunale e di singola unità scolastica. Nel Sisema Nazionale Anagrafe Edilizia Scolastica (SNAES) si possono consultare i dati sulla consistenza e sulla funzionalità del patrimonio di edilizia scolastica, che comprende 40.160 edifici attivi, 3.042 edifici inattivi, 34 edifici inattivi per calamità. I titolari dei dati dell'edilizia scolastica sono gli Enti Locali, proprietari o gestori degli edifici pubblici adibiti ad uso scolastico. Il MIUR fruisce dei dati per acquisire le conoscenze necessarie all'adempimento della sua missione istituzionale di indirizzo, pianificazione e controllo e pubblica gli stessi a garanzia della loro trasparenza. La rappresentazione dei dati si riferisce agli edifici che ospitano Scuole Statali, c.d. Edifici Attivi.

Per trovare facilmente le informazioni desiderate, si possono utilizzare tre differenti modalità di ricerca (fig.8), ovvero ricerca per indirizzo, per posizione geografica (regione, provincia e comune) o ricerca diretta (per codice edificio o codice meccanografico della scuola ospitata). Individuato l'edificio con una delle modalità di ricerca, compare la scheda dell'edificio con i dati anagrafici: Comune, Provincia, Indirizzo, CAP e il Codice Edificio, che permette una ricerca diretta.

Le informazioni che si possono ottenere dal database sono: vincoli, origine ed età dell'edificio, informazioni sulle strutture verticali e orizzontali, informazioni sullo stato di conservazione (inclusi eventuali interventi necessari di manutenzione, sostituzione o rifacimento), presenza di isolanti termici o acustici, accorgimenti specifici per il superamento delle barriere architettoniche e infine anche i fondi previsti per eventuali interventi di manutenzione (fig.9).

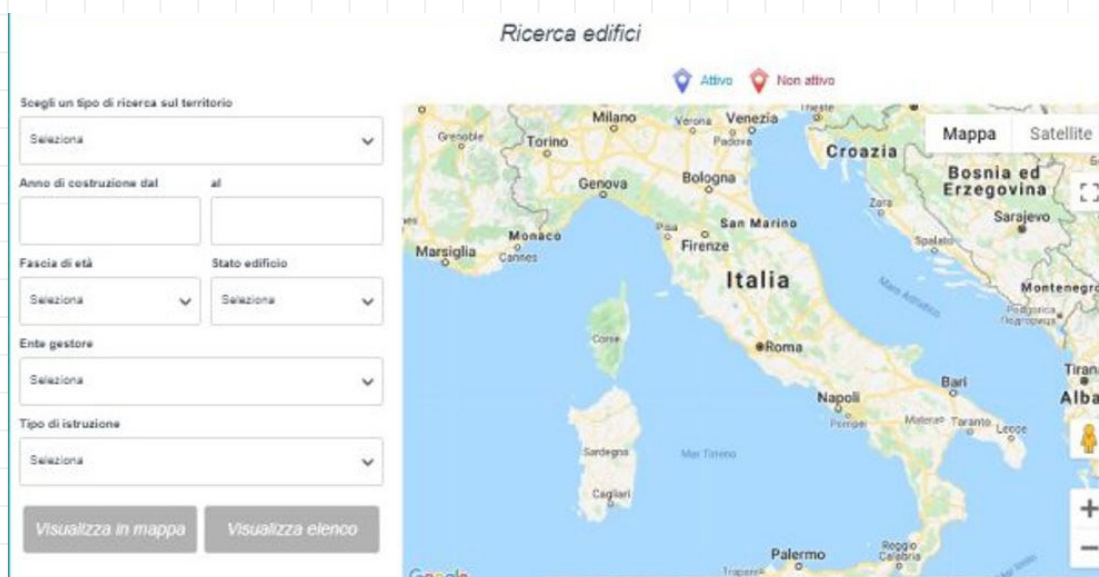


fig.8 schermata SNAES - ricerca edifici scolastici

#### VINCOLI

Edificio in area soggetta a vincolo idrogeologico	SI
Edificio sito in zona a vincolo paesaggistico	NO
Edificio di vetustà superiore a 50 anni	NO
Edificio situato in zona sismica	Rischio sismicità medio/alta (S=9)
E' stato progettato o successivamente adeguato con la normativa tecnica antisismica	NO

fig.9 schermata SNAES - vincoli edifici scolastici

## 4.2.2 Lo strumento di catalogazione

Dopo avere consultato la banca dati del MIUR abbiamo operato una selezione delle informazioni che abbiamo ritenuto più utili per la trattazione degli interventi reiterabili discussi al 4.1.3. Le informazioni sono poi state raggruppate all'interno di una scheda di catalogazione che riportasse tutte le informazioni inerenti a un singolo edificio. Il procedimento è stato ripetuto per un campione di nove edifici che saranno identificati come "casi studio". La scheda di catalogazione è strutturata in tre parti: la prima sezione è di tipo fotografico, nella seconda si introduce l'inquadramento, mentre nella terza ed ultima si trovano informazioni sull'analisi del costruito.

### 4.2.2.1 Sezione fotografica

Questa sezione ha lo scopo di illustrare le caratteristiche dell'edificio attraverso tre fotografie:

- la localizzazione dell'immobile attraverso una vista aerea dal satellite: da questa fotografia è possibile comprendere il contesto in cui si inserisce l'edificio, se sia prevalentemente verde o edificato, e come questo si rapporta con la morfologia del costruito circostante;
- **vista esterna** la restituzione fotografica risulta un mezzo utile per valutare l'impatto visivo che gli edifici hanno sull'osservatore, ma è anche un mezzo estremamente valido per fornire informazioni circa alcune caratteristiche dell'edificio quali colore, materiali ed una prima diagnosi sullo stato di conservazione dello stesso.
- **pianta del piano tipo** (il piano terra) in scala 1:600 dell'edificio scolastico analizzato: dalla pianta architettonica otteniamo una prima restituzione tecnica dell'edificio; si possono ricavare molte informazioni talvolta indispensabili per la ricostruzione della sua storia, del suo periodo di appartenenza, così come delle logiche costruttive su cui ruota la concezione dell'edificio e di chi lo vive.

Per le prime due immagini ci siamo serviti dello strumento di ricerca mappale supportato dai satelliti Google Maps, mentre le piante architettoniche sono state ottenute previa richiesta ai comuni delle scuole interessate.

NOME DELLA SCUOLA	
LOCALIZZAZIONE IMMOBILE	FOTO ESTERNA DELLA SCUOLA
PIANTA PIANO TIPO - SCALA 1:600	
PIANTA PIANO TIPO	
INQUADRAMENTO	
Localizzazione	Morfologia dell'aggregato
Indirizzo	N° edifici del complesso
Latitudine	Spazi di pertinenza all'aperto
Longitudine	Livello di rumorosità
Altitudine s.l.m.	Evoluzione del costruito
Zona climatica	Progettista
Vincolo paesistico ambientale	Anno di costruzione
	Interventi
	Vincolo architettonico
ANALISI DEL COSTRUITO	
Dati tecnici	Controlli normativi preliminari
Tipologia edilizia	Collaudo statico
Superficie lotto	Adeguamento antisismico
Superficie coperta	Presenza di un piano di evacuazione
Superficie dell'area libera	Presenza di due uscite antincendio per piano
Volume lordo	Presenza di almeno un corpo scale esterno o di un corpo scale antifumo
Volume lordo palestra	Presenza di barriere architettoniche
N° piani fuori terra	Prestazioni energetiche
N° piani interrati/seminterrati	Doppi vetri
N° alunni	Isolamento di copertura
	Isolamento pareti
	Tipologia impianto di riscaldamento:

fig.10 scheda catalogazione - sezione fotografica

### 4.2.2.2 Inquadramento

La seconda sezione riporta le informazioni sull'inquadramento dell'immobile ed è a sua volta strutturata in tre parti, una a carattere geografico, la seconda, contestuale, e infine una di carattere storico:

- **localizzazione**: si tratta di un'introduzione geografica del caso in esame, riportando quindi indirizzo, coordinate geografiche, espresse in latitudine e longitudine, altitudine, zona climatica, vincolo paesistico ambientale, ossia l'eventuale presenza del suddetto vincolo, segnalato nel database dell'Anagrafe degli Edifici Scolastici e verificato nel PGT

- **morfologia dell'aggregato**: definisce la scuola attraverso informazioni sul contesto in cui si inserisce. Si analizzano:

- il numero di edifici del complesso
- gli spazi di pertinenza all'aperto (rientrano nella categoria tutti gli spazi aperti quali terrazze, giardini, cortili e simili, di esclusiva pertinenza della scuola)
- il livello di rumorosità (indicato come alto, medio o basso).

Il metro di valutazione considerato è stato la vicinanza ad assi viari ad alta/media/bassa per correnza e/o a zone industriali/commerciali/residenziali.

- **evoluzione del costruito**: si trovano informazioni sulla storia e la cronologia di eventi che hanno interessato l'edificio quali il progettista, l'anno di costruzione, gli interventi realizzati sull'immobile, la presenza del vincolo architettonico, segnalato nel database dell'Anagrafe degli Edifici Scolastici e verificato nel PGT.

NOME DELLA SCUOLA	
LOCALIZZAZIONE IMMOBILE	FOTO ESTERNA DELLA SCUOLA
PIANTA PIANO TIPO - SCALA 1:800	
PIANTA PIANO TIPO	
INQUADRAMENTO	
<b>Localizzazione</b> Indirizzo Latitudine Longitudine Altitudine s.l.m. Zona climatica Vincolo paesistico ambientale	<b>Morfologia dell'aggregato</b> N° edifici del complesso Spazi di pertinenza all'aperto Livello di rumorosità  <b>Evoluzione del costruito</b> Progettista Anno di costruzione Interventi Vincolo architettonico
ANALISI DEL COSTRUITO	
<b>Dati tecnici</b> Tipologia edilizia Superficie lotto Superficie coperta Superficie dell'area libera Volume lordo Volume lordo palestra N° piani fuori terra N° piani interrati/seminterrati N° alunni	<b>Controlli normativi preliminari</b> Collaudo statico Adeguamento antisismico Presenza di un piano di evacuazione Presenza di due uscite antincendio per piano Presenza di almeno un corpo scale esterno o di un corpo scale antifulmine Presenza di barriere architettoniche  <b>Prestazioni energetiche</b> Doppi vetri Isolamento di copertura Isolamento pareti Tipologia impianto di riscaldamento:

fig.11 scheda catalogazione - inquadramento

### 4.2.2.3 Analisi del costruito

In questa terza ed ultima sezione si riportano le informazioni sulla tecnologia del fabbricato, sulla parte normativa e su quella prestazionale che lo caratterizzano attraverso una suddivisione in tre ambiti:

- **dati tecnici**: forniscono dati di carattere numerico dell'edificio

- **tipologia edilizia**: si è considerata l'appartenenza ad una tipologia edilizia scegliendo tra "a blocco lineare", "a blocco accorpato a C o a L", "a corte interna", "a blocco a gradoni!;

- superficie lotto: si determina da aerofotogrammetrici e catasti comunali
- superficie coperta: dedotta per differenza tra superficie dell'area libera e superficie del lotto;
- superficie dell'area libera: si determina da AES
- volume lordo: determinato escludendo il volume lordo seminterrato
- volume lordo palestra
- n° piani fuori terra
- n° piani interrati/seminterrato
- n° alunni: determinato dallo strumento di ricerca del MIUR "Scuola in chiaro"

- **controlli normativi preliminari:** viene verificata la presenza dei certificati di collaudo e adeguamento dell'edificio (Sì/No), nonché il rispetto delle normative sulla sua sicurezza e agibilità.

- collaudo statico
- adeguamento antisismico
- presenza di un piano di evacuazione
- presenza di almeno un corpo scale esterno o di un corpo scale antifumo
- presenza di barriere architettoniche

Per queste verifiche è stato consultato il sistema dell'AES, recante la presenza dei certificati aggiornati o meno, o le piante architettoniche per la verifica delle uscite di emergenza.

- **prestazioni energetiche:** si riporta la presenza di elementi che contribuiscono in maniera considerevole a determinare le prestazioni energetiche ed i consumi dell'edificio in questione:

- doppi vetri
- isolamento di copertura
- isolamento pareti
- tipologia impianto di riscaldamento

Anche queste voci sono state dedotte dallo strumento di ricerca dell'Anagrafe degli Edifici Scolastici. Per i primi tre parametri si considera risposta affermativa o negativa, mentre la tipologia di impianti viene specificata in funzione delle informazioni contenute nell'AES.

NOME DELLA SCUOLA	
<b>LOCALIZZAZIONE IMMOBILE</b>	<b>FOTO ESTERNA DELLA SCUOLA</b>
<b>PIANTA PIANO TIPO - SCALA 1:400</b>	
<b>PIANTA PIANO TIPO</b>	
INQUADRAMENTO	
<b>Localizzazione</b> Indirizzo <input type="text"/> Latitudine <input type="text"/> Longitudine <input type="text"/> Altitudine s.l.m. <input type="text"/> Zona climatica <input type="text"/> Vinceto paesistico ambientale <input type="text"/>	<b>Morfologia dell'aggregato</b> N° edifici del complesso <input type="text"/> Spazi di pertinenza all'aperto <input type="text"/> Livello di rumorosità <input type="text"/> <b>Evoluzione del costruito</b> Progettista <input type="text"/> Anno di costruzione <input type="text"/> Interventi <input type="text"/> Vincito architettonico <input type="text"/>
ANALISI DEL COSTRUITO	
<b>Dati tecnici</b> Tipologie edilizia <input type="text"/> Superficie lotto <input type="text"/> Superficie coperta <input type="text"/> Superficie dell'area libera <input type="text"/> Volume lordo <input type="text"/> Volume lordo palestra <input type="text"/> N° piani fuori terra <input type="text"/> N° piani interrati/seminterrato <input type="text"/> N° alunni <input type="text"/>	<b>Controlli normativi preliminari</b> Collaudo statico <input type="text"/> Adeguamento antisismico <input type="text"/> Presenza di un piano di evacuazione <input type="text"/> Presenza di due uscite antincendio per piano <input type="text"/> Presenza di almeno un corpo scale esterno o di un corpo scale antifumo <input type="text"/> Presenza di barriere architettoniche <input type="text"/> <b>Prestazioni energetiche</b> Doppio vetri <input type="text"/> Isolamento di copertura <input type="text"/> Isolamento pareti <input type="text"/> Tipologia impianto di riscaldamento: <input type="text"/>

fig.12 scheda catalogazione - analisi del costruito





# 5

## Esiti della ricerca e individuazione del caso studio

5.1 I casi "studio"

5.2 Quadro riassuntivo dei dati raccolti

5.3 Le conclusioni

5.4 Individuazione del caso studio



## I casi studio 5.1

Al fine di ottemperare l'obiettivo di reiterabilità degli interventi, come già accennato nel precedente capitolo, sono stati individuati all'interno del patrimonio edilizio italiano un campione di edifici che avessero caratteristiche simili in termini di geometria, tipologia costruttiva e strutturale. Le scuole analizzate in questa sede sono state edificate nel ventennio di interesse (190-1980), hanno una struttura prefabbricata a telaio e le chiusure verticali sono costituite da pannelli di tamponamento prefabbricati in calcestruzzo. La consultazione dell'Anagrafe Edifici Scolastici (AES) ci ha permesso di raccogliere le informazioni inerenti allo stato architettonico e tecnologico di tali edifici, nonché di verificare la presenza di delecertificazioni e attestati: tutto ciò ci ha permesso di avere un quadro complessivo esaustivo in modo da verificare quali fossero e criticità più ricorrenti, e quelle prioritarie. Di seguito verranno illustrati i casi studio scelti, ne verranno descritti gli spazi interni ed eventuali spazi esterni, specificando se siano già stati oggetto di interventi di ristrutturazione o di altro genere. Per la consultazione delle schede di catalogazione si rimanda all'allegato A.

### 5.1.1 Scuola secondaria di primo grado Piero Calamandrei Chirignago (VE)

La scuola media di Chirignago nasce nel 1965, con sede in via Bosso, e prende il nome di "Salvo D'Acquisto". Nel corso degli anni la sede viene trasferita e subisce ben due fusioni, con due scuole medie: si forma così un unico istituto di scuola secondaria di primo grado, sotto il nome di Scuola Media "Salvo D'Acquisto", che comprende tre plessi ed estende il proprio bacino di utenza su una parte più estesa della città. Nel 2009 avviene l'ultima riorganizzazione, che porta alla situazione attuale: nell'ambito di un riordino complessivo a livello comunale, l'istituto viene scorporato e ciascun plesso di scuola secondaria viene assegnato a un istituto comprensivo di nuova formazione. La scuola media di Chirignago diventa così parte del neonato Istituto Comprensivo "Cristoforo Colombo". Nell'estate 2012, su proposta del Consiglio d'Istituto, la scuola prende la nuova denominazione "Piero Calamandrei". (fig.1)

La scuola "Piero Calamandrei" si trova in via dell'Edera 33, in un'area residenziale a un centinaio di metri da via Trieste. L'edificio, a due piani, è circondato da un grande giardino, su cui si affaccia la palestra e in cui i ragazzi trascorrono l'intervallo. I locali della scuola sono così distribuiti: 10 aule (di cui una dotata di LIM), un'aula di informatica con un server e 12 postazioni, oltre a una lavagna interattiva multimediale, un'aula di musica, (fig.2) anch'essa dotata di LIM, un'aula insegnanti, un'aula per la dirigenza in cui si trova anche l'archivio; un'auletta per il sostegno.



fig.1 vista esterna scuola media Piero Calamandrei



fig.2 vista interna scuola media Piero Calamandrei - aula di musica

## 5.1.2 Scuola primaria C. Colombo Chirignago (VE)

La scuola elementare Colombo” (fig.3) è un edificio costruito nel 1976. A partire dall’anno scolastico 2009/2010 è entrato a far parte di un istituto comprensivo (IC Colombo) a seguito dell’unione di scuole che già appartenevano alla medesima direzione didattica con altre provenienti da realtà diverse.

L’istituto è suddiviso in sei plessi: due di scuola dell’infanzia, tre plessi di scuola primaria e uno di scuola secondaria di primo grado.

Il progetto fa parte del Sistema delle Scuole prefabbricate della ditta Valdadige, progettato da Gino Valle dal 1974 al 1984 con Giorgio Macola e la collaborazione di Giuliana Ceccotti. I volumi sono aggregati ortogonalmente ad un asse costituito da una pensilina pedonale coperta. I quattro elementi accostabili all’asse, il corpo delle aule, la mensa, la palestra e la centrale termica hanno struttura in c.a. o c.a.p. e tamponature, impianti e finiture standard. Il corpo delle aule è articolato su due piani, con le aule che affacciano nello spazio centrale comune a doppia altezza (fig.4). Anche la palestra è studiata come un volume a doppia altezza con gli spogliatoi inseriti nel volume. Si prevedeva inoltre la possibilità di futuri ampliamenti con l’aggiunta di nuovi volumi sull’asse centrale. La realizzazione prevede l’asse coperto parallelo alla strada d’accesso a cui vengono accostati il volume delle aule, il corpo che ospita la palestra e la centrale termica. Nell’edificio, sede della dirigenza dell’istituto, vi sono gli uffici amministrativi, 14 classi, 1 biblioteca, 1 aula lettura, 1 aula video, 1 laboratorio di informatica con 25 postazioni, 3 laboratori polivalenti. Nella Scuola Primaria complessivamente si hanno 3 classi che fanno attività per 29,50 ore settimanali (con 2 rientri pomeridiani il lunedì e il giovedì) e 25 classi a 40 ore settimanali, sempre dal lunedì al venerdì.

L’Istituto promuove il raccordo e la collaborazione con le associazioni culturali e sportive del territorio per mettere a disposizione degli alunni ampie proposte educative.

A livello impiantistico la scuola presenta un impianto centralizzato a metano, non risulta in possesso di certificato di collaudo statico né di adeguamento antisismico e pur presentando un involucro coibentato e doppi serramenti, le condizioni vetuste delle suddette tecnologie rendono necessario un intervento di sostituzione delle stesse.



fig.3 vista esterna scuola primaria C. Colombo



fig.4 vista interna scuola primaria C. Colombo - spazio collettivo a doppia altezza

## 5.1.3 Scuola secondaria di primo grado G. Di Vittorio Mestre (VE)

La scuola media fa parte dell’Istituto Comprensivo Leonardo da Vinci, che è nato nel settembre 2013 per effetto di dimensionamento, dalla cessazione della Direzione Didattica e della relativa scuola media.

È costituito da una sede centrale e cinque plessi dipendenti: due plessi di Scuola dell'infanzia, tre plessi di Scuola primaria, un plesso di Scuola secondaria di primo grado. La scuola G. Di Vittorio è stata edificata nel 1976, e si configura con una pianta "tipica" che ha molto in comune con le scuole che portano la firma di Gino Valle. La forma è sempre quella di un blocco lineare rettangolare, con le aule disposte sui due lati lunghi, mentre i due ingressi, opposti tra loro, li ritroviamo sui versanti più corti.

In questo caso sull'asse centrale coperto sono posti da un lato le aule e, dall'altro, la palestra e la centrale termica. La scuola ha due piani fuori terra e presenta dodici classi, una mensa propria, ed una palestra di pertinenza dell'edificio (fig.5.6).

La struttura non presenta il certificato di collaudo statico e necessita di adeguamento antisismico. Non si riscontrano problematiche relative alla presenza di barriere architettoniche, mentre dal punto di vista tecnologico, i serramenti necessitano di sostituzione per fare fronte alle prestazioni attualmente richieste dalle normative, così come l'involucro. L'impianto di riscaldamento è centralizzato a metano. L'Istituto Comprensivo si presenta come un progetto unitario che coinvolge studenti in attività trasversali a quelle della didattica tradizionale, applicando i principi di una didattica più innovativa che sfrutta le nuove tecnologie sperimentando pratiche di insegnamento innovative anche non frontali.



fig.5 vista esterna scuola media Di Vittorio



fig.6 vista interna scuola media Di Vittorio -corridoi

### 5.1.4 Scuola secondaria di primo grado E. Fermi Mestre (VE)

Ci troviamo ancora una volta davanti ad un'architettura di Gino Valle, questa volta costruita nel 1977, pertanto la logica architettonica è la medesima della scuola precedente. In questo caso il progetto, copia di quello di Chirignago, definisce l'asse principale parallelo alla strada di accesso, su cui si innestano i moduli prefabbricati che contengono le aule, la palestra e la centrale termica.

La scuola media E. Fermi rappresenta uno dei cinque plessi che costituiscono l'Istituto Comprensivo Giulio Cesare Parolari. L'Istituto include al suo interno quattro plessi di scuola primaria e un plesso di scuola secondaria di primo grado. In questo edificio di due piani fuori terra sono presenti quindici classi, per un totale di 306 alunni, e quindi una media di venti alunni per classe (fig.7,8).

La scuola si trova in un contesto residenziale particolarmente tranquillo e non è soggetta a particolari vincoli di tipo architettonico, ma presenta vincoli di tipo paesaggistico, e non sembra richiedere interventi per un aumento di capienza.

Dal momento che non presenta certificato di collaudo statico, né interventi di adeguamento antisismico, e ancora un impianto centralizzato a metano, sarebbe opportuno prendere in considerazione un intervento di adeguamento prestazionale sia sotto il profilo energetico che tecnologico.



fig.7 vista esterna scuola media E. Fermi



fig.8 vista interna scuola media E. Fermi - spazio collettivo a doppia altezza

### 5.1.5 Scuola secondaria di secondo grado L. Negrelli Feltre (VE)

L'Istituto Superiore di Feltre nasce dall'unificazione, a decorrere dall'a.s. 2017/2018, dell'I.I.S "L. Negrelli - E. Forcellini" e dell' I.I.S. Polo di Feltre (I.T.C. "A. Colotti" e I.P.S.I.A. "C. Rizzarda) per aggregare l'offerta formativa Tecnica e Professionale presente nel Comune di Feltre. La scuola secondaria Negrelli, ad opera di Gino Valle, risale al 1979. La differenza principale rispetto alle architetture precedenti sono le dimensioni dell'edificio. Dovendo ospitare un numero di studenti superiore troviamo un blocco lineare molto più lungo di quelli visti sinora (fig.9); tuttavia, la tecnologia utilizzata, è sempre la medesima. Si prevedeva inoltre la possibilità di futuri ampliamenti con l'aggiunta di nuovi volumi sull'asse centrale. In questo caso la composizione presenta leggere anomalie, con più assi coperti che dalle stesse aule portano alla mensa e alla palestra e i volumi delle aule. Il sistema costruttivo impiegato, generalizzato per tutti gli edifici del complesso scolastico, appartiene alla prefabbricazione pesante in cemento armato normale e precompresso.

Il corpo aule è organizzato su due piani fuori terra con maglie strutturali a pilastri con interasse longitudinale di 7.20 m. Le navate laterali da 9.60 m contengono le aule, i servizi ed i laboratori, mentre la campata centrale, da 4.80 m, contiene i percorsi (fig.10) ed i collegamenti verticali.

La chiusura a terra è realizzata con un solaio su intercapedine ventilata ed ispezionabile ove corrono anche le reti di distribuzione degli impianti tecnologici. Le strutture di fondazione di tutti gli edifici del complesso polivalente sono del tipo diretto eseguite in sito con calcestruzzo armato. I plinti sono sormontati dai bicchieri in c.a. (alti 100 cm) che accoglieranno i pilastri prefabbricati. I bicchieri dei plinti sono solidali con le travi porta muro che hanno una sezione trasversale di 30 cm ed un'altezza di 100 cm uguale a quella dei bicchieri.



fig.9 vista esterna scuola superiore L.Negrelli

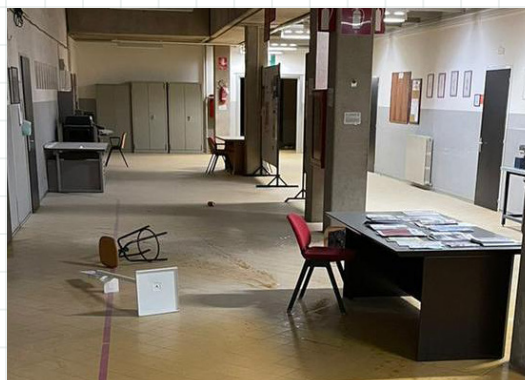


fig.10 vista interna scuola superiore L.Negrelli - percorsi orizzontali

L'area esterna, recintata in osservanza delle indicazioni del bando, risulta attrezzata con gli impianti sportivi riportati in planimetria e per le zone scoperte sistemate a verde. La scuola presenta 27 classi e 522 alunni. 12 aule normali, 8 laboratori, una biblioteca, una mensa e due palestre. Oltre alle classiche funzioni amministrative è dotata anche di un centro stampa, un'emeroteca, ed un'officina.

### 5.1.6 Scuola secondaria di primo grado E. Salgari Negrar di Valpolicella (VR)

La scuola media Salgari, secondo le informazioni fornite dall'Anagrafe degli Edifici Scolastici italiani, è stata edificata nel 1980. Successivamente è entrata a far parte dell'Istituto Comprensivo di Negrar di Valpolicella, che al suo interno include una scuola d'infanzia, quattro scuole primarie e una scuola secondaria di primo grado. Il progetto fa parte del Sistema delle Scuole prefabbricate della ditta Valdadige, progettato da Gino Valle dal 1974 al 1984 con Giorgio Macola e la collaborazione di Giuliana Cecotti. I volumi sono aggregati ortogonalmente ad un asse costituito da una pensilina pedonale coperta. I quattro elementi accostabili all'asse, il corpo delle aule, la mensa, la palestra e la centrale termica hanno struttura in c.a. o c.a.p. e tamponature, impianti e finiture standard. Il corpo delle aule è articolato su due piani, con le aule che affacciano nello spazio centrale comune a doppia altezza. Anche la palestra è studiata come un volume a doppia altezza con gli spogliatoi inseriti al suo interno. Si prevedeva inoltre la possibilità di futuri ampliamenti con l'aggiunta di nuovi volumi sull'asse centrale. A Negrar la realizzazione si discosta dalle soluzioni teoriche, accostando la palestra e le aule a un volume per la didattica invece di basare la composizione sull'asse pedonale coperto.

Gli spazi dedicati alla didattica constano di 13 aule, 5 laboratori, una palestra, una biblioteca ed uno spazio interno adibito a cortile con giardino.

La scuola si trova in un contesto dove il verde primeggia (fig. 11, 12), e quindi l'inquinamento acustico risulta minimo. I piani fuori terra sono due e dai controlli normativi preliminari emerge che la scuola possiede il certificato di collaudo statico, ma necessita di adeguamento antisismico. Si riscontra anche la presenza di barriere architettoniche e di un impianto centralizzato metano che, come le tecnologie costruttive (serramenti e chiusure), necessitano di essere riqualificate.



fig.11 vista esterna scuola media E.Salgari



fig.12 vista esterna scuola media E.Salgari-accesso pedonale

### 5.1.7 Scuola secondaria di primo grado A. Toscanini -Morcelli Chiari (BS)

La scuola Toscanini viene costruita intorno al 1975, e ricalca a pieno lo schema architettonico proposto nelle piante che portano la firma di Gino Valle.



La struttura è costituita da due piani di aule e laboratori (fig.13), da spazi per servizi generali riuniti da una sala centrale adibita a teatrino con capienza inferiore alle 100 persone. (fig 14) L'edificio è costituito da struttura prefabbricata in C.A.P e tamponamenti in pannelli prefabbricati, presenta una copertura piana; i muri esterni sono parte in c.a. e parte in mattoni speciali da tamponamento. Le caratteristiche strutturali sono le medesime della scuola superiore Negrelli di Feltre, precedentemente descritta.

Negli anni 2000/2001, la scuola, è stata oggetto di una fusione con l'altro istituto secondario di primo grado di Chiari, la scuola Morcelli, per esigenze di ampliamento dovute all'aumento del numero di studenti. Si è costituito così l'Istituto comprensivo Toscanini-Morcelli.

Nel 2012/2013 a seguito di un ulteriore piano di riorganizzazione, l'Istituto si è ampliato includendo altre scuole, prendendo il nome di I.C. Città di Chiari. Esso si configura come istituto verticale completo poiché comprende la scuola dell'infanzia ed il primo ciclo in quanto include due scuole d'infanzia, tre scuole primarie e tre scuole secondarie di primo grado.

Le condizioni prestazionali dell'edificio necessitano di interventi di adeguamento sia dal punto di vista energetico che strutturale poiché la scuola non rispetta i controlli normativi preliminari in quanto sprovvista di certificato di collaudo statico, adeguamento antisismico ed un impianto centralizzato a metano.

Attualmente la scuola ospita ben 561 studenti, include 24 classi, tra cui anche i laboratori, una palestra, una struttura che ospita la mensa (direttamente connessa al blocco scuola principale) ed un ampio spazio esterno che include dotazioni sportive.



fig.13 vista esterna scuola superiore A.Toscanini



fig.14 vista interna scuola superiore A.Toscanini- teatrino

### 5.1.8 Scuola secondaria di primo grado D. Zipoli Prato (PO)

La scuola è stata costruita nel 1974, nel 2004 è entrata a far parte dell'Istituto comprensivo Gandhi, che abbraccia tre frazioni del comune di Prato e che include due scuole d'infanzia, tre scuole primarie e una scuola secondaria di primo grado. Dal 2016 è stato avviato un processo di innovazione tecnologica proiettato verso l' utilizzo delle nuove tecnologie informatiche e comunicative a supporto della didattica, per modernizzare modalità e processi di apprendimento

Il fabbricato ospita 443 alunni e 21 classi, ed ha una pianta rettangolare ed è caratterizzato da due piani fuori terra e un piano interrato (fig 15,16); le strutture in elevazione sono metalliche mentre il piano interrato è costituito da strutture in c.a. fondate su un sistema superficiale anch'esso in c.a. I solai della struttura sono sostanzialmente di due tipologie; quello di piano terra è un solaio tradizionale in latero-cemento, quello di piano primo e quello di copertura sono solai parzialmente prefabbricati a lastre studiate per essere "portati" dalle strutture metalliche di piano. La zona centrale del fabbricato

che corrisponde alla sagoma della palestra è caratterizzata da un doppio volume. Esternamente, il fabbricato si presenta con pannelli prefabbricati e finestre modulari posizionate in elementi architettonici assimilabili a "bow window" poco aggettanti presenti sul prospetto principale lato stradale.

Dal punto di vista impiantistico, la scuola presenta un impianto centralizzato a metano, mentre nei controlli normativi preliminari è presente il certificato di collaudo statico, ma la struttura manca di adeguamento antisismico.



fig.15 vista esterna scuola media D.Zipoli



fig.16 vista esterna scuola media D.Zipoli -ingresso principale

### 5.1.9 Scuola professionale OK School Academy Brescia

Costruita nel 1990, la Ok School Academy è, a differenza degli istituti visti fino ad ora, un'accademia professionale nell'ambito del benessere e della grafica. Lo schema architettonico è identico alle scuole di Gino Valle; pertanto, la pianta si presenta come un blocco lineare di due livelli (fig.17), con un grande atrio centrale a doppia altezza, costeggiato dai corridoi, che lo connettono alle aule, localizzate esternamente lungo i due fronti più ampi dell'edificio. Al suo interno accoglie più di 400 studenti, ospita 25 aule didattiche un'area Hi Tech, 7 laboratori tecnologicamente avanzati, aree polifunzionali ed un'area dedicata ad eventi (fig.18).

La scuola è stata oggetto di una recente manutenzione che l'ha vista protagonista di un adeguamento sismico, che energetico. Gli interventi di sostituzione hanno interessato la facciata, i serramenti, i certificati di collaudo e gli impianti. Il riscaldamento centralizzato a metano è stato sostituito con un moderno impianto di teleriscaldamento.



fig.17 vista esterna scuola professionale OK School Academy

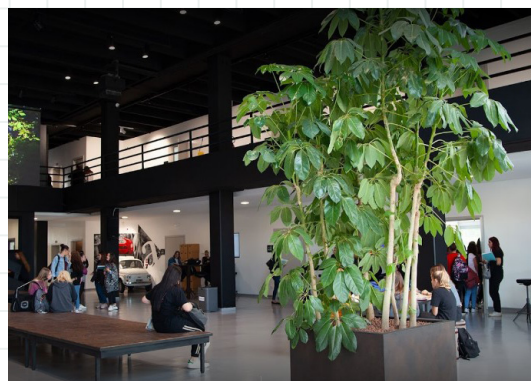


fig.18 vista interna scuola professionale OK School Academy- spazio eventi

## 5.2 Quadro riassuntivo dei dati raccolti

A seguito della catalogazione dei casi studio, per ottenere un quadro complessivo della situazione, è interessante soffermarci sui risultati così da comprendere quali siano le problematiche che maggiormente accomunano gli edifici analizzati. Tralasciando le informazioni di natura geografica, ci soffermiamo brevemente sull'aspetto architettonico, tecnologico/energetico e strutturale.

### 5.2.1 Aspetto architettonico

A conferma degli studi effettuati sulle caratteristiche formali degli edificati appartenenti al periodo del boom, lo schema architettonico ricorrente è quello della scuola a blocco a due piani fuori terra caratterizzato da una geometria regolare. I lati brevi sono generalmente occupati dagli ingressi e dai sistemi di connessione verticale; sui lati lunghi sono disposte le aule, organizzate con un impianto distributivo sul modello aula-corridoio. Il cuore dell'edificio è generalmente occupato da uno spazio collettivo, talvolta distinto dagli spazi distributivi, generando così piccoli teatri o auditorium. È facile capire come tale impianto lasci poco spazio alla flessibilità di spazio e di utilizzo, in quanto ancora legato alla concezione di scuola post bellica. Dati i presupposti illustrati nei capitoli precedenti in merito alla rivoluzione della didattica è evidente come ad oggi sia necessario un ripensamento degli spazi interni al fine di garantire agli studenti uno spazio dinamico e stimolante in cui imparare e crescere, non solo come studente ma anche come persona.

In merito all'accessibilità, il confronto evidenzia come 7 scuole su 9 sono completamente accessibili da persone con ridotta capacità motoria, e l'intero campione analizzato è dotato di rampe o ascensori. L'ostacolo più frequente ad una piena accessibilità però è l'ascensore non a norma e i servizi igienici che non rispettano i requisiti per persone con disabilità. Infine, sia le scale interne che quelle esterne sembrano rispettare le normative vigenti.

### 5.2.2 Aspetto tecnologico/energetico

Per quanto riguarda l'aspetto tecnologico la maggior parte degli edifici presi in esame presentano un involucro con un minimo di isolamento e serramenti con doppio vetro: si tratta di componenti tecnologici scarsamente performanti, che rispettavano i requisiti minimi di leggi ormai superate da tempo. A livello impiantistico si ritrovano criticità assimilabili: ad eccezione per la Ok School Academy di Brescia, il cui impianto è stato già sostituito con uno di teleriscaldamento a seguito del recente intervento di adeguamento, la maggior parte delle scuole analizzate presenta un riscaldamento centralizzato con generatore a metano e radiatori. Questo sistema, oltre a eventuali problemi di vetustà e di insufficiente manutenzione, prevede l'utilizzo di acqua ad alta temperatura, che inevitabilmente produce un dispendio energetico elevato. Inoltre, essendo per lo più impianti centralizzati, non può nemmeno essere previsto un utilizzo separato per le diverse zone dell'edificio, il che aumenta ulteriormente il carico energetico complessivo.

Per comprendere meglio il panorama normativo in base al quale questi edifici sono stati edificati basti pensare che la prima norma italiana in merito al risparmio energetico, la legge n.373/76, è stata emanata a seguito della crisi energetica degli anni '70 ed era costituita da tre parti: la prima riguardava

gli impianti di produzione del calore e gli annessi sistemi di termoregolazione; la seconda trattava l'isolamento termico degli edifici; la terza le sanzioni previste per la mancata osservanza della legge. La legge che ha integrato ed in parte sostituito la legge n.373/76, è la n.10 del 9 gennaio 1991: "Norme per l'attuazione del Piano energetico Nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e sviluppo di fonti rinnovabili di energia". Questa norma è la prima legge quadro italiana che regolava le modalità progettuali e la gestione del sistema edificio-impianto ma ad oggi è stata sostituita da altre normative, alcune di recepimento europeo, che fissano parametri molto più stringenti in termini prestazionali al fine di contenere il consumo energetico. Data l'attualità di questa esigenza, che ancor oggi risulta essere un grave problema a livello nazionale, è evidente come sia necessario un intervento che operi sull'involucro, sia opaco che trasparente, e sui sistemi impiantistici di questi edifici in modo di creare un "organismo" energeticamente efficiente.

### 5.2.3 Aspetto strutturale

Anche dal punto di vista strutturale si riscontrano risultati poco incoraggianti, dato che 5 edifici su 9 non dispongono della certificazione di agibilità statica. Questo potrebbe essere ricondotto al fatto che prima del 1971 non vi era l'obbligo di eseguire un collaudo statico nè di redigere la conseguente certificato. La prima normativa antisismica è infatti stata introdotta solo nel 1974, il che spiega in parte i risultati appena esposti. Questa tipologia edilizia nello specifico, come già spiegato in precedenza, presenta criticità inerenti le connessioni degli elementi strutturali, che li rende particolarmente suscettibili di crolli in presenza dell'azione sismica.

Per una analisi completa di un immobile, al fine di ipotizzarne degli interventi migliorativi, risulta inoltre fondamentale indagare gli interventi manutentivi o strutturali a cui è stato sottoposto negli anni, in modo da conoscerne effettivamente la statica nelle condizioni in cui si intende operare. Le tecniche adottate nel tempo per gli interventi di ristrutturazione non sempre hanno comportato miglioramenti nella statica dei fabbricati: basti pensare alla consuetudine di sostituire solai e coperture leggeri lignei con elementi pesanti in cemento armato, per cui non è raro riscontrare edifici non recenti comportarsi in modo migliore di altri più "giovani" o già ristrutturati, in caso di azione sismica.

I dati raccolti sull'adeguamento antisismico sono ancora più drastici: 8, delle 9 scuole analizzate non rispetta normativa antisismica disciplinata dal Decreto del Ministero delle Infrastrutture del decreto NTC08, che definisce sia i provvedimenti relativi alla progettazione dei nuovi edifici, sia quelli relativi agli edifici esistenti che devono essere sottoposti ad adeguamento antisismico. Si ricorda che gli interventi di adeguamento sismico hanno l'obiettivo di ottenere i livelli di sicurezza previsti dalle NTC 2018, cioè di raggiungere una resistenza pari a quella di un edificio di nuova costruzione.

### 5.2.4 Conclusioni

I risultati della nostra catalogazione si trovano in linea con il panorama inquadrato dagli enti attualmente impegnati nelle politiche di rinnovamento del patrimonio edilizio italiano che sono già stati ampiamente discussi nei capitoli precedenti (cap. 3 e 4). I temi appena trattati reputiamo siano quelli in cui sia necessario un intervento tempestivo, e che verranno quindi indagati nella presente tesi. Il tema architettonico e tecnologico/energetico assumeranno in questa sede il ruolo predominante, in quanto verrà di seguito analizzato nel dettaglio un approccio reiterabile per rispondere a tale esigenze per il parco edilizio appena analizzato, e che ha previsto anche una nostra fase di sperimentazione. Anche l'aspetto strutturale verrà trattato ma con meno dettaglio, per cui ci si limiterà a valutazioni più generali.

## 5.3 Individuazione del caso studio

La fase conclusiva del processo di catalogazione è coincisa la scelta di uno dei casi studio analizzati con l'obiettivo di trattare con un approccio pratico i temi trattati fino ad ora, sia dal punto di vista architettonico, sia tecnologico, sia impiantistico, e fornire un esempio applicativo della teoria della reitabilità da noi proposta.

La scelta del caso studio è ricaduta sulla scuola media Arturo Toscanini di Chiari (BS). Ad avvalorare tale scelta è stata la presenza di un bando istituito dal comune di Chiari su questo edificio, ma più in generale l'attivismo che questo Comune ha dimostrato nei confronti dell'edilizia scolastica.

### 5.3.1 I tre poli scolastici di Chiari

L'Amministrazione Comunale ha infatti intrapreso negli ultimi anni un importante progetto di rinnovamento dell'intera città che mira a mettere il cittadino e le sue esigenze come primo beneficiario di questi cambiamenti.

Tra gli obiettivi, assume rilevanza prioritaria quello stabilito per le politiche scolastiche, che si manifesta nell'intento di perseguire il "... *recupero degli attuali edifici scolastici, per adeguarli alle nuove esigenze, sia di sicurezza, che di fruibilità e flessibilità d'uso, partendo da una progettazione strategica che abbia origine da una visione d'insieme e da una programmazione partecipata e condivisa. Il progetto sulle scuole non deve riguardare evidentemente la semplice messa a norma degli edifici, ma deve essere piuttosto intesa come un intervento pedagogico ed urbanistico che si prefigga, tra i vari obiettivi, quello di creare sinergia con tutti i servizi del territorio (biblioteca, museo della città, ludoteca, etc)...*"

Considerando che le attuali scuole superiori di secondo grado a nord costituiscono a tutti gli effetti un polo di istruzione secondaria di secondo grado, lo sforzo è quello di raggruppare i tanti edifici scolastici sparsi per la città in due ulteriori grandi poli, uno per grado (scuola primaria e scuola secondaria di primo grado). Il progetto Comunale, che ha preso il via nel 2016, prevede interventi per la completa riqualificazione ed adeguamento strutturale, antisismico, igienico-sanitario e antincendio delle scuole primarie e secon-



fig.19 schema dei poli scolastici di chiari in cui si evince la loro posizione rispetto al centro storico

darie di primo grado esistenti, nonché interventi per una riqualificazione ed innovazione energetica e funzionale. Per soddisfare al meglio tutte le esigenze funzionali si prevede altresì la sostituzione di parte della edilizia esistente in favore di nuova edilizia, previa demolizione parziale dei corpi di fabbrica e con conseguente dismissione definitiva di parte delle aree originariamente destinate ad attività scolastica.

#### 5.3.1.1. Il polo delle scuole superiori - ITCG Luigi Einaudi

Una scuola superiore è già attiva sul territorio dagli anni '60, nata come sede distaccata dell'Istituto Tecnico per Ragionieri "C. Abba" di Brescia (fig. 20). Nel 1971 diventa autonomo e viene dedicato al Presidente della Repubblica Italiana, Luigi Einaudi: nei trent'anni a seguire l'istituto registra una forte scorcista, con conseguente implementazione dell'offerta formativa. Vengono introdotti corsi per Periti aziendali, Corrispondenti in lingue estere, Ragionieri e Geometri, le sperimentazioni IGEA, ERICA, MERCURIO e il corso geometri PROGETTO CINQUE. Nei primi anni del 2000 viene istituito il iceo tecnico, sia per l'indirizzo amministrativo che per l'indirizzo tecnico-edile; dieci anni più tardi si aggiungono Amministrazione, Finanza e Marketing (AFM), Costruzioni, Ambiente e Territorio (CAT), prendendo sempre più la forma di un vero e proprio polo di istruzione secondaria. L'implementamento di questo istituto prosegue con l'inaugurazione della nuova struttura (fig.21), all'avanguardia sotto il profilo tecnologico ed energetico. Negli ultimi anni sono stati poi aggiunti gli indirizzi Agrario: tecnico, professionale, Socio-Sanitario, Turismo, ESABAC Techno e il Programma DSD Lingua Tedesca.



fig.20 vista esterna ITCG Einaudi - edificio originario



fig.21 vista esterna ITCG Einaudi - edificio di ampliamento

#### 5.3.1.2 Il polo delle scuole d'infanzia ed elementari-Istituto Comprensivo Città di Chiari

Il progetto a livello comunale ad oggi ha interessato le scuole elementari e di infanzia situate a est del paese (fig.22). I plessi sono stati riorganizzati e dall'unione di tre scuole di infanzia, e quattro plessi elementari, è nato l'Istituto Comprensivo Città di Chiari. Il nuovo polo scolastico di via Mellini è nato da un ampliamento e dalla ristrutturazione degli spazi scolastici esistenti, oltre che dalla riqualificazione dell'area dismessa su cui sorgeva il vecchio palasport, per accogliere in un unico luogo tutte le scuole primarie della città (fig.23). Il complesso intervento ha previsto, oltre al riefficientamento energetico delle strutture presenti, anche la realizzazione di 22 nuovi locali fra aule e laboratori, un centro civico, un auditorium da 400 posti e una grande palestra omologata come impianto sportivo di categoria "Silver". Il complesso accoglie da un lato gli ambienti didattici e accessori, comprendenti le nuove aule, i laboratori, una nuova mensa, la serra didattica, e dall'altro gli spazi utilizzabili da tutta la cittadinanza, ovvero le palestra, l'auditorium e il civ center. La struttura scolastica si compone di unità modulari che si sviluppano intorno ad una corte centrale, mentre il nuovo blocco è stato suddiviso e articolato in più volumi per dotare il nuovo impianto scolastico di spazi connettivi e aree comuni, oltre ad offrire punti di illuminazione naturale. Il nuovo involucro e una buona parte della struttura esistente sono state

rivestite con un sistema di facciata ventilata finita in gres porcellanato, con finestre dotate di cornici aggettanti in alluminio, che diversificano e movimentano il disegno architettonico regolare. Le elevate prestazioni di efficientamento energetico sono offerte da un sistema di isolamento termico all'avanguardia con tecnologia di ventilazione naturale, rivestito con lastre in ceramica in colore naturale



fig.22 vista esterna Istituto Comprensivo Città di Chieri - edificio originario



fig.23 vista interna Istituto Comprensivo Città di Chieri - edificio di ampliamento

### 5.3.1.3 Il polo delle scuole medie - Scuola Morcelli-Toscanini

L'attuale panoramica delle scuole secondarie di primo grado vede la presenza di due istituti scolastici: la scuola Toscanini in via Roccafranca e la scuola Morcelli in via Lancini. Attualmente l'edificio scolastico di via Lancini è stato demolito e la popolazione scolastica è stata temporaneamente trasferita in via Maffoni, presso l'ex scuola elementare Turla. In questa sede provvisoria l'istituto Morcelli presenta un sovraffollamento che ha portato alla chiusura dei laboratori didattici a favore di aule generiche con evidente peggioramento, in termini didattici, della qualità dell'offerta formativa. Analizzando il quadro strategico delle scuole attuali si nota come la scuola Toscanini abbia un grande potenziale dovuto alla sua posizione, essendo collocata al confine meridionale tra il tessuto urbanizzato e l'area agricola, e allo stesso tempo di facile raggiungimento dal centro storico, posizionandosi su una delle principali arterie di collegamento stradale. L'area permette poi un'espansione, annettendo il lotto situato a sud dell'attuale confine, che amplia ulteriormente le possibilità in termini progettuali. Da qui la scelta del Comune di localizzare il nuovo polo delle scuole medie nell'area dell'attuale scuola Toscanini: il nuovo complesso, costituito dall'edificio scolastico esistente e dai nuovi volumi di ampliamento, ingloberà l'attuale scuola Morcelli diventando così Istituto Morcelli-Toscanini. L'Amministrazione Comunale ha inoltre previsto che, una volta ultimata la realizzazione del nuovo polo in via Roccafranca sarà avviata la demolizione dell'edificio in via Maffoni, previa bonifica dell'amianto presente in copertura. È prevista una rigenerazione dell'area medesima con realizzazione di un nuovo parcheggio.



fig.24 vista esterna scuola media A. Toscanini



fig.25 vista esterna scuola media S. Morcelli

### 5.3.2 Il bando sulla scuola Toscanini

Il bando sull'attuale scuola Toscanini, indetto dal Comune di Chari il 24 gennaio 2020, prevede *"opere di ristrutturazione e ampliamento del polo scolastico in via Roccafranca con demolizione della scuola in via Maffoni"*.

Oltre alle opere di costruzione ex novo per l'ampliamento dell'attuale scuola Toscanini, il bando prevede interventi da eseguire sull'edificio esistente quali riqualificazione energetica, riqualificazione e adeguamento strutturale, antisismico, igienico-sanitario, antincendio, funzionale, nonché sostituzione di parte dell'edilizia esistente in favore di una edilizia ex-novo. Il bando ambisce alla trasformazione del polo scolastico in un vero e proprio Civic center (fig.26), uno spazio polifunzionale ed interoperabile attivo anche al di fuori dell'orario scolastico che crei sinergie e dialogo tra la struttura esistente da riqualificare che alla porzione di nuova edificazione. E' richiesta inoltre una rivisitazione dell'accesso alla scuola da via Roccafranca, per risolvere le problematiche attuali di accessibilità all'intero comparto scolastico, con l'individuazione di un nuovo ingresso principale da raccordare con una nuova zona pedonalizzata ed i percorsi ciclo-pedonali protetti. Gli spazi richiesti anzitutto 24 spazi didattici, un auditorium e nuovi laboratori didattici. Tra gli obiettivi vi è anche la costruzione di due nuove palestre (fig.27), con la demolizione della precedente in quanto non adeguata alle normative antisismiche, antincendio e igieniche sanitarie, e una nuova mensa, completamente ripensata.



fig.26 render vista esterna - la piazza del civic center di progetto e l'ingresso alla scuola - soluzione selezionata



fig.27 render vista interna - palestra di progetto

In questo ampio progetto di rinnovamento, l'Amministrazione comunale intende prestare massima attenzione ad alcuni aspetti ritenuti prioritari, quali:

- polifunzionalità e interoperabilità degli spazi, che dovranno essere progettati per un utilizzo sia degli studenti quanto della collettività, al fine di stimolare una partecipazione attiva del cittadino nel tessuto della città;
- flessibilità degli spazi, necessaria per una diversificazione delle modalità in cui svolgere la didattica, per cui risulta indispensabile l'adozione di ambienti e arredi componibili;
- sostenibilità, in quanto deve essere massimizzata l'autosufficienza e l'auto-produzione energetica per ridurre i consumi energetici, sia dei volumi di nuova costruzione, sia per l'edificio esistente;
- minimizzazione del consumo di suolo, richiedendo espressamente che il 65% della superficie dell'intero lotto sia adibita a verde attrezzato;
- sfruttamento del sottosuolo, ad oggi quasi totalmente inutilizzato sull'intero territorio comunale;
- risoluzione dei problemi viabilistici e di accessibilità dell'intero comparto scolastico, con un corretto smistamento del traffico carrabile e tutela in tutte le fasi della accessibilità ciclo-pedonabili.

Tra le indicazioni del bando vi è anche quella di creare un rete di relazioni tra l'ambito di intervento e i servizi pubblici del circondario quali la biblioteca comunale, il Museo della Città e suoi Laboratori Di-



dattici, Pinacoteca Morcelli Repossi, Parco urbano delle rogge, Villa Mazzotti, ecc..., in modo di assorbire anche l'utenza sovracomunale/sovraprovinciale.

Il suddetto bando, gestito con modalità integrata interna, è stato sviluppato dal Comune di Chiari fino al progetto definitivo; è stato invece appaltato ad esterni la progettazione esecutiva e la direzione dei lavori. Ad oggi il progetto definitivo ed esecutivo sono disponibili sul sito del Comune, e il cantiere è tutt'ora in corso d'opera.

### 5.3.3 L'ex-cava Betongamma

Tra le proposte di riqualifica della città programmate dal Comune di Chiari si inserisce anche una cava localizzata in via Roccafranca, a sud della scuola Toscanini-Morcelli. Il PGT prevede un recupero naturale di gran parte dell'area della cava Fin Beton dove oggi è presente anche un boschetto spontaneo e una piccola area umida. Il recupero rappresenta un'occasione per la città, e deve tener conto della prossima realizzazione del vicino polo scolastico, in ampliamento a quello esistente.

Il Comune incoraggia la riconversione dell'ambito verso la rinaturalizzazione, ammettendo attività pro ricreative, ricettive, espositive, non escludendo la realizzazione di impianti sportivi privati o pubblici, senza occludere la funzione di corridoio ecologico. E' vista positivamente dal D.d.P. anche l'utilizzazione di parte dell'area per grandi eventi, spettacoli ed esposizioni anche di respiro sovracomunale, e per le necessarie strutture.

La cava verrà inclusa all'interno del progetto di rigenerazione del nuovo polo scolastico, in quanto opportunità per contribuire ad un progetto per una didattica innovativa e inclusiva.



fig.28 ingresso ex cava Betongamma

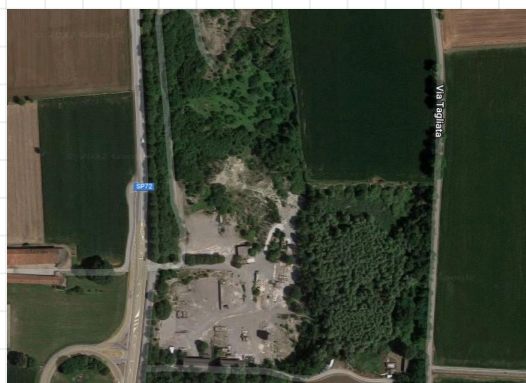


fig.29 vista aerea ex cava Betongamma

### 5.3.4 Conclusioni

Il quadro fin ora illustrato è stato per noi indispensabile per comprendere la dinamicità del contesto urbano in cui interviene la nostra proposta progettuale. Prima di affrontare nel dettaglio il progetto è doveroso anticipare che, nonostante la fase ideativa abbia preso avvio dalle richieste del Comune in merito agli spazi minimi da realizzare, nella stesura dell'idea progettuale gli spazi prettamente didattici hanno subito una modifica di numero (gli spazi ex-novo invece rispecchiano le richieste del bando). Tale licenza, consentitaci dalla natura scolastica di questo elaborato, ha una duplice motivazione. Abbiamo anzitutto voluto dare spazio alla nostra intenzione di reiterabilità di intervento, che ci ha spinto a realizzare un ripensamento degli spazi scolastici senza una variazione dei volumi dell'edificio interessato. Questo perchè, a fronte di un budget limitato che in genere accomuna gli interventi sugli edifici pubblici,

anche in altri edifici assimilabili possano essere utilizzate strategie spaziali e distributive simili, ottenendo così scuole 3.0 in edifici scolastici esistenti. In secondo luogo, a incitarci in questa scelta è stata anche il decremento della popolazione scolastica a cui si è assistito in Italia negli ultimi anni, come già illustrato nei capitoli precedenti e che quindi deve spingere a prediligere il riutilizzo dell'edilizia scolastica esistente piuttosto che la nuova edificazione.

A differenza del progetto proposto dal Comune, che prevede il trasferimento delle aule scolastiche nelle costruzioni ex novo e l'utilizzo dell'edificio esistente per attività laboratoriali, la nostra sfida consiste nel riorganizzare la scuola dall'interno, generando nuovi spazi didattici con interventi minimi, puntando sull'utilizzo di apparecchiature tecnologiche e dell'arredo per la realizzazione di ambienti flessibili.



# 6

## Analisi del contesto

6.1 Il passato di Chiari	
6.2 Inquadramento territoriale	
6.3 Sistema delle infrastrutture e viabilità a scala urbana	
6.4 Sistema insediativo	
6.5 Sistema del verde e della mobilità dolce	
6.6 Analisi climatiche	
6.7 SOWT	
6.8 Analisi demografiche	



## Il passato di Chiari 6.1

Una volta individuato il caso studio oggetto della tesi, si procede ad individuare i caratteri del contesto che ospiterà il progetto, per permettere un intervento quanto più possibile coerente con i tratti del territorio.

### 6.1.1 Cenni storici su Chiari

La città di Chiari è oggi un popoloso centro agricolo, industriale e commerciale situato nella zona occidentale della pianura bresciana, in posizione pressochè centrale rispetto al territorio lombardo (fig.1). È collocata a 149 m sul livello del mare e il suo territorio, bagnato da numerosi canali e rogge derivati dal fiume Oglio che scorre a pochi chilometri, si estende per 3.802 ettari. Confina a nord con il comune di Cologne; ad est con Coccaglio; a sud-est con Castrezzato; a sud con Castelvovati, Rudiano, Roccafranca; ad ovest con Urago d'Oglio, Pontoglio e Palazzolo (fig.2).



fig.1 Localizzazione di Chiari nella Regione Lombardia

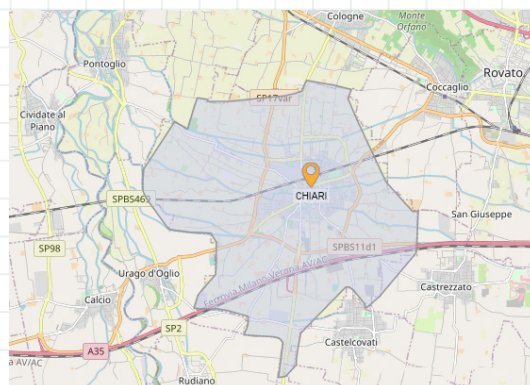


fig.2 Confini della città di Chiari e paesi confinanti

Sull'origine del nome della città di Chiari ci sono diverse ipotesi. La prima fa risalire il vocabolo latino con il quale era denominato l'abitato, cioè "Clarae", da cui il dialettale "Ciare", alla chiarezza delle acque del borgo. L'Olivieri nel suo "Dizionario di toponomastica" sostiene invece che il nome Chiari derivi dal "nome personale romano CLARUS", anche se non rifiuta del tutto l'ipotesi che "Clarus" stia ad indicare un luogo "chiaro", spoglio, o quasi, di alberi. Si deve, inoltre, annoverare l'ipotesi che il nome derivi da "glare", ghiaia, trasformato poi in "Clare" e "Ciare", infatti "fino al sec. XI la campagna del territorio era ghiaiosa e sassosa". L'ipotesi più recente fa risalire Chiari al termine celtico "Jar" (o "Giar"), che indica un "luogo recintato, un pubblico ritrovo, una fermata obbligatoria".

Chiari è un nucleo di origine romana, le cui tracce sul territorio sono state documentate da numerosi ritrovamenti avvenuti in diverse occasioni nel secolo scorso. Questa zona della Pianura Padana fu occupata nei secoli V e IV a.C. dal popolo galloceltico dei cenomani, a cui si susseguirono i Romani, i Goti, e infine, nell'VIII secolo d.C., i Longobardi. Le origini di Chiari possono essere pertanto fatte risalire al IX secolo quando si è formata una piccola fortificazione posta a difesa degli interessi bresciani sulla sponda dell'Oglio. La sua prima chiesa può essere individuata in quella dei "Morti", vicino a S. Maria Maggiore, sorta come diaconia della pieve di Coccaglio.

Solo nell'XI secolo si è sviluppato il nucleo urbano, vero e proprio "Castrum", con funzione difensiva

volta ad arginare le scorrerie di Bergamaschi e Cremonesi. In tal senso si rileva storicamente che il termine "in castro Clare" compare per la prima volta in un documento scritto il 9 settembre 1148, la bolla "Aequitatis et Justitiae ratio" di Papa Eugenio III.

Nel 1237 Chiari fu assediata dalle truppe di Federico II, nel 1259 cadde sotto il dominio di Ezzelino da Romano e nel 1272, ridotta dai Guelfi in rovine, risorse per mano dei Ghibellini a cui rimase a lungo politicamente legata.

Nella seconda metà del XIV secolo Chiari entra nella sfera d'influenza Viscontea e nel 1422 Filippo Maria Visconti le concedette importanti privilegi amministrativi ed una sostanziale autonomia politica.

Contesa dai Visconti di Milano e dalla Serenissima, Chiari nel 1512 subisce anche il saccheggio degli svizzeri di Lautrecht, i Lanzichenecci.

Incerta è la storia della comunità prima del XII secolo. Diversi ritrovamenti archeologici nel corso dell'Ottocento hanno riportato alla luce reperti dell'epoca romana e hanno fatto affermare al Rota che "Chiari certamente esisteva nei primi secoli dell'era nostra". A sostegno dell'affermazione l'autore cita il ritrovamento nel 1835 e nel 1879 di "monete romane e un pezzo di mosaico" e nel 1843 di "un sarcofago del IV secolo, formato da grandi mattoni embricati, e vi si rinvennero due urne in terra cotta e ventidue monete della età dei Costantini".

Dotata di Statuti Autonomi (1429) e di una divisione politico-amministrativa in quadre, fin dal XIV secolo Chiari si dedicò alle opere più importanti che hanno determinato la qualità e lo spessore della sua vita civile religiosa: nel 1495, su sollecitazione di Bernardino di Feltre, viene costituito il Monte di Pietà, a cui ben presto si affiancarono altre opere di solidità e di sviluppo, quali il Monte Grano ed il Consorzio dei Poveri.

L'economia, da sempre vocata all'attività agricola, è stata profondamente segnata, sulla fine del Seicento, dall'arrivo a Chiari di alcune famiglie di tessitori lecchesi e bergamaschi, che hanno dato avvio a quell'industria della seta che produrrà notevole benessere fino all'inizio di questo secolo.

Il 1° settembre 1701 Chiari è teatro di un'aspra battaglia che fu determinante nella guerra di successione al Regno di Spagna. (fig. 3)

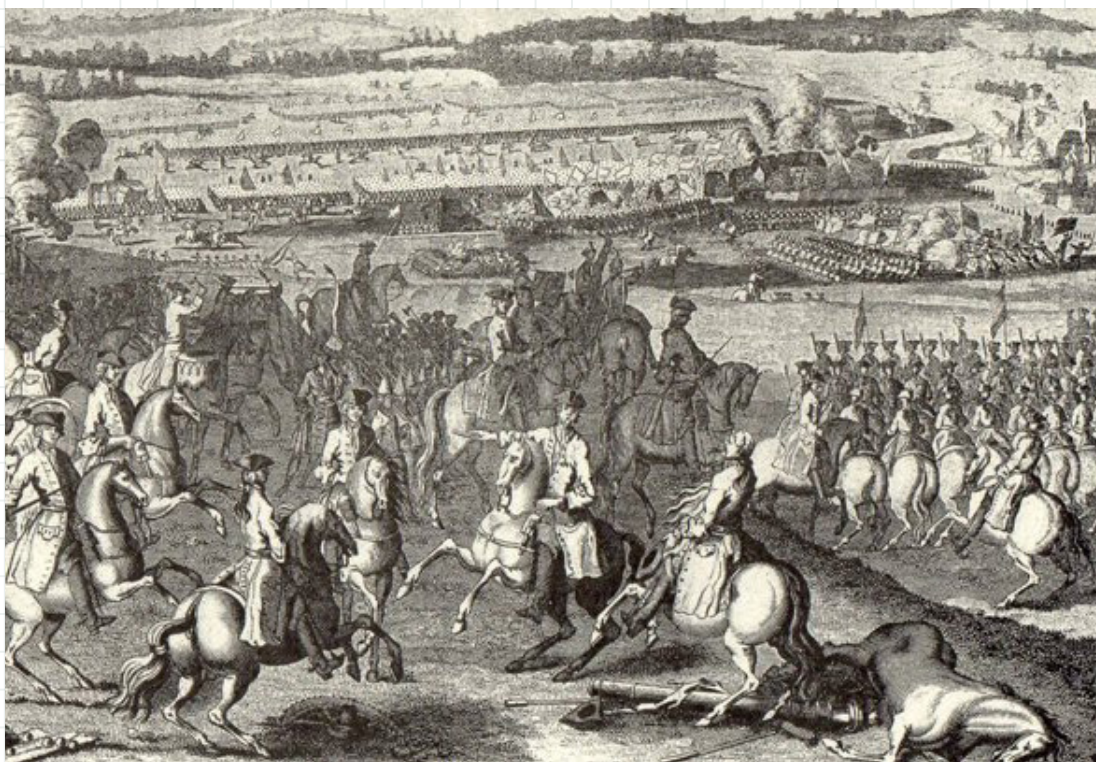


fig.3 Disegno dell'epoca raffigurante la Battaglia di Chiari

Nel 1713 si apre a Chiari l'ospedale Mellini e nel 1762, con i suoi tredici filatoi di seta, la cittadina divenne uno dei più importanti poli dell'industria serica bresciana.

Il Settecento è stato un periodo vivace anche sotto il profilo culturale, ravvivato dalla presenza di figure religiose lungimiranti che hanno rifondato il sistema scolastico pubblico, quello della cultura, dell'arte e del sistema dei luoghi del culto. Con l'era giacobina e la fine della Serenissima, la vita civile a Chiari è tornata instabile e segnata da profondi contrasti. Dopo essere stata il centro di uno dei quattro distretti del Mella e dopo essere stata annoverata da Napoleone come una delle quaranta città della Repubblica Italiana, nel 1815 Chiari è rientrata definitivamente sotto l'amministrazione austro-ungarica.

Nel 1836 parte della Rocca malatestiana viene trasformata in teatro e cinque anni dopo l'amministrazione di Ferdinando I riconosce il locale ginnasio, mentre nel 1854 l'avvocato Pietro Repossi dota la scuola di disegno per giovani operai (fig.4), da lui fondata quattro anni prima, di una pinacoteca che raccoglie numerose opere di valore. (fig. 4a Cortile della Fondazione-4b Pianta piano terra - 4c Vista interna di una delle sale della Pinacoteca Repossi)



fig.4 cortile della fondazione Morcelli-Reposi



fig.5 pianta piano terra fondazione Morcelli-Reposi

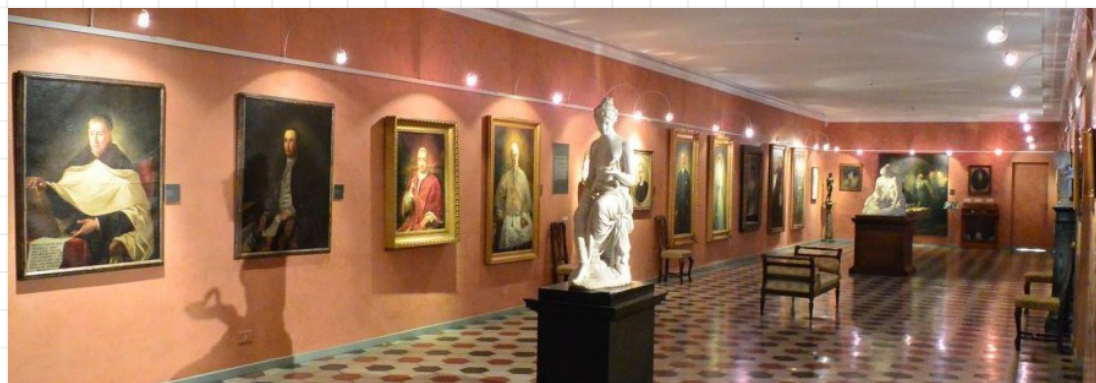


fig.6 pinacoteca Repossi, Galleria dei Ritratti

Il 5 ottobre 1862 Vittorio Emanuele II restituisce a Chiari il titolo di città, mentre, si inasprisce lo scontro sociale e si moltiplicano le lotte operaie e contadine, i cattolici clarensi si rendono protagonisti di importanti opere di solidarietà sociale: dalla società operaia all'opera delle cucine economiche, dalle leghe di difesa degli interessi operai alle cooperative di produzione e consumo.

## 6.1.2 L'evoluzione urbana

Le indagini archeologiche svolte tra il 2007 e il 2009 sul lato nord della piazza hanno restituito uno spaccato delle prime fasi dell'abitato tra VII e XI secolo e del suo sviluppo fino al XV secolo.



Si tratta di un minuscolo nucleo insediativo racchiuso da un doppio fossato (fig.7) ad andamento curvilineo che doveva comprendere uno spazio grosso modo circolare di circa 70 m di diametro, occupato nella porzione settentrionale da un gruppo di sepolture a file parallele scavate in nuda terra. Oggi nella porzione sud-occidentale della piazza un doppio allineamento di ciottoli ad andamento curvilineo presente nella pavimentazione a lastre calcaree è il segno di questa memoria.

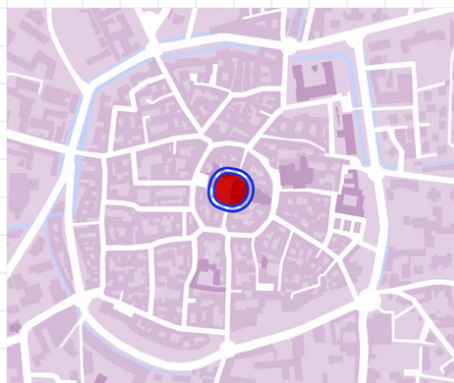


fig.7 Nucleo insediativo racchiuso da doppio fossato ad andamento curvilineo (VII secolo) (Irene Paderno)

Tra IX e fine X secolo, l'abitato si estende (fig. 8) e acquista l'aspetto di un villaggio fortificato, sovrapponendosi all'area cimiteriale ed espandendosi oltre il doppio fossato precedente, che venne colmato con ciottoli e terra. Più all'esterno fu scavato, a protezione del villaggio, un nuovo fossato sempre ad andamento circolare, associato ad una palificata lignea di difesa che doveva comprendere un'area più che doppia rispetto alla precedente. Tracce di questo fossato si sono rinvenute infatti sotto il quadriportico e in corrispondenza del cortile d'aria delle ex carceri, oggi Museo della Città.

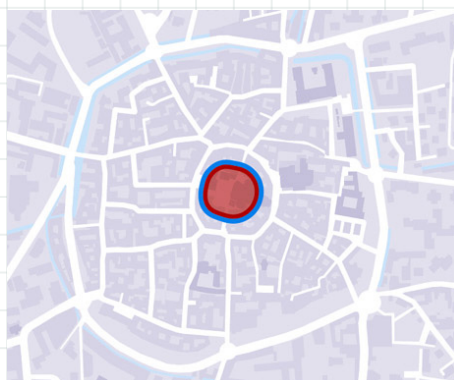


fig.8 Villaggio difeso da palificata lignea (IX-X secolo) (Irene Paderno)

Intorno al XII secolo si registra un deciso stacco rispetto ai caratteri dell'insediamento precedente: il villaggio lascia il posto ad un castello in muratura (il castro Clare citato nel primo documento scritto che nomina la città, datato al 1125-1130). Fra XII e XIII secolo, infatti, la costruzione di un robusto muro di cinta (un tratto del quale dello spessore di circa 1,30 m è stato rinvenuto in piazza delle Erbe) sostituisce la palificata precedente e amplia, anche se di poco, l'area fortificata, che continua a mantenere una forma circolare, protetta ora da una massiccia muratura difensiva e da un nuovo fossato (fig.9).



fig.9 Castello con fortificazione in muratura (XII-XIII secolo) (Irene Paderno)

L'espansione dell'abitato al di fuori del limite del castello vede agli inizi del XIII secolo la costruzione della chiesa di Santa Maria Maggiore come polo di attrazione che andò aggregando attorno a sé, in progresso di tempo, l'insediamento esterno alle mura, sviluppatosi poi nel corso del XIV secolo lungo le direttrici viarie che si diramano a raggiera dal centro della piazza. Uno sviluppo insediativo che, dopo la colmatatura del fossato del castello, trasformato in strada, culminerà nella costruzione da parte dei Visconti di un'ulteriore e ben più vasta cerchia difensiva di tipo urbano con la rocca militare posta nella porzione nord-orientale (fig.10). Di questa ultima tappa di questo lungo processo evolutivo rimane traccia nell'at-

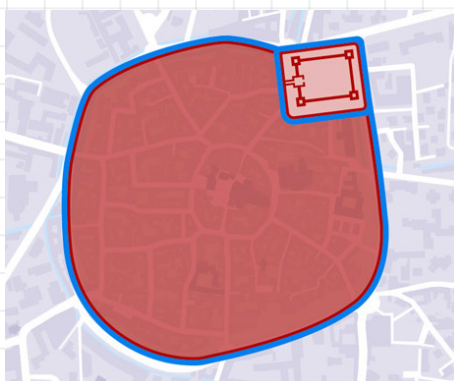


fig.10 Città murata viscontea con Rocca (fine XIV secolo) (Irene Paderno)

tuale circonvallazione interna delle vie XXVI Aprile e De Gasperi che coincidono con il limite di controscarpa del fossato delle mura. Questi, infatti, non sono altro che l'antico fossato delle mura della città, alimentato un tempo dalle acque che ancor oggi scorrono nella Roggia Castrina e nella Seriola Vetra, visibili a tratti a lato dei viali, riempito nella prima metà dell'800 quando venne abbattuta intenzionalmente la cinta difensiva divenuta ormai inutile. Stessa sorte toccò alla Rocca costruita dai Visconti e ristrutturata dal Malatesta agli inizi del 1400, completamente rasa al suolo nel 1835, della quale tuttavia rimane ancora leggibile l'ingombro quadrangolare con torrioni angolari nel possente corpo di fabbrica che oggi occupa la porzione settentrionale di piazza Martiri della Libertà un tempo chiamata piazza Rocca (fig.11). In corrispondenza del lato settentrionale del possente manufatto militare non riedificato, dove ancora scorre un tratto della Roggia Castrina, venne costruita nel 1907 – come testimonia la data scritta in numeri romani – con fattezze di baluardo difensivo, la torre dell'acquedotto che, seppur non rispecchi in alcun modo la morfologia e l'aspetto dell'antica rocca, tuttavia ha la funzione di evocare nella memoria di chi la osserva scenari bellicosi in sintonia con le battaglie e gli scontri di cui questo luogo, con la Rocca fu teatro e protagonista per secoli.



fig.11 Tratto della Roggia Castrina e torre dell'acquedotto

Nonostante l'abbattimento delle mura, l'abitato di Chiari conservò la caratteristica forma circolare sostanzialmente fino al dopoguerra. Le manifatture, le filande, i mulini che già a partire dal 1600 si andarono sviluppando, moltiplicandosi poi nei due secoli successivi, all'esterno del centro urbano, non ne compromisero la forma urbana circolare, in quanto si disposero a grappolo lungo la circonferenza della città. Le uniche note discordanti furono la linea retta della ferrovia costruita a nord della città nel 1874 e le ville liberty che iniziarono a sorgere a inizi '900 nello spazio compreso tra la ferrovia e viale Mazzini, la direttrice che conduce a Brescia (fig.12).

La trasformazione più consistente dell'abitato si ebbe solo a partire da-



fig.12 Via Roccafranca, strada romana in corso di scavo (Soprintendenza Archeologia, Belle Arti, Paesaggio di Brescia e Bergamo)

gli anni '50 del secolo scorso, quando il boom economico portò con sé la costruzione dei primi condomini, delle palazzine e infine delle ville a schiera che, uniformandosi al reticolo ortogonale della viabilità circostante, ereditato dalla centuriazione romana, introducono nella forma urbana di Chiari l'impianto a scacchiera. Tracce dell'impianto centuriato romano sono peraltro evidenti nel territorio a sud di Chiari, dove, in via Roccafranca, che ne è un cardine insieme a via Tagliata e via S. Genesio, si sono rinvenuti, durante i recenti lavori per la realizzazione dell'autostrada BreBeMi, i resti di strutture di epoca romana che tuttavia furono abbandonate in età tardoantica e non diedero vita a continuità di insediamento.

### 6.1.3 Le quadre di Chiari

L'organizzazione territoriale basata sulle quadre è un fenomeno ricorrente nel periodo medioevale, così come i "sestieri" a Venezia, "le parrocchie, porte e pusterle" a Milano, i "terzieri" altrove.

La Quadra è la quarta parte del "castrum", della fortezza di origine romana, ottenuta dall'intersecarsi delle due strade dell'agglomerato urbano, e costituisce un'unità associativa, talvolta caratterizzata da personalità giuridica autonoma. A Chiari esse formano un'entità economica, con un patrimonio proprio, con uno sforzo costante nell'impedire, sul proprio terreno, le infiltrazioni forestiere, persino con un'amministrazione chiusa dell'assistenza e del culto. Sono anche una realtà politica, in quanto concorrono direttamente alla formazione del principale organo amministrativo clarense: il Consiglio dei XL, composto da quaranta membri, dieci per ogni Quadra, identificando con le Quadre stesse e riportandone al suo interno gli interessi particolari ed i conflitti. Questo sistema economico-politico, sorto a Chiari ai primi del 1400, entra in crisi nel 1600 con l'arrivo delle prime filande, un travaso di tecnologia industriale in un ambiente rigorosamente e tradizionalmente agricolo. Sulla fine del '700 le Quadre si sfilacciano e spartiscono i propri beni; il consiglio dei XL si riunisce per l'ultima volta il 26 maggio 1800. Cortesano, Malarengo, Vilatico e Zevetho sono, nella forma originale, i nomi delle quattro Quadre di Chiari. Negli atti di due vicinìe (assemblee) dell'ottobre del 1289 non si trovano tracce delle Quadre. Del periodo successivo non abbiamo documentazione, ma si può supporre che nel XIV secolo Chiari sia già strutturata in quattro Quadre. Inizialmente la Quadra è solo una porzione del territorio cittadino e rurale, che si è andato urbanizzando attorno alle quattro porte di Chiari. Le Quadre diventano poi "elemento di aggregazione sociale ed espressione di interessi comuni" (G. Vavassori).

Dal XV secolo in poi le Quadre si trasformano in un organismo di difesa degli interessi eminentemente economici dei clarensi originari che, forse allarmati da un crescente fenomeno immigratorio, danno alle Quadre ferree regole economiche e politiche nel tentativo di impedire passaggi di proprietà ai forestieri. Nasce così il patrimonio di Quadra e il comune di Chiari verrà gestito fino al XVIII secolo solo dai rappresentanti delle Quadre. Le stesse chiese suburbane e rurali vengono coinvolte da questa logica di chiusura verso l'esterno. A questo proposito basta ricordare che il 6 marzo 1679 gli originari scrivono una lettera al vicario generale della diocesi di Brescia per impedire ai forestieri di occupare il loro posto in chiesa. Presso le chiese suburbane dei SS. Filippo e Giacomo per Cortezzano, della SS. Trinità per Marengo, di s. Rocco per Villatico e di s. Gervasio per Zeveto si svolgono le vicinìe degli affiliati alla Quadra, nelle quali vengono discussi e approvati i bilanci annuali, avvengono le elezioni degli amministratori (due o tre sindaci, il cancelliere, l'esattore) e vengono messi all'asta i terreni di proprietà della quadra. La forma urbana (radio centrica) venuta a determinarsi storicamente, costituisce non solo carattere identificativo rimasto particolarmente leggibile per l'abitato, ma soprattutto matrice insediativa del territorio e della parcellizzazione agraria del contado. Assume valore fondamentale la trama viaria radiale nel rafforzare lo stretto rapporto fra città e campagna.

## Inquadramento territoriale 6.2

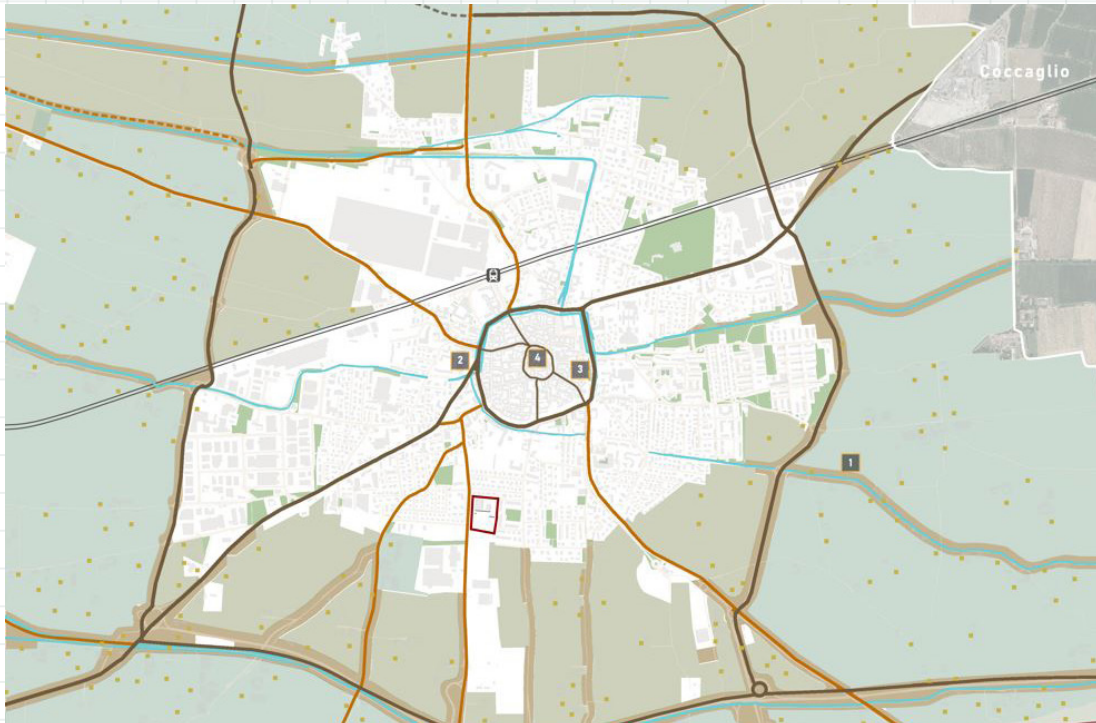


fig.13 tavola inquadramento urbanistico

Già da una frettolosa analisi si evince come Chiari sia caratterizzata da due anime distinte: una prettamente rurale e una cittadina. Come si evince dalla tavola (fig.13), la prima emerge per quantità di territorio comunale occupato, sia all'interno che all'esterno della cerchia delimitata dalle principali infrastrutture esistenti. La forte connotazione agricola di queste zone è resa evidente, oltre che dalla scansione dei campi per le coltivazioni, dalla massiccia presenza di cascine, sia a stecca sia "alla Lombarda", caratterizzate dalla tipica corte interna (fig. 14). La seconda anima è quella urbana (fig. 15): essendo un borgo medievale il centro storico è caratterizzato da una fitta maglia edilizia che si espande allontanandosi da esso. Percorrendo infatti una delle raggere che connettono il nucleo storico alla cerchia delle infrastrutture a livello regionale si assiste a questo cambio di paesaggio e di densità urbana che non sempre avviene in modo graduale ma che di certo è un aspetto peculiare di questa cittadina. A render ancor più unico questo paesaggio la presenza delle rogge, piccoli corsi d'acqua che attraver-



fig 14 l'"anima rurale" di Chiari-vista delle campagne con cascine e rogge



fig 15 l'"anima urbana" di Chiari-il centro urbano

sano l'intero territorio comunale. La zona urbanizzata non è di certo immune alla loro presenza, motivo per cui è facile trovare in pieno centro storici caseggiati in cui l'accesso è permesso da piccoli ponti pedonali o il restringimento di alcuni tratti stradali, per permettere il passaggio di tali corsi d'acqua. A differenza di quanto succede nel nucleo urbano, nelle zone agricole tali corsi d'acqua assumono la forma di canali, in quanto utilizzati fino al secolo scorso per l'irrigazione dei campi.

## 6.3 Sistema delle infrastrutture e viabilità a scala urbana

Chiari gode di un buon sistema infrastrutturale, sia internamente che a livello intercomunale. Come si evince dalla tavola, i tracciati stradali sia principali che secondari sono disposti a raggiera, diramandosi dalla cerchia interna della città verso gli estremi del paese garantendo una connessione omogenea della cittadina. A livello regionale si evidenzia la presenza della BreBeMi, collocata sud del territorio comunale, ovvero l'importante sistema di comunicazione nata per collegare Brescia Bergamo e Milano. La presenza a Chiari del casello per l'accesso a questo tracciato ad alta velocità le permette di essere facilmente raggiungibile dalle principali città lombarde. A fronte di quanto appena detto, è comprensibile come le infrastrutture previste dallo strumento di pianificazione territoriale consistano in interventi di solo completamento, collocati principalmente nella parte nord del paese. A contaminare solo parzialmente questo assetto stradale ben organizzato la ferrovia, che a causa della sua posizione, costituisce una cesoia per il territorio e inevitabilmente svantaggia la zona a nord rispetto a quella a sud, dove si concentra la maggior parte del tessuto urbano e che, come già accennato, ha portato allo sviluppo della città prevalentemente lungo l'asse est-ovest.

La cittadina è servita altresì da un buon sistema di trasporto pubblico e una buona disponibilità a livello di parcheggi, anch'essi pressoché omogenei nella loro distribuzione.

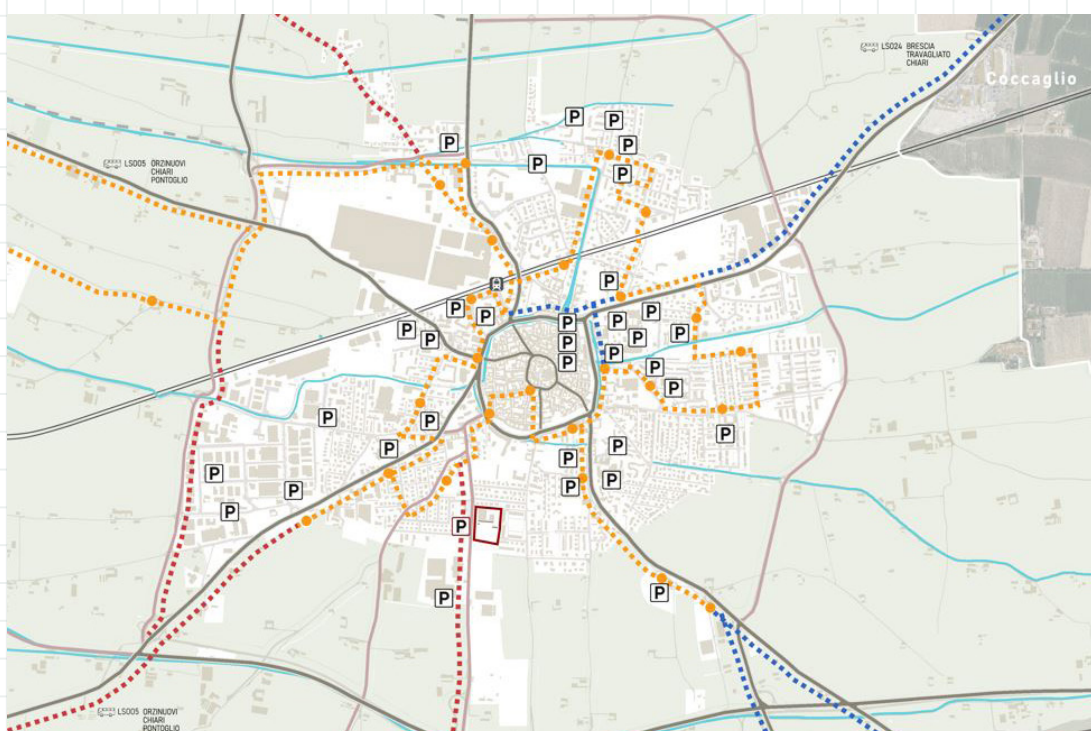


fig.16 della viabilità a scala urbana

## Sistema insediativo 6.4

A livello insediativo Chiari si presenta come un centro urbano consolidato, costituito da nuclei di antica formazione localizzati prevalentemente nel centro storico e un tessuto di accrescimento radiale sviluppato lungo le principali direttrici urbane. Dalla tavola (fig.17) si evince infatti come una porzione rilevante del territorio comunale sia occupato da zone agricole, sia di tipo produttivo, sia di controllo dello sviluppo urbanistico. Queste ultime sono state adottate come strategia per evitare ulteriori fenomeni di espansione aggressiva del tessuto urbanizzato come quelle avvenute nel periodo post-bellico, salvaguardando il più possibile della superficie a verde. Un'ulteriore strategia di tutela deducibile dalla tavola sono gli ambiti alberati con funzione di risarcimento ambientale che creano una cinta agricola attorno al tessuto urbano edificato. La variabilità paesaggistica che si ritrova una volta lasciato alle spalle il compatto centro storico è quindi quella data dalle texture delle diverse colture presenti (seminativi, prati, ...): qui la componente naturale ha la meglio su quella antropica, motivo per cui l'edificato è estensivo, caratterizzato dalle sopraccitate cascine di supporto all'attività agricola.

Si evidenzia infine la presenza di svariate aree industriali, diffuse principalmente nella parte occidentale del territorio. Quella di maggiore estensione si localizza a nord della stazione ferroviaria, che purtroppo contribuisce ad una percezione negativa di questa porzione di paese, già isolata a causa del tracciato ferroviario.

Per quanto riguarda l'oggetto degli interventi previsti dalla nostra tesi, la sopraccitata scuola Toscanini è inserita in un ambito residenziale ad alta densità, collocato nella zona più a sud della città. La posizione risulta essere strategica, in quanto il lotto di riferimento partecipa ancora alle logiche e alla rete di servizi del tessuto urbano, ma si affaccia direttamente sulla zona agricola,

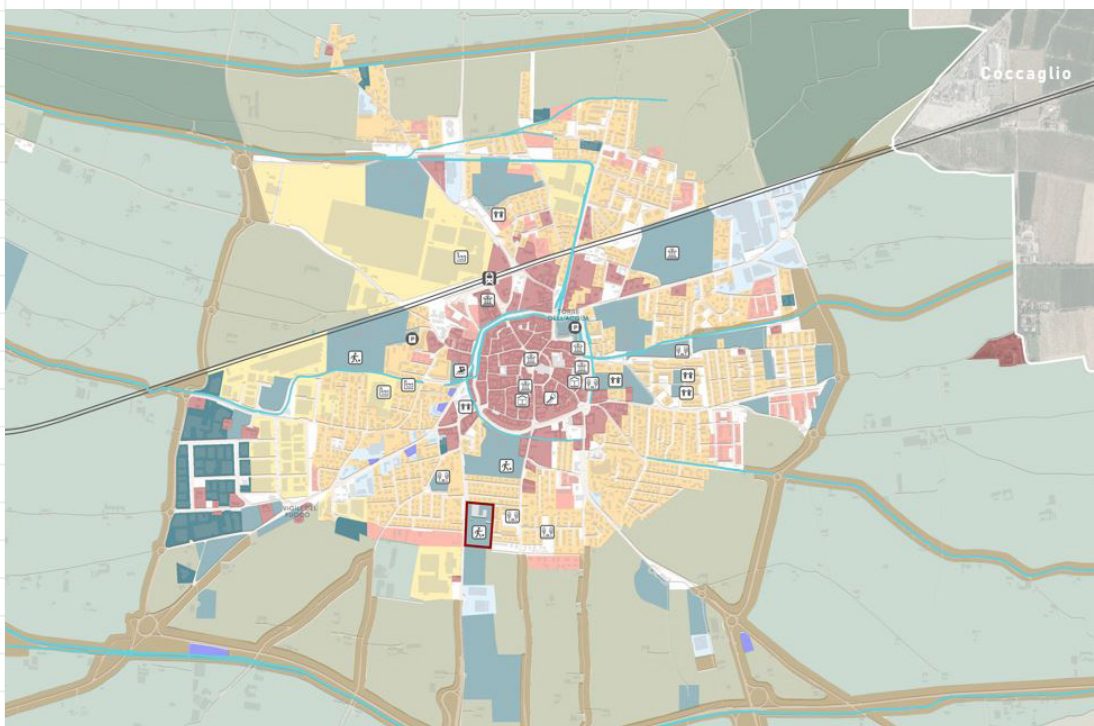


fig.17 tavola del sistema insediativo

## 6.5 Sistema del verde e della mobilità dolce

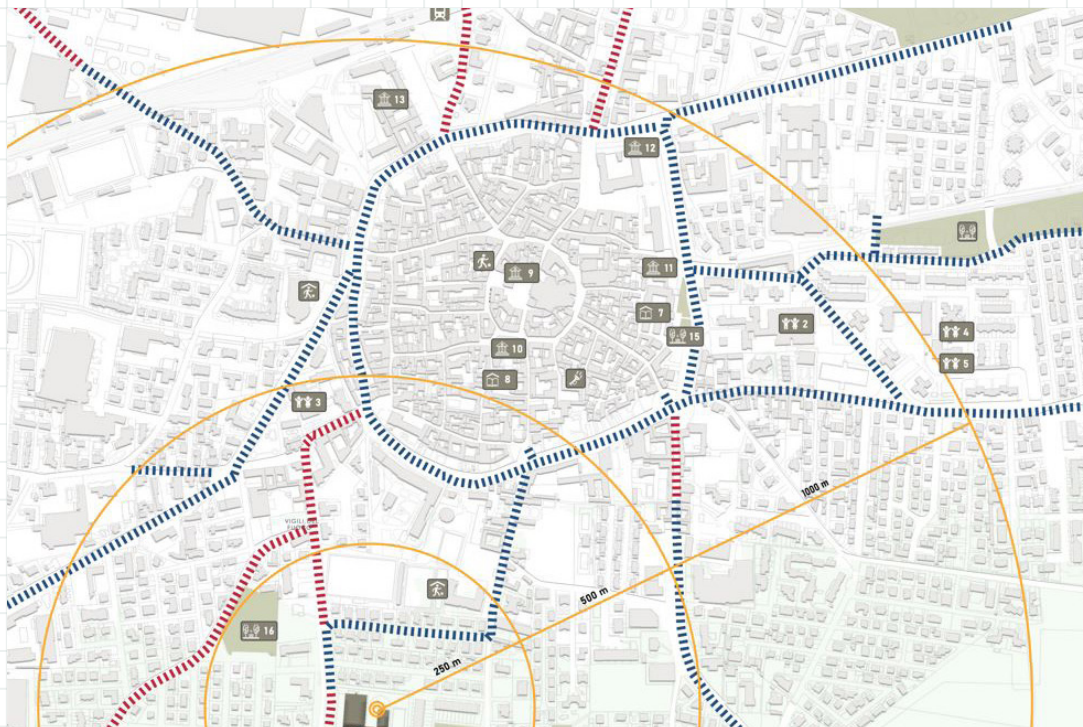


fig.18 tavola del sistema del verde e della mobilità dolce

Chiari, collocandosi in un territorio perlopiù pianeggiante, si configura come una cittadina facilmente attraversabile a piedi, ma che presenta ad oggi una rete ciclo-pedonale frammentata (fig. 18,19), motivo per cui non sempre gli spostamenti possono avvenire in sicurezza. Il PGT prevede infatti un intervento di completamento di tali percorsi, che possa completare tale rete e rendere agevoli e sicuri gli spostamenti pedonali. Anche il lotto di progetto ricade negli ambiti che verranno serviti dai nuovi tracciati ciclo-pedonali, il che favorirà di certo la mobilità dolce degli studenti nel tragitto casa-scuola.

La maggior parte dei servizi di tipo culturale si trova all'interno della cerchia del centro storico, quali il museo cittadino, la pinacoteca Ripossi e il salone marchettiano, nonché una delle due biblioteche. Anche il mercato cittadino si tiene ad oggi nel cuore del paese, proprio nella piazza del teatro.

Per quanto concerne i servizi sportivi troviamo una distribuzione più omogenea, e un posizionamento nella parte centrale/meridionale della cittadina, punto a nostro favore in quanto facilmente raggiungibili dalla scuola Toscanini. Quest'ultima è anche ben servita a livello di spazi verdi: come si evince dalla tavola, il lotto di progetto è circondato di spazi verdi, e nei suoi pressi si trovano anche svariati servizi sportivi all'aperto. La densità del centro storico lascia poco spazio al verde urbano, ma non mancano piccoli spazi verdi al di fuori delle mura, e il grande parco della villa Mazzotti a nord del paese.



fig.19,20 viste dei percorsi ciclo-pedonali sicuri

## Analisi climatiche 6.6

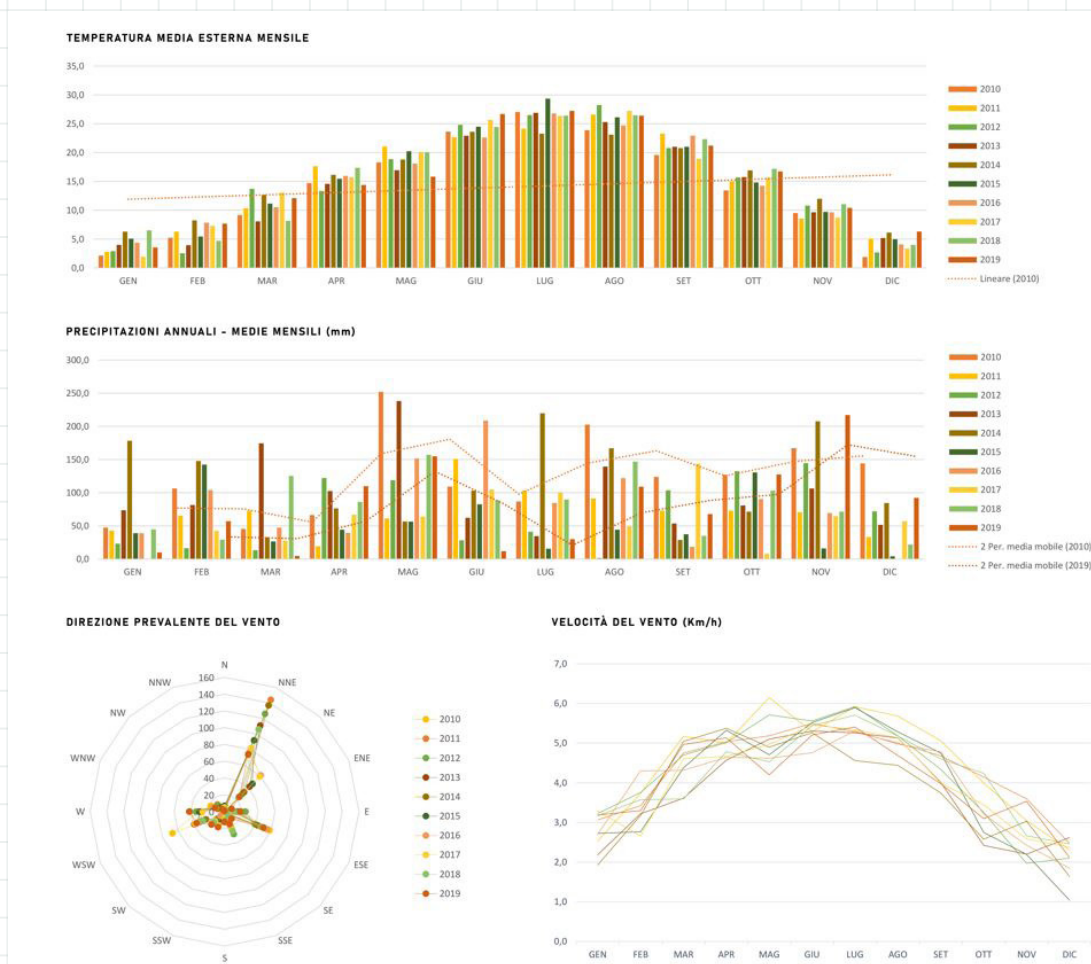


fig.21 tavola delle analisi climatiche - dati relativi a precipitazioni, direzione e velocità del vento

Secondo la classificazione dei climi di Köppen, la provincia di Brescia gode del clima tipicamente temperato delle medie latitudini (Cfa): generalmente piovoso ed umido in tutte le stagioni, con estati molto calde ed inverni rigidi, con sporadiche giornate di gelo. La varietà orografica e la vastità territoriale della zona interessata da questo tipo di clima comportano la presenza di piccole differenze climatiche a seconda della zona territoriale considerata. Solitamente si distinguono le macroaree della Bassa Bresciana (di cui fa parte Chiari), l'area cittadina di Brescia, la zona del lago di Garda e le tre valli principali (Val Sabbia, Val Trompia, Val Camonica). Come accennato il fattore caratterizzante della zona è l'umidità relativa che mediamente si aggira sul 75,1% nel corso dell'anno, registrando il valore massimo in inverno con 82,3%, rispetto ad un più modesto, ma comunque elevato, 69,3% nel periodo estivo. L'elevata presenza di umidità nell'aria produce durante i mesi invernali ed autunnali estesi banchi di nebbia, che caratterizzano l'intera zona della pianura Padana per gran parte del periodo più freddo. Per comprendere questi fenomeni è bene chiarire come, a causa del processo di cambiamento climatico in corso, alla crescente siccità e all'effetto isola di calore la temperatura media annuale di Chiari è passata da 14,0° nel 2010 a 15,7° nel 2019, con un innalzamento di circa 2 °C. La siccità è un fenomeno percepito a livello nazionale, colpendo gran parte del territorio e causando in molte regioni gravi problemi



di gestione delle risorse idriche. A Chiari in particolare si è registrato una perdita netta del 33% delle precipitazioni, passando da 123,4mm nel 2010 a soli 82,7mm di pioggia nel 2019. Le motivazioni di tale riduzione sono riconducibili al cambiamento delle stagioni piovose e l'innalzamento della temperatura, che non consente un ciclo completo di evaporazione e di precipitazione.

Analizzando i dati riportati nelle tavole si nota come a Chiari la direzione prevalente dei venti sia quella Nord-Est, dettata dalla presenza dei laghi in quella direzione. Il confronto dei dati ottenuti dal monitoraggio dei venti nell'ultimo decennio registra emerge un andamento pressoché costante della velocità dei venti negli anni: questa subisce invece un notevole variazione tra stagioni, con un aumento nei periodi primaverili ed estivi, e un rallentamento imponente nella stagione autunnale e invernale.

Un'ultima considerazione è da farsi sulla qualità dell'aria: Il 40,2% delle Pm10 che si registrano a Chiari sono riconducibili ai processi produttivi, il 21,4% alla combustione industriale, il 17,4% alla combustione non industriale, il 17% al traffico.

A fronte delle considerazioni sopra esposte, al fine di evitare l'irreversibilità dei cambiamenti climatici citati e invertire il senso di marcia, risulta decisivo il contributo di una progettazione consapevole, che prediliga l'impiego di materiali sostenibili, e che ponga come obiettivo la salvaguardia e la valorizzazione del verde urbano.

## 6.7 SWOT

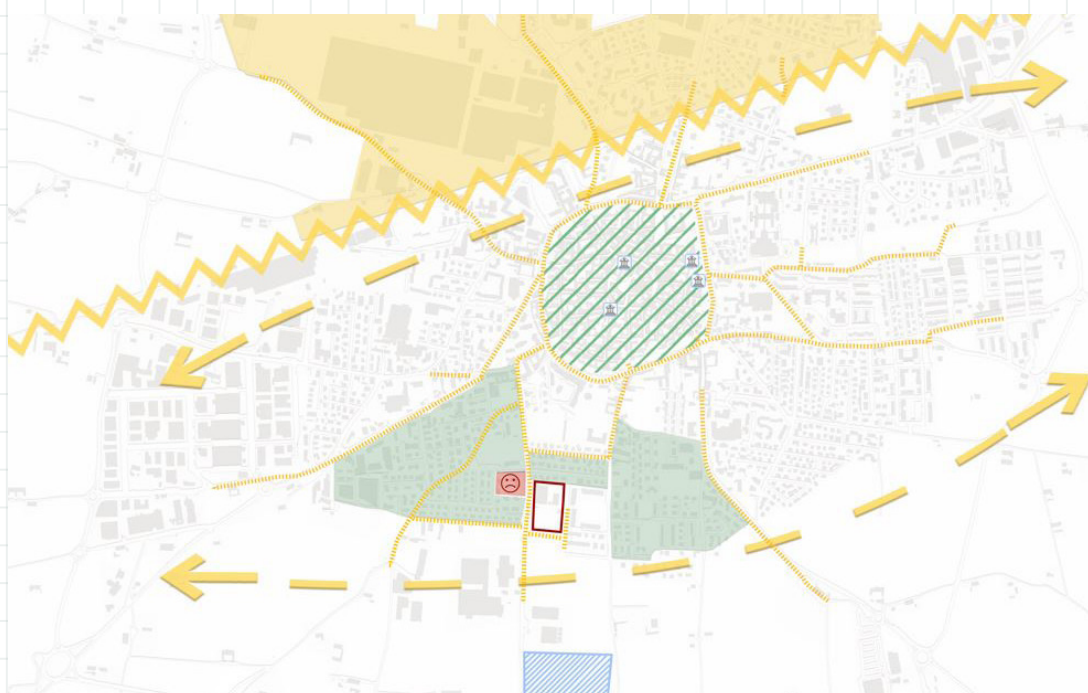


fig.21 tavola della SWOT

A chiusura di questa prima fase di approccio al territorio è stato necessario stabilire quali degli aspetti analizzati fossero identificabili come punti di forza e quali debolezza, nonché individuare opportunità e minacce del territorio su si opererà. Questa fase preliminare è fondamentale non solo per proporre interventi coerenti con la realtà del luogo, ma altresì per allineare gli obiettivi dell'intervento con quelli dello strumento di pianificazione del territorio, sfruttando quindi le possibilità che esso mette a dispo-

sizione: solo così il progetto può risultare fattibile e realistico, poiché in linea con i processi evolutivi proposti del comune.

Analizzando i caratteri fino ad ora riscontrati individuamo come punto di forza il nucleo storico della città (fig. 22), caratterizzato da un elevato valore artistico e testimoniale. Oltre ad essere una preziosa testimonianza del passato, il centro vanta la presenza di svariati beni storico-culturali che contribuiscono a rendere la città un polo attrattivo per la realtà confinanti. Da annoverare in questa categoria l'architettura rurale storica, ovvero le cascine, qui presenti in massiccia quantità e con diverse tipologie morfologiche e di materiali, che regalano a Chiari una forte connotazione pittoresca.

In un'ottica più specifica si evidenzia come il La scuola media A. Toscanini, oggetto del nostro studio, si inserisce in un contesto residenziale ad alta densità non rumoroso, e quindi risulta essere un contesto "protetto", che risulta adeguato quindi alla funzione che ospita. Una debolezza, a questa scala di analisi, è l'affaccio del lotto su via Roccafranca, una delle principali "arterie" che connettono il centro storico, che subisce fenomeni di congestionamento nelle ore di punta, per quale sarà cura del progettista studiare una soluzione adeguata.

Riportandoci a una scala urbana, ciò che si percepisce come debolezza è anzitutto la cesura ferroviaria, che allontana la piccola porzione a nord dalla principale "fetta" di paese a sud. La scissione, creata dalla costruzione della rete ferroviaria nel 1878, unita a interventi comunali nei decenni trascorsi troppo focalizzati sulla porzione di territorio più dinamica, ha portato a una forte marginalizzazione dell'area a nord. Come già accennato in precedenza, queste scelte a livello comunale hanno portato ad uno sviluppo della città pressoché orizzontale, motivo per cui Chiari viene appellata con il nome di "città stretta". Da considerarsi debolezza, allo stato attuale, la frammentazione dei percorsi ciclo-pedonali, nonostante la loro buona distribuzione sul territorio. Infatti, l'interruzione di questa "rete" lascia scoperti alcuni tratti che possono essere percepiti come poco sicuri.

Tra le minacce, è importante evidenziare la presenza di svariate aree produttive dismesse (fig. 24), che non solo deturpano il paesaggio ma contrinuiscono a un'accezione negativa dei quartieri in cui sono



fig 23 centro storico di Chiari- Museo dell' Città



fig 24 area produttiva dismessa, ex NK



fig 25 area di progetto - scuola Toscanini



fig. 26 ex cava Betongmma

collocate. Una di queste è proprio di fronte alla scuola Toscanini, salvo che in questo specifico caso il contesto è residenziale, quindi percepito come sicuro (fig. 25).

Specularmente a quanto appena detto, tra le opportunità si annovera la presenza di aree dismesse che lo strumento di governo del territorio prevede di riqualificare. Tra queste si segnala la Ex Cava Betongmma (fig. 26), poco distante dal lotto della scuola: quest'area avrà un ruolo strategico all'interno del progetto, in quanto verrà utilizzata come ambito di supporto e completamento del progetto.

## 6.8 Analisi demografica

La concentrazione della popolazione sul territorio e, in special modo, il grado di urbanizzazione, influenzano gli stili di vita, l'organizzazione economica, l'accessibilità e la distribuzione di servizi e infrastrutture.

### 6.8.1 La popolazione clarense

Come si può apprendere dal grafico a seguire (fig. 27) che mostra l'andamento demografico della popolazione residente nel comune di Chiari dal 2001 al 2020, il numero di abitanti clarensi ha subito una crescita. Nell'arco del ventennio si registrano due riduzioni della popolazione, una ogni dieci anni (rispettivamente nel 2010 e nel 2020). Si evince da quest'ultimo dato, come l'emergenza sanitaria dovuta al Covid-19 abbia inciso sulle statistiche della popolazione come, in questo caso, sulla natalità.



fig 27 grafici e statistiche su dati ISTAT al 31 dicembre di ogni anno a Chiari

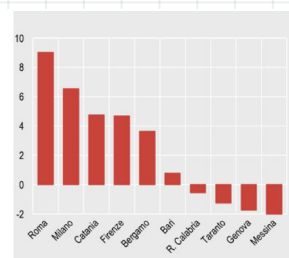


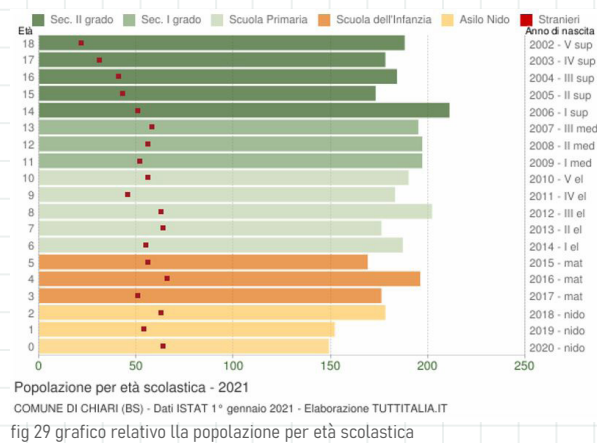
fig 28 grafici e statistiche su dati ISTAT al 31 dicembre di ogni anno- dati nazionali

Confrontando le statistiche demografiche di Chiari con quelle italiane (fig. 28), vediamo che i dati della realtà clarense sono confortanti poiché la popolazione residente in Italia (60,4 milioni a gennaio 2019) è in calo a partire dal 2015, perdendo ogni anno quasi il 2 per mille di residenti. A livello nazionale, considerando i Sistemi locali (SL), le zone a più alta densità abitativa sono concentrate sulla costa del Paese e all'interno dei sistemi delle città metropolitane. In riferimento a queste ultime si segnala l'elevata differenza tra la densità abitativa dei sistemi di Napoli (3.147 ab/km<sup>2</sup>, il livello più elevato in assoluto) e Milano (2.137 ab/km<sup>2</sup>) e quello di Roma (975 ab/km<sup>2</sup>), dovuta principalmente ad una geografia differente che vede all'interno del sistema di Roma una maggiore diffusione di aree rurali. Una minore densità abitativa si riscontra nelle zone montuose (Alpi e Appennini) e in tutta la Sardegna

## 6.8.2 Popolazione scolastica

Per quanto riguarda la popolazione scolastica, i dati della città clarense sembrano seguire i trend generali appena visti. Si registra una netta riduzione delle iscrizioni all'asilo nido negli ultimi due anni, mentre una percentuale ancora bassa di abbandono precoce della scuola dell'obbligo. Un'altra statistica rilevante riguarda la presenza di iscrizioni di studenti stranieri nelle scuole della città. Si tratta di un dato che dagli anni '80 ad oggi è andato progressivamente aumentando, ma che ultimamente ha registrato una tendenza alla stabilizzazione. Si può osservare lo stesso andamento su scala italiana; mentre infatti, nel decennio tra gli anni scolastici 2000/01 e 2009/10, il numero di studenti senza nazionalità italiana è cresciuto del 357% (+526mila persone), nel decennio successivo (tra gli anni scolastici 2009/10 e 2019/20) l'aumento è stato di entità inferiore, attestandosi al 23,4%.

Il seguente grafico mostra la distribuzione della popolazione di Chiari per classi di età da 0 a 18 anni al 1° gennaio 2021. I dati tengono conto dei risultati del Censimento permanente della popolazione. Elaborazioni su dati ISTAT. Il grafico è rappresentativo del potenziale di utenza per l'anno scolastico 2021/2022 le scuole di Chiari, evidenziando con colori diversi i differenti cicli scolastici (asilo nido, scuola dell'infanzia, scuola primaria, scuola secondaria di I e II grado) e gli studenti con cittadinanza straniera.



In base ai dati MIUR, quella degli studenti stranieri nati in Italia è l'unica componente in crescita nella popolazione scolastica italiana. La quota di nati in Italia rispetto al totale degli alunni stranieri è infatti aumentata in maniera considerevole nella scuola secondaria di II grado (+18 punti percentuali tra 2018 e 2019) e di I grado (+12,8 punti). Ma la crescita è stata inferiore per la scuola primaria (+3 punti) e nel caso della scuola dell'infanzia si è addirittura registrato un calo (-3,3 punti percentuali). Va sottolineato altresì che la distribuzione territoriale degli alunni di nazionalità straniera nel nostro paese non è omogenea. La presenza è particolarmente forte in Lombardia, dove risiede il 25,6% degli studenti stranieri, a fronte del 15,4% di quelli italiani. Un alunno su quattro degli alunni con cittadinanza straniera risiede in Lombardia.



# 7

## Analisi dello stato di fatto

---

---

7.1 Edificazione ed evoluzione storica del polo scolastico.....	
7.2 Morfologia del contesto e del lotto.....	
7.3 Gli spazi della scuola Toscanini.....	
7.4 Criticità e stato conservativo degli immobili.....	
7.5 Verifiche normative.....	
7.6 Conclusioni.....	



## Edificazione ed evoluzione storica del polo scolastico 7.1

La scuola Toscanini è stata edificata nel 1980, commissionata dal comune di Chiari per rispondere alla crescente richiesta scolastica post-bellica. Come si è potuto constatare dal confronto con gli altri casi studio, l'impresa veronese Valdadige a cui si deve l'edificazione del plesso, ha realizzato nell'ultimo ventennio del secolo scorso molteplici edifici scolastici replicando un medesimo schema, motivo per cui si possono ritrovare sul territorio nazionale scuole con la medesima morfologia e, di conseguenza, criticità assimilabili. Tra i tratti caratteristici delle scuole Valdadige anzitutto una forma regolare e uno sviluppo longitudinale, ma anche finestre a nastro sui fronti lunghi e facciate continue sui fronti brevi, dove solitamente trovano spazio gli atri.

Da un'analisi dei disegni originali del progetto, il polo è stato concepito con due edifici indipendenti, un corpo aule e un corpo palestra. Il piccolo edificio che oggi collega i due corpi risale infatti ai primi anni del 2000, realizzato per evidenti necessità di connessione dei due edifici. Di più recente costruzione anche il blocco degli spogliatoi fronteggiante la palestra, a differenza della centrale termica con ciminiera di fronte al corpo centrale, che si fa risalire alla prima fase costruttiva (fig.1)



fig. 1 vista aerea dell'area di progetto e identificazione dei vari corpi insistenti sull'area

## Morfologia del contesto e del lotto 7.2

L'ambito di intervento si colloca in zona residenziale a bassa densità abitativa, caratterizzato da nuclei abitativi di ridotta dimensione e altezza, ed è contiguo ad ampi spazi a verde pubblico (parco e sport) e ad aree agricole.

Il plesso si posiziona su un lotto di 3'516 m<sup>2</sup>, con un affaccio a sud completamente aperto che permette una piacevole vista sulla zona agricola meridionale di Chiari. La scuola si affaccia ad ovest sulla via Roccafranca, un'arteria di collegamento del centro storico con la cinghia esterna di infrastrutture che durante le ore di punta subisce fenomeni di congestionamento dovuti all'ingresso e uscita di studenti



e personale scolastico. L'ubicazione del polo scolastico gode pertanto del vantaggio di consentire una agevole accessibilità all'intero comparto seppur a distanza dalle principali, trafficate e rumorose vie di attraversamento della città. (fig 2)

L'accesso al lotto avviene tramite un ingresso pedonale su via Roccafranca (fig.3), posizionato nei pressi della centrale termica. Ad oggi i due corpi sono collegati da una tettoia in ferro, presente sia sul fronte sud che sul fronte nord. La scuola dispone di un campo da basket (fig. 4) ed un campo da calcio destinato anche al gioco del rugby, una pista di atletica da 100 m, e una buona quantità di superficie a prato (8'600 m<sup>2</sup>). (fig 5). Il lotto scolastico risulta arretrato rispetto a via Roccafranca per via di un parcheggio (fig.6): questo però risulta essere un aspetto positivo, in quanto aiuta nella protezione acustica dovuta al traffico stradale. Nel complesso, la localizzazione e le caratteristiche morfologiche del lotto permettono di percepire il plesso come uno spazio protetto, in cui gli studenti possono compiere attività scolastiche ed affini in un ambiente sicuro e stimolante.



fig 2 vista aerea che mostra la distanza tra centro storico e area di progett



fig. 3 vista estern ingresso della scuola



fig 4 campo basket esterno



fig. 5 parcheggio fronteggiante la scuola Toscanini

## 7.3 Gli spazi della scuola Toscanini

Come la maggior parte delle scuole Valdadige, il plesso si articola in due edifici. Il corpo principale ha una forma rettangolare di lati 55.34×33.74m e si sviluppa su due livelli (fig. 6). Il corpo minore, che ospita la palestra, è anch'esso di forma rettangolare ma con lati 34.94×18.14m. Questo edificio presenta al suo interno un volume unico a doppia altezza, eccetto la porzione occupata dagli spogliatoi e servizi, che si sviluppa su due piani (fig.7).



fig. 6 vista esterna del corpo aule



fig. 7 vista esterna del corpo palestra

Gli spazi interni del corpo principale ricalcano l'approccio tradizionale della didattica: la pianta è saturata di ambienti chiusi, affacciati su corridoi che percorrono longitudinalmente l'intero edificio. Infatti, superando l'ingresso a doppia altezza, dove trova spazio la prima scala che connette i piani dell'edificio (fig.8), è necessario percorrere uno dei due corridoi (fig. 9) per raggiungere l'atrio opposto, anch'esso a doppia altezza e dotato di un'ulteriore scala. L'ascensore invece è un elemento indipendente, collocato nel cavedio visualizzabile nella pianta della copertura, ed è facilmente accessibile dall'atrio posto a sud. Il nucleo dell'edificio, inevitabilmente cieco in quanto senza affacci, è occupato da un piccolo teatro a doppia altezza con capienza 100 persone. Questo spazio è dotato di palco, con spazi per la scena e relativi servizi, e di spalti per il pubblico che creano un dislivello di 3,60 m (fig. 10,11).

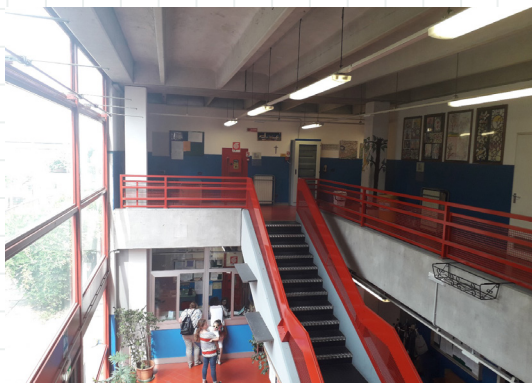


fig. 8 vista interna scuola Toscanini - atrio con scala



fig. 9 vista interna scuola Toscanini - corridoio



fig. 10 vista interna scuola Toscanini - palco del teatro



fig. 11 vista interna scuola Toscanini - spalti del teatro

Sulla copertura, in corrispondenza del teatro, la scuola era originariamente dotata di lucernari, ad oggi oscurati. Il tetto infatti ospita attualmente una UTA per l'impianto di ventilazione meccanica del teatro (fig. 12), e si ipotizza siano stati utilizzati proprio questi lucernari per il posizionamento delle bocchette

per il ricambio dell'aria. Complessivamente, il piano terra ospita 8 aule (fig. 13), il suddetto teatro e gli spazi per il corpo docente, tra cui aula docenti, biblioteca, uffici e segreteria. La mensa, di 152 m<sup>2</sup>, attualmente individuata in uno spazio al piano terra sottratto alle aule, risulta inadeguata e non rispondente agli standard minimi previsti dalla normativa. Il piano superiore, anch'esso organizzato con due corridoi di distribuzione longitudinali, ospita 6 aule e 8 laboratori, ovvero spazi didattici di dimensioni superiori dotati di rispettivi depositi per le attrezzature. La porzione centrale dell'edificio dedicata al teatro risulta essere quasi completamente vetrata, permettendone così la visibilità dal piano superiore.

In antitesi a quanto descritto delle direttive del MIUR per la didattica innovativa, questi spazi didattici sono finalizzati a una didattica prettamente frontale, lasciando poco spazio allo sviluppo delle conoscenze e creatività individuale. Oltre all'insufficiente capacità spaziale dei servizi offerti, nella scuola mancano spazi per la socializzazione e per uno sviluppo informale delle conoscenze. Mancano infine spazi dedicati allo svago e allo studio individuale,



fig. 12 vista esterna scuola Toscanini - la copertura



fig. 13 vista interna scuola Toscanini - aula tipo

Nell'edificio minore, dedicato alla palestra, trovano spazio gli ambienti dedicati al docente, ovvero uno spazio per il personale, un ufficio e dei servizi igienici, mentre, al piano superiore, gli spogliatoi degli studenti divisi per sesso (fig. 14). Non disponendo ne di ascensore ne di montascale, la palestra risulta essere non accessibile a per le persone con scarsa capacità motoria. La palestra ospita un campo da basket e una parete di arrampicata. (fig. 15) L'edificio è posizionato un leggero dislivello rispetto alla porzione di superficie a verde ce la circonda, motivo per cui è necessario scendere alcuni gradini per arrivare al campo sportivo esterno. Il superamento di questo dislivello è garantito anche da una piccola rampa posizionata sul fronte nord dell'edificio. La palestra verrà avviata alla demolizione in quanto non è adeguata alle normative antisismiche (ed adeguabile solo a costo di investimenti non convenienti), antincendio ed igienico-sanitarie, oltre ad essere particolarmente energivora e dispendiosa nei costi di gestione.



fig. 14 vista interna scuola Toscanini - spogliatoio tipo



fig. 15 vista interna scuola Toscanini - campo della palestra

## Criticita' e stato conservativo degli immobili **7.4**

### 7.4.1 Criticità generali

Gli edifici della scuola, come quelli della classificazione, sono stati edificati con un sistema portante a telaio costituito da elementi prefabbricati e assemblati in cantiere, elementi di solaio prefabbricati in c.a.p. e pannelli di tamponamento non portanti, anch'essi prefabbricati in calcestruzzo. Questa tipologia costruttiva, che verrà indagata nel dettaglio nel capitolo inerente il consolidamento strutturale, presenta alcune criticità riscontrabili in tutti gli edifici in cui è stata adottata. (fig. 16) A livello strutturale infatti si evidenzia, come in tutti gli edifici prefabbricati, la mancanza di un vincolo sufficiente tra gli elementi che compongono il telaio strutturale. Essendo realizzate a secco in cantiere, o al più con piccoli getti integrativi, la connessione degli elementi trave e pilastro si può considerare come una cerniera, il che permette un grado di libertà che potrebbe innescare cinematici, principalmente la perdita dell'appoggio. Una seconda criticità è quella legata alla possibile instabilità degli elementi di solaio, anch'essi suscettibili di spostamenti laddove non presente un diaframma rigido che li connetta alla struttura. Un aspetto favorevole degno di nota dello scheletro strutturale arretrato rispetto ai tamponamenti è la riduzione dei ponti termici di facciata, poiché i pannelli non sono interrotti dalle partizioni interne. A livello energetico le prestazioni della scuola sono state indagate dal comune di Chiari con appositi test con termocamere. Come si evince dalle immagini termografiche riportate di seguito (fig. 17,18), l'edificio ha scarse prestazioni a livello di contenimento delle dispersioni. Gli elementi meno performanti, e che quindi causano la fetta più importante delle dispersioni termiche sono i serramenti, specialmen-

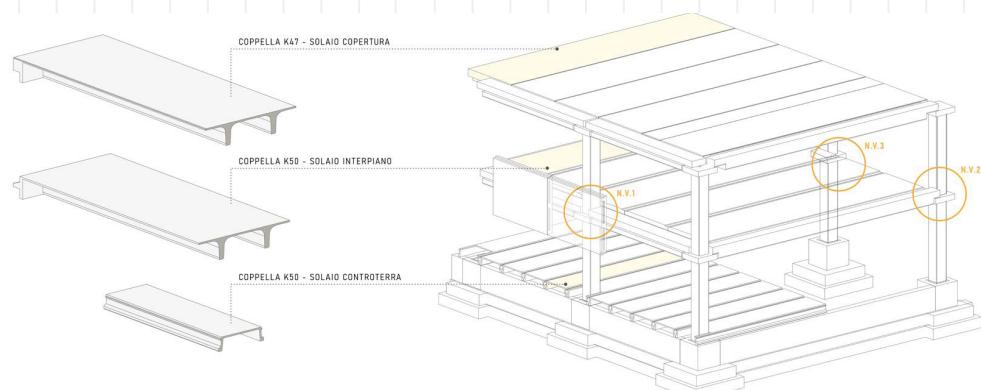


fig. 16 schema strutturale con specifica delle diverse tipologie di solaio presenti

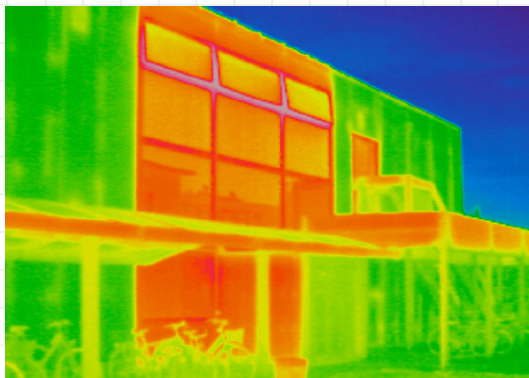


fig. 17 Indagini termografiche sulla facciata sud della scuola Toscanini

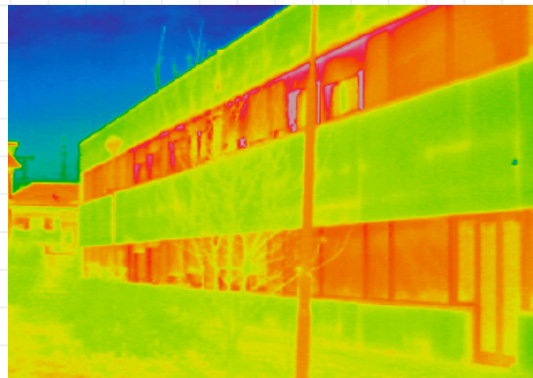


fig. 18 Indagini termografiche sulla facciata ovest della scuola Toscanini

te quelli più grandi in corrispondenza degli ingressi. Ciò è dovuto al fatto che si tratta di serramenti in acciaio probabilmente a vetro singolo e senza taglio termico, e con una mancata risoluzione del ponte termico nei punti di fissaggio alla facciata. Per questo motivo il Comune ha predisposto la totale rimozione degli infissi e sostituzione con serramenti altamente performanti. Si evince poi una scarsa capacità di isolamento termico delle pareti, dovuto al ridotto spessore di isolante presente all'interno del pannello di tamponamento.

Infine l'impianto di riscaldamento a radiatori, oltre ad impedire una distribuzione omogenea del calore negli spazi, contribuisce ad alzare il valore in bolletta, dovendo impiegare acqua ad alta temperatura.

### 7.4.2 Lo stato conservativo degli spazi

Non essendo stato possibile, per motivi dettati dalla pandemia, eseguire un sopralluogo in prima persona, ci affidiamo alla documentazione fotografica pubblicata dal comune di Chiari per una valutazione qualitativa dello stato di conservazione degli spazi, nonché della relativa relazione tecnico-illustrativa di progetto. Il corpo scuola, oggetto del nostro intervento, risulta essere in buono stato: non si evidenzia alcun quadro fessurativo, semmai dei segni dell'usura, dovuti alla vetustà dell'edificio e ad un'insufficiente manutenzione ordinaria. Non si evidenziano segni di cedimento della struttura né dei pannelli di tamponamento di facciata. Ad aver subito maggiormente l'azione del tempo sono gli elementi finestrati, specialmente i davanzali e i telai di acciaio. Anche la palestra, nel complesso, riporta un discreto stato di conservazione: anche in questo caso non si registrano fenomeni di cedimento visibili, e si riscontra una carente manutenzione negli ambienti degli spogliatoi, soprattutto in corrispondenza dei serramenti. La relazione del Comune specifica che gli uffici di presidenza: appaiono in condizioni di trascuratezza, le aule non vengono tinteggiate da diversi anni e molte delle pareti risultano scrostate o segnate in vario modo; l'arredo è, quasi nella totalità vecchio, obsoleto e ormai inadatto alle esigenze della scuola; i laboratori sono poco attrezzati e non esiste la biblioteca per i ragazzi. Lo spazio esterno è solo utilizzabile come passaggio, perché non studiato per accogliere attività scolastiche all'aperto.

## 7.5 Verifiche normative

Una volta note le condizioni attuali degli edifici è possibile eseguire un'indagine a livello normativo per verificare quanto gli spazi attuali siano conformi ad uno svolgimento ottimale della didattica. I parametri che verranno analizzati in questa fase e i rispettivi valori limite prescritti da normativa saranno illustrati nel dettaglio nei capitoli successivi inerenti le fasi di progetto architettonico e tecnologico, per cui si rimanda ad essi per un confronto con i valori di verifica.

### 7.5.1 verifica indici funzionalità

Per eseguire tali verifiche è stata adottata la documentazione originale di progetto reperita, nonché le piante più aggiornate fornite dal Comune di Chiari, realizzate con un recente rilievo.

La normativa di riferimento risulta alquanto datata in termini di superfici minime, in quanto si fa riferimento al DM 18.12.1975. Come già accennato, questa norma prescrittiva è stata superata dall'approccio prestazionale del DM 11.04.2013, ma si fa ancora riferimento al suddetto DM del 1975 per avere parametri

quantitativi in base ai quali valutare dei requisiti minimi.

Si evidenzia come gli spazi didattici rispettino le dimensioni minime per studente in base al grado scolastico, ovvero i valori prescritti per le scuole medie inferiori ( $1,8\text{m}^2/\text{alunno}$ ), a differenza del refettorio che risulta essere inadeguato all'utenza. Per ogni ambiente, infatti, sono stati analizzati la superficie e il relativo numero massimo di persone ammissibili. l'altezza netta interpiano e il rapporto aero-illuminante. Anche la superficie netta dell'intero edificio risulta essere conforme alle richieste da normativa per le scuole medie con 14 aule. Infine si evidenzia come le superficie e il numero di servizi igienici risulta adeguato alla quantità di alunni presupposti, e che le dimensioni degli spazi distributivi siano adeguati alla richiesta minima da normativa.



fig. 19 pianta piano terra scuola con verifica indici di funzionalità

## 7.5.2 Verifiche illuminotecniche

Essendo il rapporto RAI un indice piuttosto generico, si è voluto indagare più nel dettaglio la condizione illuminotecnica degli ambienti interni. Per questa verifica ci si è avvalsi del programma "Dialux" e si è provveduto ad analizzare alcuni spazi a campione, selezionati in modo che potessero rappresentare gli altri ambienti che, all'interno della pianta della scuola, hanno caratteristiche assimilabili. Gli ambienti analizzati sono: due aule, entrambe collocate a piano terra in posizione baricentrica, e con esposizione rispettivamente a ovest e una ad est; due laboratori, collocati al primo piano, anch'essi baricentrici rispetto alla pianta e anch'essi con opposte esposizioni; il refettorio, situato al piano terra, esposto ad ovest. (fig 20,21,22)

Non avendo a disposizione informazioni sufficienti per una identificazione precisa dell'impianto di illuminazione artificiale, la verifica è stata finalizzata ad analizzare esclusivamente le condizioni di illuminazione naturale, più precisamente indagando i valori di illuminamento medio E, il fattore medio di luce diurna e il grado di uniformità della luce naturale.

La fase di modellazione degli spazi, oltre all'inserimento dei parametri geometrici e degli elementi fissi presenti, ha previsto l'assegnazione del coefficiente di riflessione dei materiali: per le pareti, caratterizzate da intonaco chiaro (parzialmente bianco, parzialmente giallo) si assegna convenzionalmente un valore di  $Cr=0,5$ ; ai pavimenti, caratterizzati da piastrelle di diverso colore (in alcuni spazi avorio, in altri spazi rosso scuro), si assegna un  $Cr=0,2$ ; infine per i soffitti costituiti da controsoffitto bianco si adotta

un coefficiente  $Cr=0,7$ .

Le casistiche analizzate sono quelle in corrispondenza delle condizioni migliorative e peggiorative relative alla luce naturale, ovvero 21 giugno e 21 dicembre, analizzate entrambe con cielo coperto in modo da poter evincere il fattore medio di luce diurna.

I risultati delle simulazioni mettono in luce come tutti gli ambienti considerati, avendo quasi tutti la medesima profondità, sono caratterizzati da una simile distribuzione delle luminanze. Si evidenzia un leggero svantaggio per i locali collocati al fronte ad ovest, sia in termini di illuminamento, sia per il valore medio di FLD. Quest'ultimo ha un valore che si aggira sul 2%, che non soddisfa i requisiti del DM 18/12/1975 ma che risulta essere un valore pressoché accettabile. Dai grafici si evince che gli ambienti soffrono di un'insufficiente uniformità dell'illuminazione naturale, imputabile alla disposizione della superficie finestrata solo su un lato, che corrisponde per le aule al lato breve.

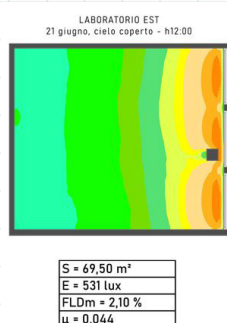


fig. 20 risultati simulazione illuminotecnica laboratorio

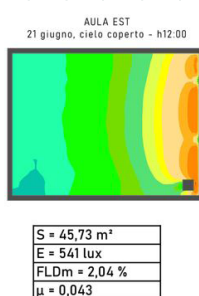


fig. 21 risultati simulazione illuminotecnica aula est

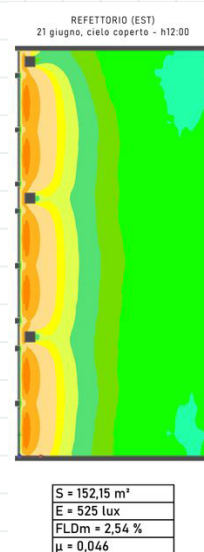


fig. 22 risultati simulazione illuminotecnica refettorio

### 7.5.3 Valutazioni verifiche antincendio

In merito ai requisiti per la sicurezza degli edifici scolastici si fa riferimento alla 26/08/1992.

La scuola dispone di due scale antincendio esterne contrapposte, posizionate sui lati brevi, a cui vi si accede tramite uscite di sicurezza correttamente dimensionate. Le distanze massime interne tra il punto più sfavorito e il primo punto sicuro non eccedono i 60m e anche i percorsi risultano correttamente segnalati, come richiesto da normativa. Dalla documentazione fotografica fornitoci si può notare la presenza di estintori, ma non si ha in questa sede modo di verificare né se il numero sia idoneo, né se la rete idrica sia correttamente dimensionata e se prevede il numero di colonne necessarie a soddisfarne l'erogazione.

### 7.5.4 Valutazioni accessibilità per disabili

In merito ai requisiti di accessibilità da parte di utenti diversamente abili, si fa riferimento DM 14/06/1989, che forniscono istruzioni per l'eliminazione delle barriere architettoniche.

Per quanto riguarda la mobilità, la scuola dispone di passaggi di dimensione superiore a 1,2m, e porta

con luce superiore a 80cm. Per la distribuzione verticale è presente un ascensore con vano di dimensione consone a quanto richiesto, e un pianerottolo di sbarco di profondità adeguata. È inoltre presente, per ogni piano dell'edificio, un numero sufficiente di servizi igienici dimensionati per l'ingresso della carrozzina. Non avendo presente alcun dislivello né interno né esterno, la scuola risulta accessibile in tutte le sue parti.

## Conclusioni 7.6

Nell'ottica di adottare le direttive del MIUR e delle Avanguardie ed avvicinarsi alla tipologia di scuola innovativa il corpo principale, oggetto del nostro intervento di recupero, presenta carenze evidenti allo stato attuale, ma una grande potenzialità attraverso un progetto di ripensamento degli spazi interni. Alcuni aspetti nello specifico favoriscono la riprogettazione, quali la regolarità della maglia strutturale e la localizzazione baricentrica del vano ascensore e dei servizi igienici, ovvero posizioni cieche altrimenti difficilmente sfruttabili, e facilmente raggiungibili da qualsiasi punto dell'edificio.

La presenza dei pannelli di tamponamento in calcestruzzo armato ostacola un ripensamento delle facciate, in quanto rende difficile un ampliamento della superficie finestrata. A questo scopo sarà necessario adottare texture e materiali il più possibile adatti a colmare questa carenza, in modo da massimizzare gli apporti solari e creare un ambiente quanto più possibile confortevole.

La presenza di elementi prefabbricati di solaio impediscono passaggi impiantistici tra i piani dell'edificio: anche in questo caso sarà necessaria un'attività di progettazione adeguata di un controsoffitto che possa allo stesso tempo rispondere a esigenze estetiche e di interazione impiantistica.

A livello impiantistico, il riscaldamento dell'edificio è demandato a un impianto idrico con radiatori, con distribuzione a vista: è auspicabile un ripensamento impiantistico non solo quindi per ovvie questioni di consumi, e di dispendi energetici, ma anche per garantire un grado di confort più elevato, che la disomogeneità del sistema attuale non garantisce.

La missione che ci prefiggiamo è quindi quella di un intervento integrale sull'edificio, che metta al primo posto tanto le tematiche energetiche e di riduzione di costi, quanto la vivibilità degli spazi e la crescita a 360° degli studenti che la vivranno ogni giorno.





# 8

## Il concept

---

---

---

8.1 La vision di progetto: verso una community school.....

8.2 Masterplan di progetto.....



## La vision di progetto: **8.1** verso una community school

Sulla base di quanto detto in merito alla rivoluzione della didattica operata dal MIUR e delle richieste del bando del Comune, l'intento principale del progetto è quello trasformare il polo scolastico esistente in via Roccafranca in un vero e proprio centro civico, dove didattica e relazioni sociali trovano un connubio ancor oggi poco sperimentato nel quadro della didattica italiana. La scuola non sarà più solo uno strumento di trasmissione passiva della conoscenza ma un ambiente flessibile e stimolante che possa favorire molteplici canali di apprendimento e maggiore interazione sociale, anche esternamente alla scuola.

Di seguito verrà illustrato l'iter adottato per definire, a partire da obiettivi primari individuati sulla base della situazione di partenza, le strategie e gli interventi necessari per raggiungerli e che verranno quindi adottati nella fase di progettazione.

### 8.1.1 Obiettivi di progetto

Gli obiettivi di progetto scaturiscono dall'analisi sia delle necessità proprie del territorio, deducibili dallo strumento di governo del territorio, sia dei presupposti sui quali è stato realizzato il progetto proposto dal Comune per questo bando. Per ovvi motivi, la definizione di tali obiettivi ha previsto di considerare altresì le linee guida del MIUR per la scuola innovativa. Sulla base di questi dati abbiamo formulato una nostra analisi critica che fosse propedeutica alla successiva fase di progettazione, che ci ha portato alla stesura dei seguenti obiettivi di progetto:

#### 1. migliorare la connessione del tessuto urbano

A livello urbanistico, ci si pone questo ambizioso obiettivo al fine di ridurre la marginalizzazione della porzione nord della città dovuta allo sviluppo lungo l'asse orizzontale. Le strategie che si adotteranno per centrare questo obiettivo saranno infatti mirate a integrare la zona collocata sopra la linea ferroviaria nelle dinamiche che interessano la porzione a sud, che risulta essere la parte che negli ha assorbito maggiormente gli sforzi a livello comunale e che quindi risulta avvantaggiata.

#### 2. predisposizione di un nuovo polo per le scuole medie

Il secondo obiettivo si allinea con gli obiettivi del piano di governo del territorio: come già accennato, negli ultimi anni il comune di Chiari ha puntato sulla qualità dell'edilizia scolastica, riunendo i vecchi edifici scolastici e realizzando poli scolastici all'avanguardia per ogni grado di istruzione. È stato così sia per il polo delle superiori, posizionato nel nord del paese, riconoscibile dalle forme e colori audaci, sia per il nuovissimo polo delle elementari, in posizione più baricentrica. Quest'ultimo è un vero e proprio gioiello di tecnologia e innovazione, dotato di impianti XX e un apposito laboratorio XX della scienza e della tecnica. L'intervento sul polo delle scuole medie, che riunirà in un solo plesso le ex scuole Morcelli e Toscanini, risulta essere in linea con le direttive degli ultimi anni, e la posizione della preesistente scuola Toscanini ha tutte le carte in regola per diventare una vera e propria community school.

#### 3. riqualificazione del patrimonio edilizio scolastico

Come analizzato nel dettaglio in precedenza, il patrimonio edilizio scolastico italiano risulta essere per lo più vetusto, e molte volte privo altresì dei certificati di agibilità, antincendio, ecc.. Il terzo obiettivo nasce quindi dall'esigenza di sfruttare quanto più possibile l'edilizia esistente, ma colmando le incoerenze e le mancanze che ne impediscono una fruibilità sicura e agevole.

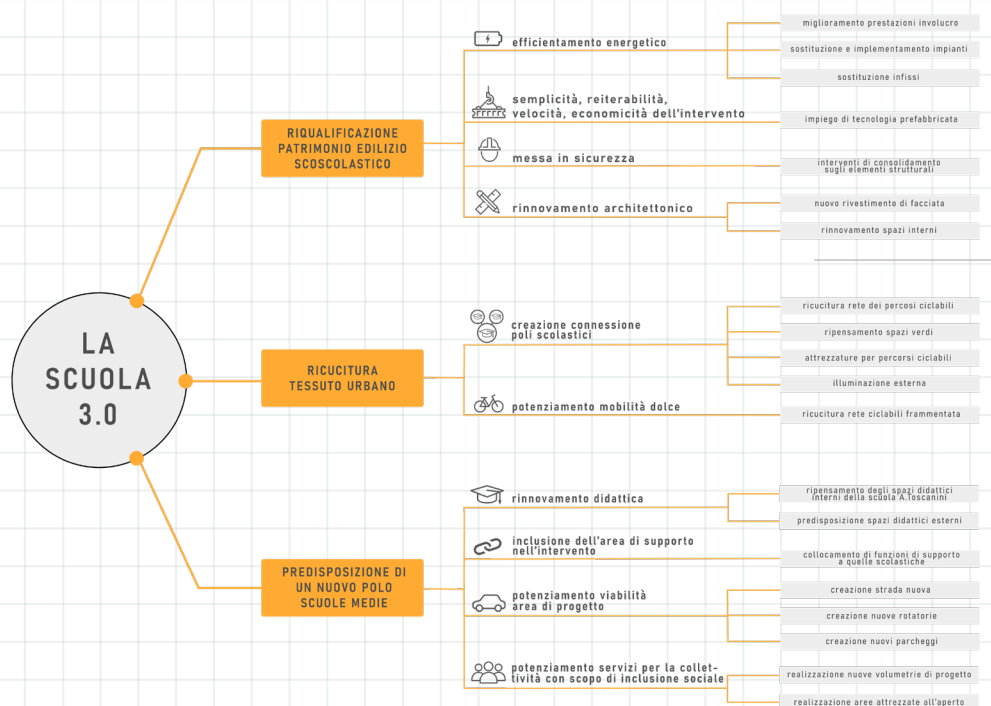


fig. 1 tavola OSA (C.02)

## 8.1.2 Strategie e azioni di progetto

Per la realizzazione del primo obiettivo (migliorare la connessione del tessuto urbano) ci siamo servite di strategie semplici ma di grande impatto sulla vita di tutti i giorni. Anzitutto un potenziamento della mobilità dolce, realizzata mediante interventi di completamento della rete di percorsi ciclo-pedonali esistente. Tali interventi agevolano indirettamente il nostro lotto in quanto una rete dedicata alla mobilità dolce più diffusa permette uno spostamento a piedi di un maggiore flusso, non solo di studenti, ma di potenziali utenti dei servizi che si mira ad inserire in questo nuovo centro civico. Sempre con il fine di connettere il tessuto urbano, si prevede di far “comunicare” i tre poli scolastici con interventi urbanistici specifici e riconoscibili: l'adozione di medesimi impianti di illuminazione esterna nei pressi delle scuole, una pavimentazione specifica, la predisposizione di verde urbano e di attrezzature per i percorsi ciclabili nei pressi del plesso.

Decisamente più complesso è stato definire le strategie e gli interventi che potessero condurci alla predisposizione di un nuovo polo di scuole medie. Anzitutto si ritiene prioritario un rinnovamento della didattica, con interventi di ripensamento degli spazi didattici interni della scuola Toscanini parallelamente alla predisposizione di spazi didattici esterni di supporto, entrambi pensati per massimizzare l'espressione della creatività del singolo studente.

A partire dall'analisi del triangolo dello sviluppo proposto della Avanguardie, si evince come sia necessario integrare il percorso di crescita e apprendimento dello studente con dinamiche e attività che coinvolgano la famiglia e la collettività, offrendo non solo un ampio curriculum scolastico ma anche opportunità formative extra-scolastiche, e integrando tutto ciò con servizi per il sociale. In quest'ottica si inserisce a pieno titolo la tematica dell'integrazione di sociale, vista qui non solo come fattore importante per una crescita dello studente, ma come valore aggiunto che ci poniamo come progettiste, certe che nella diversità ci sia un valore da accogliere, e non una mera caratteristica da catalogare.

Per portare a termine questa mission si prevede la realizzazione di nuove volumetrie di progetto dedi-

cati ai servizi civic center, nonché la realizzazione di aree attrezzate all'aperto. In quest'ottica reputiamo che l'area del lotto in cui è inserita la scuola Toscanini non sia sufficiente, in termini di spazi, per un intervento di così ampio respiro, motivo per cui si è optato per includere un secondo lotto, posto nelle vicinanze dell'area di progetto. L'area in questione altro non è che la Ex cava Betongamma, individuata dal PGT come area di trasformazione urbana e destinata dallo stesso strumento di governo all'inse-diamento di servizi di livello sovracomunale. Si trova anch'essa lungo via Roccafranca, una manciata di metri più a sud del lotto principale di progetto, e ospiterà funzioni di supporto, in modo da completare l'offerta formativa e di esperienze che, con questo civic center, ci impegniamo a fornire ai cittadini di Chiari (e non solo).

Un intervento di questa entità non può prescindere da un ripensamento della viabilità. Per risolvere i problemi di congestionamento di cui si è già parlato, si prevede un'implementazione del sistema viario mediante un nuovo sistema di rotonde e la dotazione di nuove aree di parcheggio.

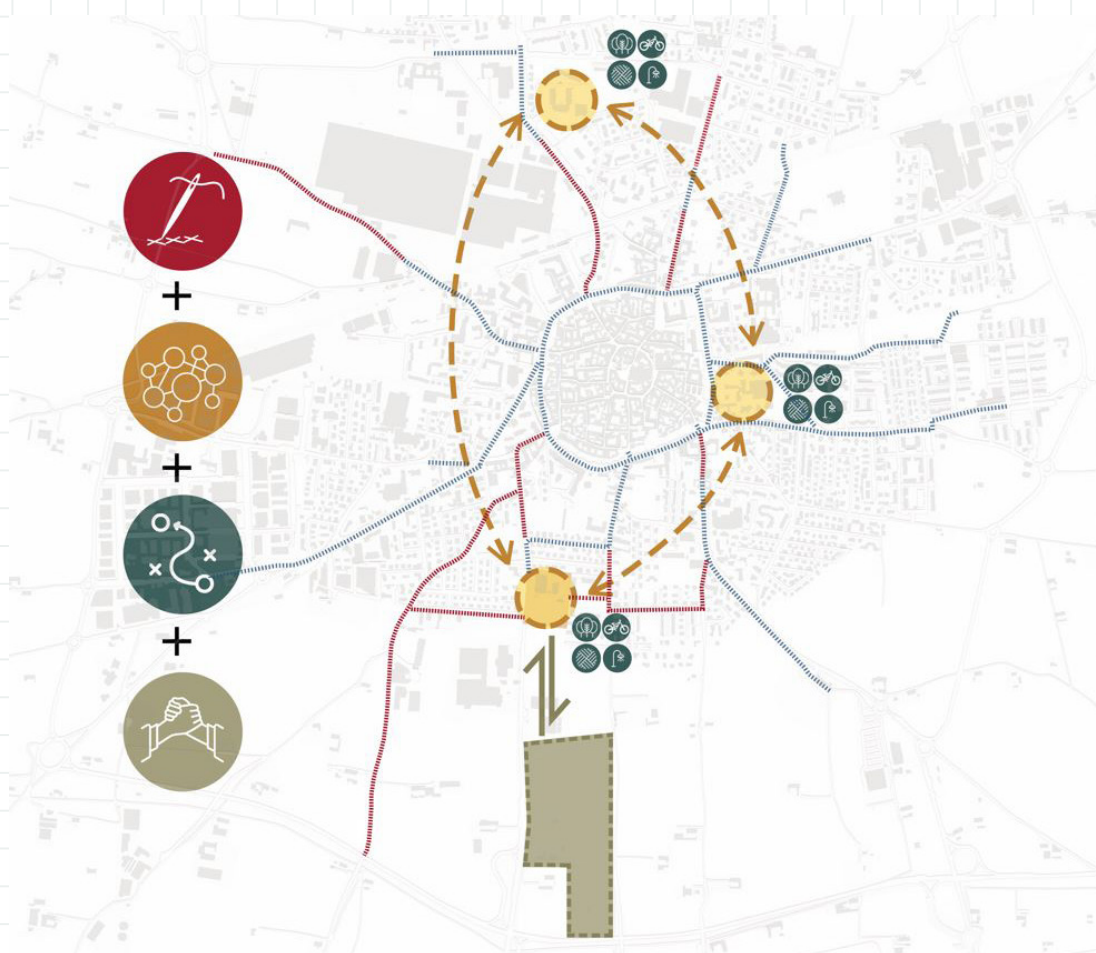


fig. 2 tavola Vision (C.01)

### 8.1.3 Il concept

A guidare le nostre scelte in questa fase, e nelle successive fasi di progettazione di dettaglio, vi è il proverbio africano "ci vuole un villaggio per crescere un bambino": questa assunzione, che richiama l'interdipendenza di studente-famiglia-collettività espresso con il triangolo dello sviluppo, conferisce ancor più valore al binomio scuola-centro civico che miriamo a realizzare.

Data la molteplicità degli intenti prefissati, lo sviluppo del concept ha visto il sovrapporsi di diversi interessi, motivo per cui la risoluzione delle criticità supposte e il raggiungimento degli obiettivi prefissati sono stati adottati interventi mirati, che si possono organizzare in fasi:

#### fase 1

Essendo le due aree di progetto affacciate su un'arteria stradale importante quale è via Roccafranca, si è individuata quest'ultima come fronte principale di progetto. Questo è il canale viario più utilizzato per raggiungere la scuola Toscanini motivo per cui, come già accennato, subisce fenomeni di congestione del traffico negli orari di punta. In risposta a questa problematica si propone un sistema di rotonde, due posizionate all'altezza del lotto principale di progetto, ed una in prossimità dell'area di supporto.

In linea con quanto proposto dal Comune di Chiari, al lotto originario verrà annessa una porzione di terreno posizionata a sud, in continuità con quella attuale, in modo da ampliare gli indici di edificabilità e permettere l'espansione del polo scolastico. Grazie a questa annessione risulta possibile la realizzazione del tratto stradale mancante che connetta in modo agevole i quartieri posti ad est, come naturale prolungamento della via Don Lorenzo Milani.

#### fase 2

Il miglioramento della connessione del tessuto urbano, operato con il completamento della rete di percorsi ciclopedonali non è stato analizzato solo come intervento urbanistico, ma prende parte invece nelle dinamiche del nostro progetto. Abbiamo infatti provveduto a connettere l'area di progetto all'area di supporto attraverso una ciclopedonale, che non solo fungesse da collegamento, ma che potesse valorizzare i diversi focus di progetto. Il percorso infatti lambisce completamente le due aree, dando la possibilità al fruitore di godere della vista dell'intero civic center.

#### fase 3

A supporto di questi interventi di modifica della viabilità si predispongono la realizzazione di nuove aree di parcheggio, collocate in modo strategico su via Roccafranca, in corrispondenza delle due aree. Un ulteriore parcheggio, ma ipogeo, è stato previsto al piano interrato degli edifici di nuova costruzione dell'area a nord, ma questo risulterà destinato al personale scolastico, e del resto del personale impegnato nei servizi del civic center presenti sull'area nord.

#### fase 4

Per favorire l'integrazione del progetto nel contesto di inserimento abbiamo voluto che il quest'ultimo si configurasse come un prolungamento della trama rurale che circonda la cittadina di Chiari. La maglia delle direttrici, impostata secondo un intento di valorizzazione del patrimonio naturale e di connessione, non solo consiste nell'insieme dei percorsi pedonali da cui si accede agli edifici del civic center, ma si configura come forte elemento caratteristico che indirettamente collega le due aree, facendole percepire come simili. Si distingue tra le direttrici

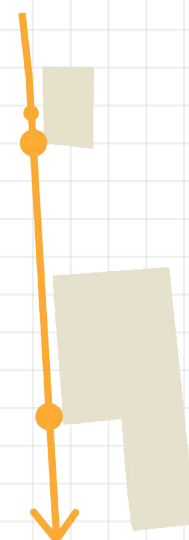


fig. 3 fase 1 concept - tavola concept (C03)

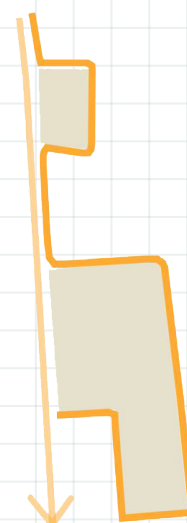


fig. 4 fase 2 concept - tavola concept (C03)

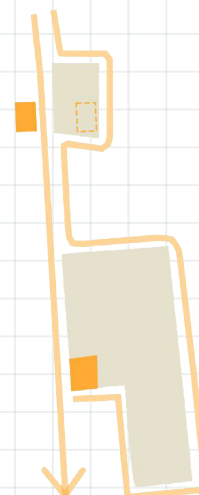


fig. 5 fase 3 concept - tavola concept (C03)

“antropiche”, e i tagli “naturali”. Le prime, che ritroviamo principalmente nell’area nord, sono state realizzate:

1. per congiungere, almeno padronalmente via Vivldi e via Elettra
2. per evidenziare il prolungamento di via Roccafranca, in modo da creare un asse visivo con la zona agricola (e l’area di supporto a sud)
3. per permettere ed evidenziare l’ingresso dell’attuale scuola toscani, ad evidenziare che l’edificio esistente è parte integrante nel progetto.

I tagli “naturali”, sfruttati principalmente per l’area di supporto a sud, rispondono alla nostra volontà di enfatizzare punti di pregio naturalistico, quali rogge e viali interpoderali che permettono scorci molto gradevoli sull’area rurale circostante.



fig 9 punto focale 1



fig. 10 punto focale 2



fig 11 punto focale 3



fig. 12 punto focale 4

### fase 5

Una volta impostato lo spazio secondo un criterio riconoscibile, è stato possibile individuare gli spazi aperti da associare ai tre macrogruppi individuati dal triangolo dello sviluppo (studente, famiglia collettività). La “rete del verde” è stata pensata rispondere alle esigenze dei cittadini sulla base delle carenze dei servizi esistenti, tentando di rivolgerci a tutte le fasce d’età e mirando a creare spazi percepiti come famigliari da tutti. Si ritroveranno quindi aree dedicate agli orti urbani, frutteti sociali, spazi relax e spazi per lo sport. Il lotto a nord prevede un’area di verde privato destinata al solo uso scolastico, mentre i restanti spazi verdi sono attrezzati e a disposizione della comunità.

### fase 6

Una volta definita la zonizzazione delle aree verdi, è stato possibile procedere all’individuazione dei servizi da insediare, e ai rispettivi edifici ex novo che avrebbero composto la “rete del costruito”. L’area a sud, grazie alla sua posizione e dimensioni, si presta particolarmente ad attività di tipo collettivo: i suoi 134770m<sup>2</sup> la rendono particolarmente adatta ad ospitare un grande pubblico e in più, collocandosi in un contesto prettamente rurale, la rumorosità dovuta ad eventuali eventi collettivi non recherebbe disturbo al circondario urbano.

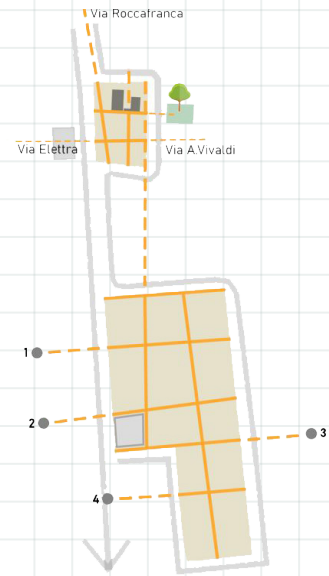


fig. 6 fase 4 concept - tavola concept (C03)

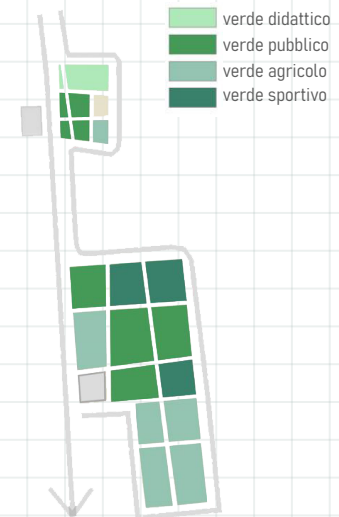


fig. 7 fase 5 concept - tavola concept (C03)

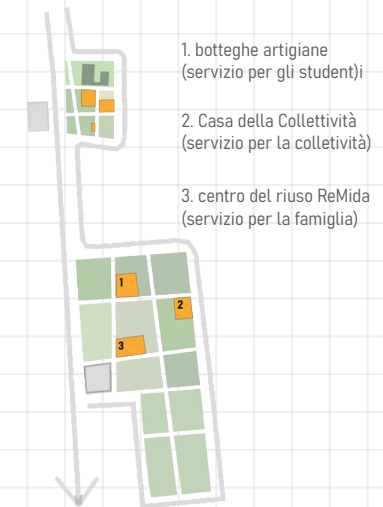


fig. 8 fase 6 concept - tavola concept (C03)



Nascono così la “Casa della Collettività”, le botteghe artigiane e lo “Spazio del Riuso”: si viene a creare un mosaico di spazi e servizi in cui ogni età e abilità è adatta e nessuno debba sentirsi diverso o escluso. La Casa della Collettività non si riduce ad uno spazio eventi per la comunità, ma è uno spazio della comunità, utilizzabile a seconda delle esigenze, motivo per cui si configura come spazio polifunzionale. Lo Spazio del Riuso, anch'esso posizionato nell'area a sud, ospiterà ReMiDa (fig.13): si tratta di un progetto, nato in Emilia-Romagna, che propone il riutilizzo degli scarti di produzione o degli elementi fallati provenienti da svariate aziende, che qui trovano una nuova vita. ReMiDa si inserisce a pieno titolo nel nostro intento di integrazione sociale e di sviluppo delle potenzialità di ognuno proprio perché permette al singolo, così come ad una famiglia e a grandi gruppi di sviluppare la creatività, e creare qualcosa di nuovo a partire da veri e propri rifiuti. Nell'area di supporto a sud trovano spazio, infine, le “botteghe artigiane” (fig. 14) ovvero piccoli spazi dedicati a professionisti, ma con duplice impiego: il punto vendita, che permetta il contatto dell'artigiano con la collettività, e la bottega, studiata con spazi appositi per ospitare gruppi di studenti. Ovviamente l'intento è quello di rafforzare l'effetto “dentro-fuori” della scuola proposta dalle Avanguardie, proponendo i ragazzi un curriculum formativo che li coinvolga già in un potenziale mondo del lavoro. Pensiamo che questo possa essere il modo vincente per far decollare piccole attività, e allo stesso tempo dare l'opportunità ai ragazzi di imparare un mestiere, proponendo quelli che possano essere il linea con il contesto circostante.



fig. 13 ReMiDa - sede di Torino



fig. 14 studenti ad un laboratorio della “ScuolaBottega” di Modena

Nell'area di progetto a nord, più integrata con il tessuto urbano, abbiamo previsto l'insediamento di servizi che causassero minore rumorosità, e che completassero inoltre le esigenze degli studenti della scuola Toscanini. Tutti i servizi qui previsti sono pensati per un duplice utilizzo, prioritario per gli studenti in orario scolastico ma che permetta la fruizione da parte dei cittadini in altre fasce orarie, senza comprometterne la sicurezza. Tra i principali servizi offerti una mensa, un edificio dedicato ai laboratori, una palestra di tipo D, un auditorium di 300 posti e un mercato agricolo. Abbiamo infine sentito l'esigenza di completare i servizi dell'area con un piccolo bar e una copisteria, data l'assenza di queste destinazioni d'uso nei pressi della scuola Toscanini.

## 8.2 Il masterplan di progetto: a scuola come a casa

Restringendo il campo all'area prettamente di progetto, entriamo quindi nel dettaglio per analizzare le caratteristiche che le varie porzioni del lotto dovranno assumere per ospitare le funzioni accennate nel paragrafo precedente, con le accezioni che necessitano per raggiungere gli obiettivi prefissatoci.

Lo sviluppo del masterplan è stata una fase complessa, che ha richiesto lo sforzo di dar voce a più interessi e soddisfare necessità non sempre perfettamente in linea tra loro, che ha richiesto inevitabilmente una fase di scrematura e un indice di priorità, optando talvolta per servizi che potessero rispondere a più esigenze contemporaneamente. Come sempre il risultato è frutto di compromessi, specialmente quando, come in questo caso, si ha a che fare con delle preesistenze che condizionano inevitabilmente il risultato finale. Siamo consapevoli che l'ottimo di un progetto non sia la somma di "ottimi", ma di scelte calibrate che tengano sì conto degli obiettivi prefissati, ma che rispettino allo stesso tempo l'architettura e il contesto preesistente. E questo è stato il modus operandi che ci ha permesso di arrivare alla configurazione spaziale di progetto.

## 8.2.1 La rete del verde

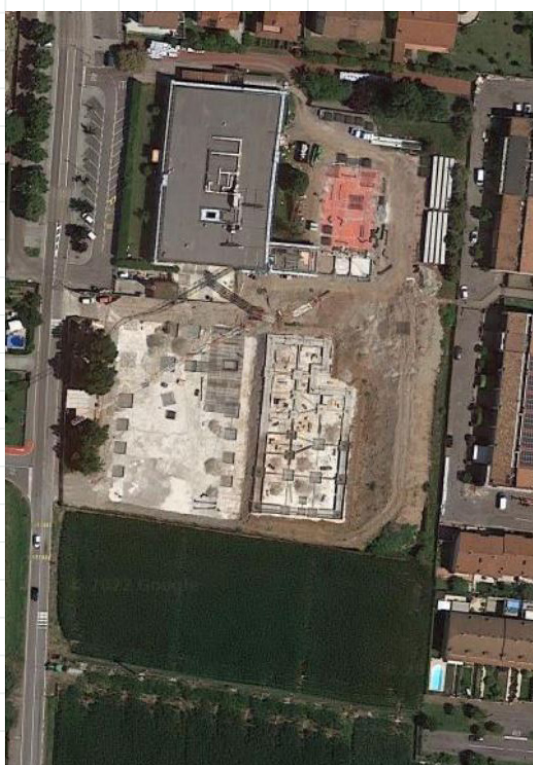


fig. 15. foto aerea dell'area di progetto - situazione attuale



fig. 16. schema organizzazione del verde - situazione di progetto

Si noti anzitutto la zonizzazione delle aree verdi: come accennato nel paragrafo precedente, la "rete del verde" è parte integrante dei servizi offerti, e in questa area si rintracciano principalmente tre macro-aree (fig.16):

1. verde scolastico: si localizza nella porzione nord del lotto, idealmente delimitata a sud dalla scuola Toscanini. Qui troveranno spazi orti didattici in cassetta (fig. 17), in modo da permettere attività laboratoriali all'aperto e pergolati atti ad ospitare lezioni all'aperto nei mesi più miti (fig.18).
2. verde collettivo: questa tipologia di verde, che occupa le zolle di sinistra collocate a sud della scuola, è un verde eterogeneo, che ospiterà tanto spazi per lo svago, quanti per lo sport e il relax. Quello che abbiamo mirato ad ottenere per quest'area non è un giardino pubblico, ma un vero e proprio parco. Abbiamo puntato sull'ottenere un risultato autentico, piuttosto che di uno spazio ordinato ma poco realistico. Ecco perché in questo parco ci si può anche "perdere", lasciandosi guidare dalle texture delle tipologie di verde proposte.



fig. 17 laboratorio "orto didattico e giardinaggio" per i ragazzi dei corsi prelavortivo e formazione al lavoro ENGIM Pemonte



fig. 18 'area laboratoriale all'aperto (A.L.A.S.) di un istituto comprensivo di Roma



fig. 19 percorso salute nel parco Dante Meaglia del Castello Malgrà, a Rivarolo



fig. 20 Limena Playground per il parkour

Seguendo questa idea, i servizi proposti su quest'area non seguono una logica ordinata, ma si contaminano tra loro, proprio come avviene nelle dinamiche della società.

Si trovano così a convivere un'area giochi per bambini, un'area attrezzata per l'esercizio fisico (fig. 19), nonché giochi che prevedono il diretto contatto con la natura (fig.20). Disseminati per il parco sono state collocati piccoli box lettura (fig. 21), che nel loro complesso costituiscono una vera e propria biblioteca all'aperto, in cui chiunque può fermarsi per godere di un buon libro, o anche solo della vista del paesaggio naturale. Grazie all'impiego di una struttura leggera in acciaio non mancano zone coperte, che forniscono riparo dal sole nelle giornate più soleggiate. La stessa struttura viene poi riproposta in maniera più estesa lungo la direttrice centrale, predisposta per ospitare il mercato agricolo (fig.22). Questa funzione ci è sembrata particolarmente adatta, data la natura spiccatamente agricola del contesto. Inoltre la scelta è stata compiuta nell'intento di fornire al mercato cittadino una sede fissa, dato che al momento viene allestito nella piazza centrale del paese. Abbiamo voluto mantenere questa



fig. 21 area studio all'aperto "Rimessa di Hackney" a Londra



fig. 22 mercato coperto all'aperto S.Michele, Mestre (Venezia)

funzione all'aperto, anche se riparata, per sfruttare la sua polifunzionalità, nei giorni in cui non sarà in atto il mercato.

3. verde produttivo: sono dedicate a questa tipologia di verde le zolle di destra a sud dell'edificato. Come accennato in precedenza, abbiamo voluto portare nel progetto l'area rurale all'esterno, rendendola il più possibile accessibile all'intera collettività, seppur in forma ridotta. Nasce così l'idea degli orti urbani (fig. 23) e dei frutteti sociali (fig.24), affittabili da piccoli e grandi gruppi, coinvolgendo così così chiunque nel prendersi cura di un piccolo pezzo di città.

L'unica zolla "di rappresentanza" sarà quella nei pressi dell'edificato, con uno specchio d'acqua che possa richiamare le rogge, e funga da cartolina da visita per l'intero progetto.



fig. 23 orto urbano Caab Bologna



fig. 24 frutteto sociale, Monza

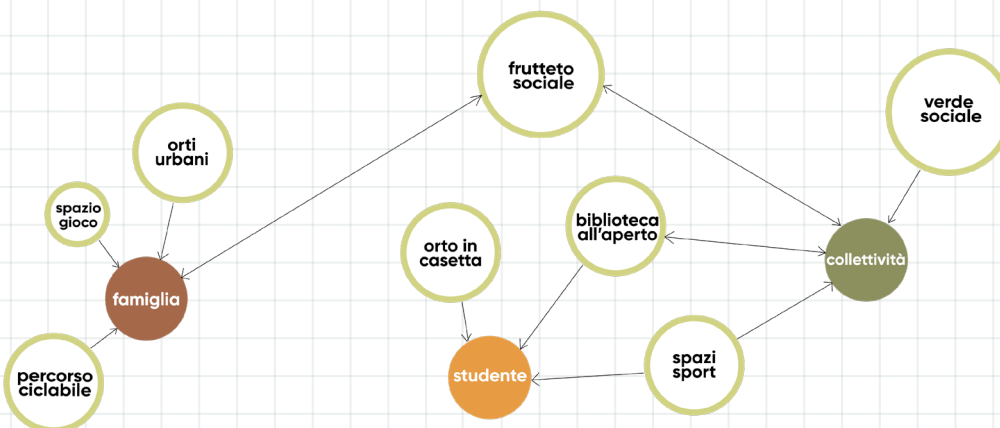


fig. 25 schema della rete del verde del progetto

## 8.2.2 La rete del costruito

Le funzioni da insediare nella "rete del costruito" del nuovo civic center sono principalmente quelle richieste dal bando del Comune. Alcune funzioni aggiuntive sono state scelte a completamento dell'offerta sulla base dei servizi di cui il quartiere è più carente. La posizione degli edifici risponde anzitutto alla necessità di disporre in modo agevole dei vari servizi, ottimizzando gli spostamenti. In secondo luogo, sono stati considerati questioni di illuminazione, per cui è stato necessario uno sforzo affinché gli edifici di nuova costruzione non compromettessero in maniera sensibile le condizioni di luce naturale all'interno della scuola, e che non si condizionassero l'un l'altro. Particolare attenzione è stata poi riservata alla preservazione dei caratteri e della direzionalità proposta dalla scuola esistente.

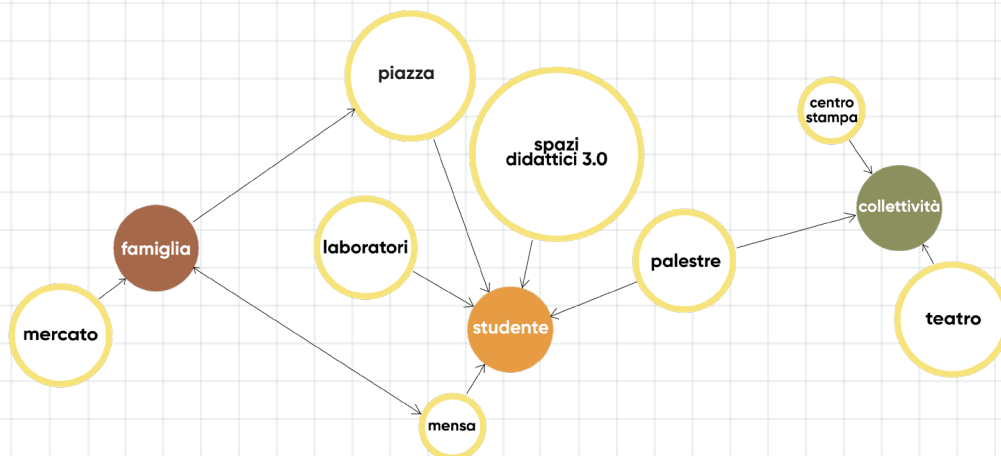


fig. 26 schema della rete del costruito del progetto

La composizione riportata nel masterplan è frutto dell'intenzione di dar spazio a tutti questi fattori, ma allo stesso tempo nella voglia di realizzare un progetto riconoscibile e nuovo, che doni all'area di progetto una nuova accezione, moderna e accogliente. Riconducendoci al triangolo dello sviluppo, le funzioni insediate rispondono alle esigenze di:

- studente: considerando come associato che l'intero civic center sia stato concepito per la sua crescita a 360°, sono di certo gli spazi scolastici, sia interni che esterni, quelli che più di tutti sono stati pensati per questa prima identità, in quanto saranno i luoghi in cui gli studenti trascorreranno la maggior parte delle ore quotidiane
- famiglia: per questo microgruppo sono stati pensati gli orti urbani, i frutteti sociali e il mercato agricolo, già citati tra i servizi offerti dalla "rete del verde", nonché gli spazi laboratoriali, che troveranno spazio nella nuova costruzione "a L" sopraelevata, e in una porzione dell'edificio che sostituirà l'attuale palestra.

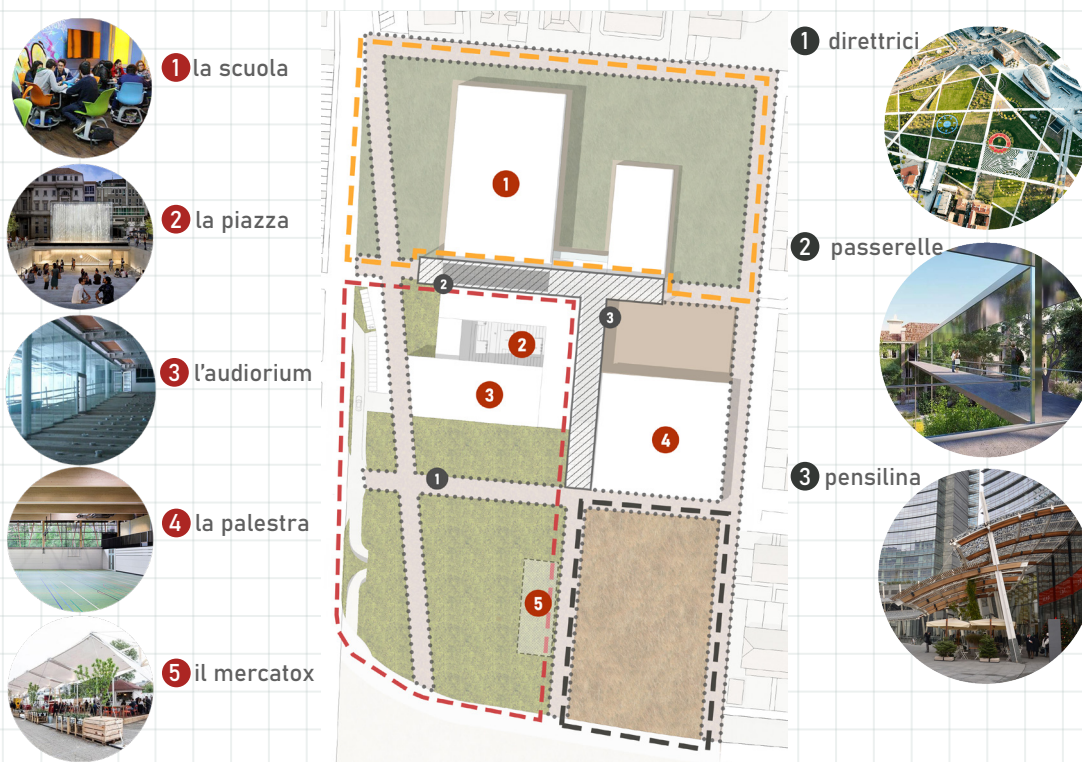


fig. 27 masterplan di progetto (tav C.04)

- collettività: sono stati destinati a questo macrogruppo i servizi che sono atti a ospitare un grande pubblico ovvero un auditorium, la palestra che corrispondono ai due volumi maggiori presenti sull'area, dopo alla scuola.

A far da collante di queste differenti funzioni la piazza, una grande scalinata a cielo aperto che ricalca l'andamento dell'auditorium, uno spazio per e di tutti, che si presta ai più svariati metodi di utilizzo ma che indubbiamente si identifica come luogo di incontro e convivialità.

## 8.2.3 Le connessioni

Nel progetto è possibile individuare 4 livelli, serviti da un ascensore posizionato lungo la direttrice orizzontale a nord. Indubbiamente, l'accesso a gran parte dei servizi avviene dal piano terra, dalle direttrici che lambiscono i vari edifici: affacciate su via Roccafranca troviamo infatti l'ingresso per gli spettatori dell'auditorium e della palestra, nonché l'accesso al bar e al centro copie. Sempre a quota zero, ma sulla direttrice perpendicolare, troviamo anche gli ingressi della scuola e della mensa.

Il piano interrato è accessibile sia dal parcheggio sia dalla scalinata dell'agorà, oltre che con il sopraccitato ascensore. Al parcheggio interrato, pensato principalmente per i dipendenti del civic center, si accede tramite il sistema di rampe che lo collega alla nuova rotonda su via Roccafranca. Al piano interrato si trovano gli accessi ai servizi della palestra, da cui si accede al campo, e ai camerini dell'auditorium. Lungo la direttrice che costeggia il lato breve della scuola si propone un sistema di passerelle che collega la scuola al blocco dei laboratori, e che allo stesso tempo garantisce il deflusso in caso di incendio.

Il passaggio tra i vari edifici del civic center è interamente coperto da una pensilina fotovoltaica leggera (fig. 30): quest'ultima, sorretta da pilastri "ad albero" (fig.31), costituisce il vero e proprio landmark di progetto, oltre a contribuire alla produzione di energia utile per i fabbisogni delle funzioni inserite.

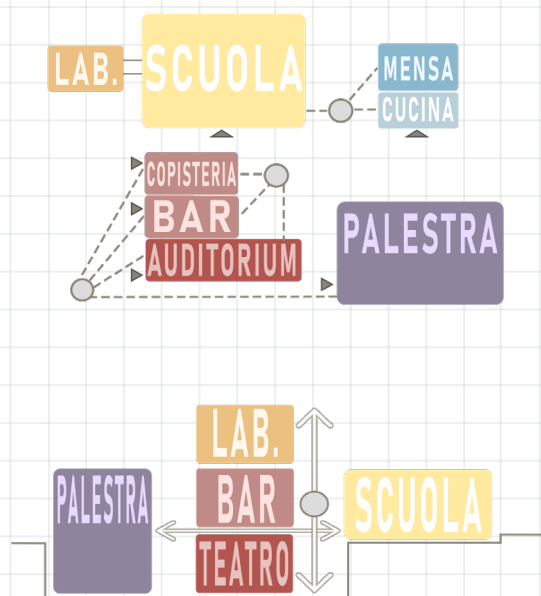


fig. 28 schemi delle connessioni di progetto (tav D.02)

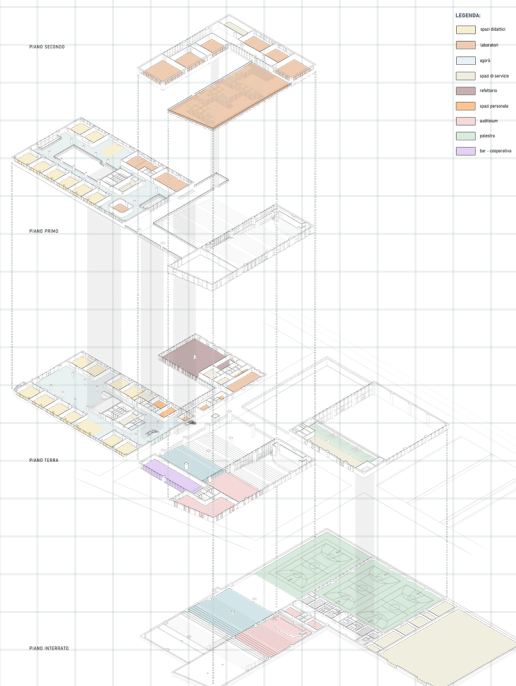


fig. 29 layout funzionale progetto (tav D.02)



fig. 30 pensilina fotovoltaica piazza Gae Aulenti, Milano



fig. 31 pilastri ad albero della copertura del polo fieristico Fieramilano, Rho

## 8.2.4 I linguaggi architettonici

Come per le scelte descritte finora, anche quella dei linguaggi architettonici dei prospetti ha dovuto tenere in considerazione le preesistenze e il contesto di inserimento. Operando su un lotto su cui insiste un edificio esistente con forte caratterizzazione razionalista, è stato necessario scegliere quale logica utilizzare per descrivere le funzioni presenti nel civic center al fine di garantire complessivamente un aspetto armonico e unitario.

Si è optato per tre linguaggi architettonici differenti, che riflettono le rispettive attività svolta all'interno: la caratterizzazione della scuola, con finestre a nastro e pareti pannellate, viene riproposta per i laboratori, anch'essi ambienti che necessitano di massima concentrazione (fig.32).

I fronti su cui affacciano funzioni più ricreative sono dotati di un linguaggio a "media densità", in cui si alternano sezioni vetrate a sezioni opache con una texture in legno, per l'intera altezza degli edifici. (fig.33) Questo linguaggio è stato adottato sia per i fronti sud e ovest dell'auditorium, che per il fronte ovest della palestra.

Infine, laddove si punta ad ottenere la massima permeabilità visiva si propone una facciata continua con scansioni verticali, che ricalchino l'andamento delle doghe di legno del precedente linguaggio architettonico. L'effetto è garantito da montanti ravvicinati, traversi arretrati e il fissaggio degli elementi trasparenti con il sistema "a ragno" (fig.34). E' il caso del fronte dell'auditorium che dà sulla scalinata dell'auditorium, nonché dei prospetti nord e sud della palestra. In questi casi, se il caso lo richiedesse, sarà un sistema di oscuramento a tenda a rispondere ad una eventuale necessità di oscuramento.

L'effetto che miriamo a raggiungere è quello di un organico di immobili che dialogano tra loro, oltre ad essere fisicamente connessi. Si punta sulla riconoscibilità dell'intervento, senza però creare contrasti con il contesto che circonda l'area di progetto, nonché su una riconoscibilità preliminare delle funzioni, già ad un primo colpo d'occhio.



fig. 32 capnone industriale con pannelli di facciat e finestre a nastro (linguaggio 1)



fig. 33 scuola elementare di Offenbach, Germainia (linguaggio 2)



fig. 34 facciata continua con sistema a ragno e traverso arretrato (linguaggio 3)



fig. 35 prospetti di progetto (tav. D07)





# 9

## Il progetto architettonico

---

---

9.1 Il Civic Center Toscanini	.....
9.2 Gli spazi della nuova scuola	.....
9.3 Le verifiche normative	.....



# Il Civic Center Toscanini 9.1

## 9.1.1 Gli spazi

Di seguito verranno analizzati i singoli edifici costituenti il civic center, indagandone le caratteristiche fisiche quanto le modalità di utilizzo e loro ruolo all'interno del nuovo "organismo" del civic center.

### 9.1.1.1 L'auditorium

Elemento fondamentale del nuovo civic center, l'auditorium è stato pensato tanto per gli studenti quanto per eventi collettivi che coinvolgano tutti i cittadini. L'accesso principale per il pubblico avviene da piano terra, dalla direttrice parallela a via Roccafranca mentre le uscite di emergenza sono posizionate sul fronte laterale che affaccia verso l'agorà, posizionate su diversi livelli della scalinata. L'auditorium infatti, come già accennato, supera un dislivello di 3 metri, che lo collega al livello -1 del progetto. In quanto tale, l'auditorium è dotato di palco con scena e relativi servizi, questi ultimi dotati di accesso autonomo direttamente dal livello -1 dell'agorà. Per i fronti che affacciano sulla zona più pubblica, ovvero sud e ovest, si è optato per il linguaggio a media densità per permettere un'interazione visiva con l'esterno che non sia però di disturbo con le attività svolte. Il fronte nord invece, affacciandosi sull'agorà, e quindi su un contesto più "intimo", si adotta il linguaggio con massima permeabilità, per enfatizzare il rapporto dentro-fuori che miriamo ad ottenere tra i diversi immobili che costituiscono il civic center.



fig. 1 auditorium- riferimento progettuale



fig. 2 vista interna auditorium di progetto

### 9.1.1.2 L'agorà

L'agorà, principale luogo di interazione del civic center, è stata concepita come una vera e propria piazza. E' l'elemento che fa da collante per tutte le altre funzioni e si configura come una grande scalinata, un prolungamento di quella interna dell'auditorium che collega la quota del piano terra con quella dell'interrato. Abbiamo scelto di collocare qui l'agorà in quanto, nonostante sia accessibile da chiunque, consiste in una posizione "protetta" e strategica, in quanto delimitata dagli edifici della scuola e dell'auditorium. Questo spazio, parzialmente coperto dall'edificio dei laboratori, si presta a ai più svariati metodi di utilizzo, tra cui eventi all'aperto nei mesi più caldi. Nella quotidianità l'agorà è spazio di ritrovo e convivialità non solo per gli studenti ma per l'intera collettività.



fig. 3 agorà esterna IC Raffaello, Roma - riferimento progettuale



fig. 4 vista esterna agorà di progetto

### 9.1.1.3 I laboratori

La necessità principale a cui si è tentato di rispondere nella realizzazione di questi spazi è quella di garantire massima tranquillità per poter svolgere delle attività che richiedono concentrazione. Ecco il perché della posizione sopraelevata, che allo stesso tempo risponde a due ulteriori necessità: fornire riparo, seppur parziale, all'agorà e la limitazione del consumo dello spazio, al fine di rientrare negli indici prescritti da normativa.

La distribuzione interna risulta molto semplice, ovvero un unico distributivo che permette di accedere a tutte le aule. Abbiamo prediletto questa forma "ad L" per permettere a tutti i laboratori di godere di una buona vista. All'interno di questo "blocco" troveranno spazio un laboratorio di musica, uno di pittura, uno di informatica e tre spazi laboratoriali polifunzionali, dotati di attrezzatura generica al fine di ospitare diverse tipologie di attività.

Il linguaggio di facciata, per i già citati motivi, si adegua a quello della scuola, con finestre a nastro e prospetti con pannelli a vista, fatto salvo il distributivo che è stato concepito con un linguaggio a massima permeabilità, per godere della vista dall'interno, e per permettere l'uscita sulla terrazza. Quest'ultima, che altro non è che la copertura dell'auditorium, è stata attrezzata con strutture leggere talvolta coperte che ricalcano il linguaggio del mercato agricolo. In questo caso lo scopo è quello di creare spazi relax ombreggiati e, in alcuni punti, box vetrati in cui chiunque può studiare o lavorare in modo autonomo godendo ma allo stesso tempo può godere della vista messa a disposizione dalla posizione sopraelevata. Tale terrazza, in orario di chiusura del blocco laboratori, è accessibile a partire da una scala esterna.



fig. 5 laboratorio di pittura di una scuola di Parma



fig. 6 terrazza con spazi relax parzialmente coperti

### 9.1.1.4 La palestra

La nuova palestra, classificata come B2, ospita due campi regolamentari da pallavolo da 162m<sup>2</sup>, parete di arrampicata e spalti con 290 posti a sedere. Questo spazio rispetta l'intento di flessibilità in quanto

ogni campo può essere utilizzato in modo autonomo grazie all'utilizzo di pareti mobili. In merito ai flussi, l'ingresso per il pubblico si colloca piano terra, dalla direttrice centrale; dal piano interrato è possibile accedere agli spogliatoi, e al campo: l'ingresso agli spogliatoi è consentito sia a partire dall'esterno, con un accesso pedonale, sia comodamente dal parcheggio interrato. Dal campo è possibile accedere ad alcuni uffici predisposti appositamente per le società sportive, ipotizzando una possibile utilizzo extra-scolastico in modo continuativo. I prospetti presentano anche in questo caso linguaggi architettonici diversi: ad est e ovest si è adottato il linguaggio a media densità (per il prospetto est si è optato per creare un fronte cieco), mentre i fronti nord e sud permettono massima permeabilità visiva, specialmente verso l'agorà dove l'intento era proprio quello di massimizzare il rapporto visivo. Alla palestra è annesso anche un campo da basket all'aperto, collocato al livello -1 del progetto.



fig. 7 render interno palestra di Vasco- riferimento progettuale per il linguaggio di facciata

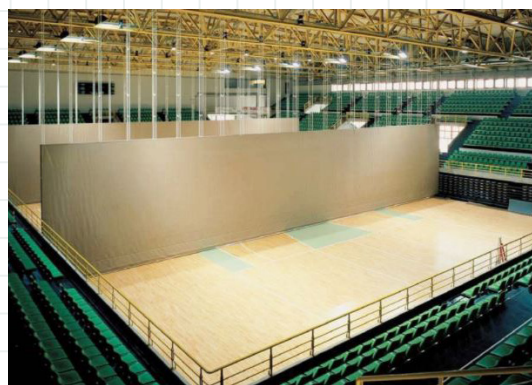


fig. 8 vista interna palestra con pareti mobili- riferimento progettuale per la flessibilità degli spazi

### 9.1.1.5 La mensa

Come accennato in precedenza, il Comune ha disposto la demolizione dell'attuale palestra e una ricostruzione di un nuovo volume ex novo mantenendo l'impronta a terra dell'attuale edificio. Nel nuovo corpo, che proponiamo con un solo piano fuori terra, troverà spazio la nuova mensa di capienza massima di 320 persone, e una sala per corsi di cucina. Nell'ottica di massimizzare la flessibilità degli spazi, la mensa sarà dotata di pareti mobili, che permettono di suddividerla in 4 ambienti di capienza massima di 80 persone. Affacciandosi sulla zona di "verde scolastico", abbiamo optato per massimizzare la connessione visiva con l'esterno, impiegando su tutti i lati della mensa la facciata continua.

Sarà possibile accedere al nuovo edificio sia dalla scuola, utilizzando il collegamento, sia dall'esterno, ovvero dalla direttrice che a piano terra lambisce la scuola. Ciò ne permette un duplice impiego: nelle ore di utilizzo della mensa da parte degli studenti il collegamento con la scuola sarà aperto, e viene negato l'accesso del pubblico dall'esterno. Al contrario, in orario extra-scolastico, il blocco è accessibile per la collettività senza alcun collegamento con la scuola.



fig. 9 mensa -riferimento progettuale ambienti flessibili



fig. 10 spazio per corsi di cucina - riferimento progettuale

La sala corsi è dotata dei relativi servizi e spogliatoi che la rendono completamente indipendente dalle altre funzioni. Anche la mensa, con relativa cucina e servizi igienici, è utilizzabile in orario extra scolastico per eventi che richiedano questi spazi.

#### 9.1.1.6 Il bar e il centro copie

Abbiamo voluto inserire queste due ulteriori funzioni sia perché, come emerso dalla tavola dei servizi, sono tipologie carenti nei pressi della scuola, sia perché la presenza di funzioni pubbliche impone la disponibilità di uno spazio di ristoro. Anche in questo caso abbiamo previsto che la copertura sia accessibile, attrezzata con tavoli per lo studio individuale e collettivo. Ci piace pensare che siano le cooperative sociali già operanti sul territorio, a gestire l'attività della copisteria. Quello su cui si punta è un'integrazione giornaliera, non sporadica, in modo che l'incontro con l'unicità dell'"altro" diventi quotidianità, al quale a lungo andare non si fa più neanche caso.



fig. 11 bar - riferimento progettuale

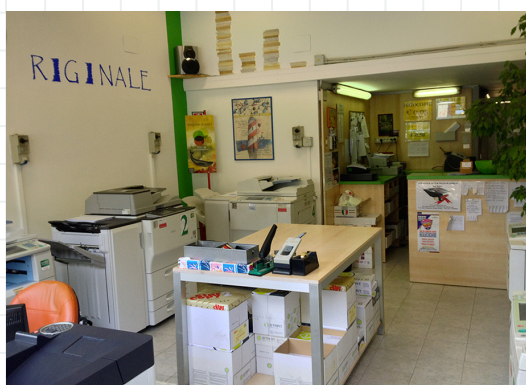


fig. 12 centro copie - riferimento progettuale

### 9.1.2 Gli orari

Le fasce orarie di funzionamento del civic center rispondono a una duplice esigenza: da un lato l'esigenza di estendere il periodo di attività per estendere quanto più possibile il bacino di utenza, dall'altro garantire la sicurezza per gli studenti. In quest'ottica l'accesso alla scuola, dotato di adeguata sorveglianza, è permesso dalle 8 alle 19, sia per permettere eventuali progetti di dopo-scuola e di gruppi studio, sia per consentire l'accesso alla biblioteca da parte del pubblico extra-scolastico. Per ottimizzare i lavori di pulizia degli spazi, sarà possibile prevedere, salvo casi in cui sia strettamente necessario, la chiusura delle aule tradizionali durante l'orario extra-scolastico, sfruttando invece tutti gli spazi collettivi e aule open.

La mensa sarà utilizzata in modo esclusivo dagli studenti nell'orario scolastico, ma potrà essere prenotabile anche da un pubblico esterno nelle ore serali per eventuali eventi, così come la palestra. Quest'ultima, inoltre, disponendo degli appositi uffici, è studiata per ospitare squadre con continuità.

I laboratori, grazie a un controllo continuo, resteranno attivi tutta la giornata, anche in orario serale: in questo caso l'utilizzo da parte della collettività e degli studenti potrà essere anche contemporaneo e seguirà una logica di prenotazione degli spazi. Il bar e il centro copie seguiranno gli orari delle normali attività commerciali, in modo da soddisfare le esigenze sia degli studenti sia degli utenti alle altre funzioni del civic center. Il mercato infine avrà un utilizzo con frequenza settimanale, che si adeguerà a quelli usuali di questa funzione. Per il resto del tempo, essendo uno spazio non delimitato, potrà essere impiegato come spazio coperto per attività libere.

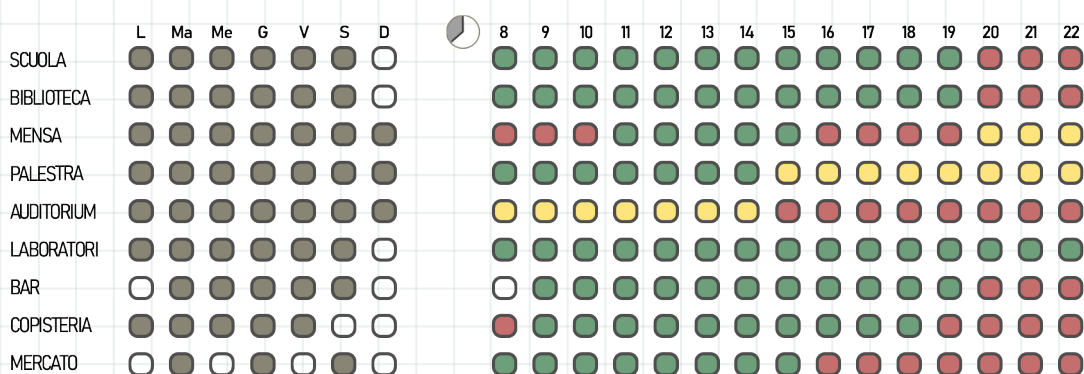


fig. 13

## Gli spazi della nuova scuola 9.2

La vera novità del progetto, al di là dell'inserimento delle nuove funzioni, sta nella riorganizzazione degli spazi interni di un edificio scolastico concepito con il "vecchio" modo di educare. Lo sforzo è quello di proporre un intervento che non richieda modifiche importanti sull'edificio, che si possa identificare come intervento pilota per altri operati su edifici dalla conformazione simile. La reiterabilità dell'intervento sta anzitutto nel mantenere lo scheletro strutturale esistente, nonché l'involucro e quindi la conformazione geometrica: si tratta di operare piccole modifiche interne, che avranno forte impatto sulla percezione degli spazi da parte di chi li vive. L'arredo risulta avere un ruolo fondamentale in questo processo di trasformazione, soprattutto per sfruttare la potenziale polifunzionalità degli ambienti. A guidare l'intero intervento il concetto di flessibilità, sia inteso sotto l'aspetto spaziale, sia in merito gli orari di fruizione degli spazi.

I nuovi spazi rispondono alle esigenze descritte dalle linee guida per la progettazione delle scuole (DM 11/04/04/2013), nonché seguono l'approccio educativo proposto da MIUE e Avanguardie.

### 9.2.1 spazi di gruppo – l'"aula"

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 attraverso superfici trasparenti, le quali aiutano nel miglioramento dell'uniformità di illuminamento delle aule stesse.

Per questo tipo di ambienti quindi flessibilità è la parola d'ordine. Flessibilità dello spazio, perché grazie alle pareti mobili sarà possibile trasformare uno spazio per una classe, in uno con capienza doppia che permette attività congiunte e flessibilità di utilizzo, perché dotate di arredo mobile in grado di adattarsi ai vari impieghi e attività. Gli spazi di gruppo sono infatti quelli che prevedono le attività della "classe", ma non si configurano solo come spazi confinati: nella nuova scuola Toscanini trovano spazio le aule open, ovvero spazi non delimitati ma facilmente individuabili per il loro aspetto e arredo. Le open sono perfette per le attività di gruppo laddove si necessita di una maggiore libertà spaziale, per esempio per



favorire il lavoro in piccoli gruppi lasciando maggiore libertà su dove collocarsi per svolgere le attività proposte. L'arredo che caratterizzerà questi spazi sarà costituito principalmente da banchi componibili, palchetti per le attività di discussione di gruppo nonché cassettiere ed armadietti per il materiale didattico.



fig. 14 esempio di spazio di gruppo



## 9.2.2 spazi informali

Sulla base di quanto analizzato nel capitolo 1, gli spazi informali sono quelli in cui l'apprendimento assume forme diverse dalla tipica lezione frontale, dove lo studente può a tutti gli effetti crescere e sviluppare nuove conoscenze nel metodo che risulta più consono, condividendo tempo e spazi con gli altri studenti. Perseguendo nell'intento di far sentire "a casa" gli studenti, e per creare un contesto disteso e stimolante che favorisce l'apprendimento, abbiamo pensato che gli spazi della scuola potessero ricreare quelli domestici, ovvero non siano freddi spazi vuoti in cui trascorrere il tempo "obbligatorio" delle lezioni. In quest'ottica, l'home è infatti lo spazio informale per eccellenza: una piccola cucina domestica, dove i ragazzi possono condividere momenti di convivialità e di svago, nonché fermarsi per una pausa o prepararsi uno spuntino. Condividere spazi così intimi pensiamo inoltre sia favorevole allo sviluppo delle dinamiche del team, di forte aiuto per un apprendimento uniforme che non lasci indietro nessuno. Gli spazi informali non si limitano però alle home base, bensì si tratta di interventi diffusi, che talvolta si configurano come gli spazi con sedute comode a cui sono accessibili fonti cartacee e digitali di apprendimento, quali lo spazio al secondo piano a nord e le "isole" dell'agorà. Infine, fanno parte degli accorgimenti per l'apprendimento informale i pannelli interattivi che verranno predisposti sulle pareti delle parti comuni, un supporto per proporre quiz e piccoli giochi per imparare senza accorgersene. L'arredo che caratterizzerà questi spazi saranno pouf morbidi e sedute comode per favorire un'atmosfera rilassata



fig. 15 esempio di spazio informale



## 9.2.3 spazi individuali

Tra gli spazi di apprendimento, non possono mancare quelli che permettano l'apprendimento individuale: per favorirlo si propongono diversi tipi di spazi, in modo da stimolare la scelta del metodo di approccio a questo tipo di apprendimento:

- lo spazio lettura, con sedute comode, affiancato da una piccola biblioteca di consultazione e da uno spazio di lavoro di gruppo che permetta un eventuale sviluppo collettivo di quanto indagato individualmente
- i box concentrazione, disseminati per la scuola, sono piccole nicchie dotate di prese per apparecchi elettronici che favoriscono lo studio di un singolo studente.
- lo spazio di approfondimento si configura invece come spazio attrezzato, con postazioni singole dotate di pc e accesso a internet.



fig. 16 esempio di spazio individuale (nicchia di concentrazione)

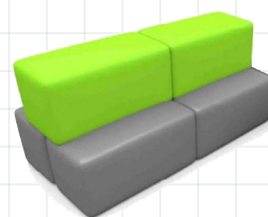


## 9.2.4 spazi di esplorazione

Disponendo del blocco destinato ai laboratori del civic center, all'interno dell'edificio scolastico sono stati collocati esclusivamente quegli spazi di esplorazione che necessitano di un utilizzo pressoché continuativo da parte degli studenti. Al primo piano infatti troviamo lo science lab, dotato delle attrezzature necessarie e relativo deposito, e il dance lab, uno spazio confinato e completamente isolato dal resto dell'edificio, i cui poter eseguire attività che prevedano una mobilità diversa dalle attività ginniche tradizionali. Qui gli studenti possano farsi trasportare dalla musica e prendere atto del proprio corpo e dei propri movimenti. Questo laboratorio sarà appositamente pensato per ospitare queste attività, quindi sarà previsto un arredo morbido, e finiture superficiali idonee.



fig. 17 esempio di spazio di esplorazione (dance lab)



## 9.2.5 agorà e la biblioteca verticale

Il cuore dell'edificio è occupato ad oggi dal teatrino a doppia altezza: abbiamo voluto trasformare questo ambiente e ricreare una vera e propria agorà interna. I tramezzi che dividevano il teatro dai corridoi verranno eliminati, così come la scala prefabbricata a nord, che verrà sostituita da uno scalone. Quest'ultimo non è solo un elemento di connessione verticale, ma ospiterà la biblioteca verticale, accessibile anche per il pubblico extra-scolastico. Questo nuovo fulcro avrà, disseminati per la scuola, altre funzioni che si legano alla biblioteca verticale, quali una emeroteca e box di scambio-libri al piano terra e uno spazio lettura al primo piano. In quanto luogo di convivialità e relazione, l'agorà è organizzata ad "isole", pensate con un arredo flessibile in modo da permettere la versatilità di questo spazio. Questo spazio polifunzionale è stato pensato sia per gli studenti che lo vivono "da dentro", ma anche per la collettività, sia per l'utilizzo fuori dall'orario scolastico di cui abbiamo già parlato, sia per gli accompagnatori, che potrebbero fermarsi qui per leggere un giornale o consultare un libro.

Oltre alle "isole", ovvero desunte che possono ospitare gruppi più o meno numerosi di persone, i muri che delimitano l'agorà saranno allestiti con armadietti personali in cui gli studenti possono depositare il proprio materiale.



fig. 18 esempio di agorà con biblioteca verticale



## 9.2.6 spazi per il personale e spazi di servizio

La scuola si completa poi con spazi dedicati al personale e al corpo docente: al piano terra, facilmente raggiungibili dall'esterno anche dal pubblico, troviamo bidelleria, segreteria, ufficio amministrativo e del preside.

Al primo piano invece trova spazio una zona interamente dedicata ai docenti. Sulla falsa riga di quanto pensato per gli studenti, si prevede uno spazio informale, con area relax e home base, dove i docenti possano incontrarsi, interagire, nonché lavorare nelle ore tra una lezione e la successiva. E' prevista inoltre una sala riunioni da utilizzare per le occasioni formali. Infine, nel piccolo edificio di collegamento tra scuola e mensa, dotato di accesso direttamente dalla direttrice esterna, troverà spazio l'infermeria e agli spogliatoi del personale di servizio.

Abbiamo messo in atto le strategie e gli approcci appena descrittivi al fine di ottenere un vero e proprio "organismo" costituito da spazi stimolanti, in cui l'apprendimento possa assumere quante più forme possibile: non solo nel contatto tra studente e professore, ma anche altre forme quali l'apprendimento dai coetanei e l'apprendimento individuale, nonché l'apprendimento derivante dall'esplorazione, del "fare".

## Le verifiche normative 9.3

Di seguito verrà illustrato come la progettazione soddisfi i requisiti da normativa, suddividendo i requisiti negli abiti che sono stati valutati nei capitoli precedenti: anzitutto indagheremo il progetto sotto il profilo degli indici di funzionalità, poi si analizzeranno via via gli altri temi quali l'accessibilità, la prevenzione degli incendi e infine le verifiche illuminotecniche.

### 9.3.1 Verifica degli indici di funzionalità per l'edilizia scolastica

La verifica degli indici di funzionalità è stata eseguita in riferimento al DM 18.12.1975; in merito alla D.M.13.04.2013, data la sua natura prestazionale non è possibile eseguire specifiche verifiche, ma si premette che nella realizzazione del progetto architettonico sono stati adottati i criteri espressi da tale normativa.

Le norme tecniche del 1975 tentano di definir ogni aspetto legato all'edificio scolastico, partendo dal definire le caratteristiche ottimali del contesto per l'insediamento di un edificio scolastico. In merito alla localizzazione, il lotto ospita già una scuola ed è definito dal PGT come ambito destinato ad attività scolastiche; la localizzazione ai confini del territorio urbanizzato inoltre rende quest'area favorevole all'insediamento di ulteriori attività complementari di supporto alle attività scolastiche. La località è ricca di verde e permette l'aggiunta di fasci alberati, inoltre risulta essere protetta dalle abitazioni dei quartieri circostanti, motivo per cui non subisce una eccessiva esposizione ai venti. Il lotto è pianeggiante, è dotato di un accesso sufficientemente comodo e ampio su via Roccafranca e la scuola risulta arretrata rispetto al filo stradale, il che garantisce sufficiente sicurezza per l'uscita degli alunni.

La nuova scuola Morcelli-Toscanini ospiterà 18 aule distribuite su due piani, quindi 450 alunni: questi valori, oltre ad essere conformi alle prescrizioni in merito alle dimensioni e il numero di livelli delle scuole medie, rispettano anche le richieste in merito alla dimensione dell'area su cui la scuola insiste, il cui valore minimo è prescritto proprio in base al numero di alunni. Un'ultima verifica è quella effettuata sulla superficie coperta, che non deve superar un terzo dell'area complessiva del lotto.

In merito ai veri e propri indici di funzionalità, la norma prevede, in base al numero degli alunni, la superficie lorda per alunno e per classe, le altezze relative ai diversi ambienti, nonché le superfici nette in base alle attività svolte negli ambienti. Altre prescrizioni riguardano le distanze libere tra le pareti contenenti le finestre, nonché sulle dotazioni minime in termini di servizi: devono essere previsti spazi per l'insegnamento specializzato (scienze, tecnica, artistica, musica), un auditorium, una palestra, una mensa, e un numero congruo di servizi igienici.

Ulteriori prescrizioni riguardano l'area di sosta: deve essere previsto 1m<sup>2</sup> di parcheggio esclusivo ogni 5m<sup>2</sup> di superficie lorda edificata, e destinare ogni 40 posti auto disponibili, 1 per i disabili: nel nostro progetto, essendo predisposti 52 posti auto, 2 saranno dedicati ai disabili. Inoltre, dovendo rispondere alla necessità di accesso indipendente, sono state previste rampe di discesa e risalita con sbocco diretto sulla nuova rotonda in via Roccafranca.

La norma prescrive infine i coefficienti di ricambi per garantire la purezza dell'aria degli ambienti interni, in base alle diverse destinazioni d'uso. Riportiamo un esempio del calcolo dei volumi d'aria necessari per il ricambio d'aria di un'aula tipo di 7x7,5m, e altezza interna 3m (volume ambiente=7x7,5x3=157,5m<sup>3</sup>), in base al coefficiente di ricambio assegnato dalla normativa (3,5). Dalle *"Norme dell'edificio scolastico per la salute"* si evince la formula per calcolare, a partire dai coefficienti di ricambio, i volumi d'aria di

ricambio:

$$c.r = (n^{\circ} \text{ alunni} \times \text{cubo individuale}) / \text{volume ambiente}$$

Conoscendo il coefficiente di ricambio, si adotta la formula inversa per calcolare il cubo individuale, ovvero i m<sup>3</sup> di aria di ricambio necessari per ogni studente.

$$\text{cubo individuale} = (c.r \times \text{volume} / n^{\circ} \text{ alunni}) = (3,5 \times 157,5) / 25 = 22,05 \text{ m}^3/\text{alunno}$$

Si può quindi calcolare il valore di portata d'aria complessiva necessaria:

$$\text{portata d'aria complessiva} = \text{cubo individuale} \times n^{\circ} \text{ alunni} = 22,05 \text{ m}^3/\text{alunno} \times 25 \text{ alunni} = 551,25 \text{ m}^3$$

L'impianto di ventilazione meccanica controllata sarà dimensionato per soddisfare queste richieste.

Le prescrizioni fin ora descritte trovano pieno soddisfacimento all'interno del nostro progetto, e verranno riassunte nella tabella di seguito riportata.

DESCRIZIONE	STANDARD MINIMI	PROGETTO	VERIFICATO
Mq lordi per classe	201,5	294	sì
Mq lordi per alunno	8,06	8,37	sì
Altezza in mt. Aule, biblioteche, uffici, infermeria e mensa	3	3	sì
Altezza palestra	Non regolamentari	/	/
	Regolamentari	7,5	sì
Area minima per la costruzione di edifici scolastici in mq	12'600,00	17'376	sì
Mq per alunni in classe	1,8 (45 mq/aula)	1,8	sì
Mq per alunni insegnamenti specializzati	0,8	0,8	sì
Mq per alunni per musica	0,1	0,1	sì
Mq per alunni attività collettive	0,6	variabile	sì
N° massimo di classi DM edilizia scolastica (24)	24	18 aule 3.0 3 aule open 3 aule convertibili*	sì
N° alunni per classe D.M. Edilizia Scolastica	25	25	sì
N° alunni per classe D.M. Antincendio, affollamento massimo, norme di esercizio	26	26	sì
Superficie mensa D.M. edilizia scolastica	non superiore a 375 mq (0,50 mq ad alunno con doppio turno)	370 (0,8)	sì
Area verde alberata ed attrezzata rispetto all'area totale DM edilizia scolastica	66%	74,70%	sì
	11'584,00	18'551	sì
Temperatura ed umidità	20°C ± 2°C, umidità 45 - 55%	20°C ± 2°C, u=50%	sì
Distanze tra pareti finestrate D.M. edilizia scolastica	12 mt	16,8	sì

\*spazi laboratoriali neutri che possono essere convertiti in aule didattiche data la loro polifunzionalità

tab 1 verifica degli indici di funzionalità

### 9.3.2 Verifica delle prescrizioni per la prevenzione degli incendi

Nel seguente paragrafo verrà verificata la congruità di quanto progettato alle norme di prevenzione incendi negli edifici scolastici secondo il DM 26/08/1992.

La norma propone anzitutto una classificazione degli edifici scolastici in base all'entità di presenze contemporanee ipotizzabili: nel caso in esame, potendo ospitare 450 studenti, e stimando un corpo docente e personale ausiliario proporzionati, si ipotizza di rientrare nelle scuole di tipo 2, ovvero con presenze contemporanee da 301 a 500 persone. L'accesso all'area per eventuali mezzi dei vigili del fuoco è previsto dalla direttrice su via Roccafranca, che presenta le caratteristiche richieste in termini dimensioni (larghezza minima 3,5m), altezza libera (minimo 4m), raggio di volta (minimo 13m) e pendenza (non superiore al 10%). Essendo un edificio inferiore ai 12m di altezza, non è necessario prevedere compar-

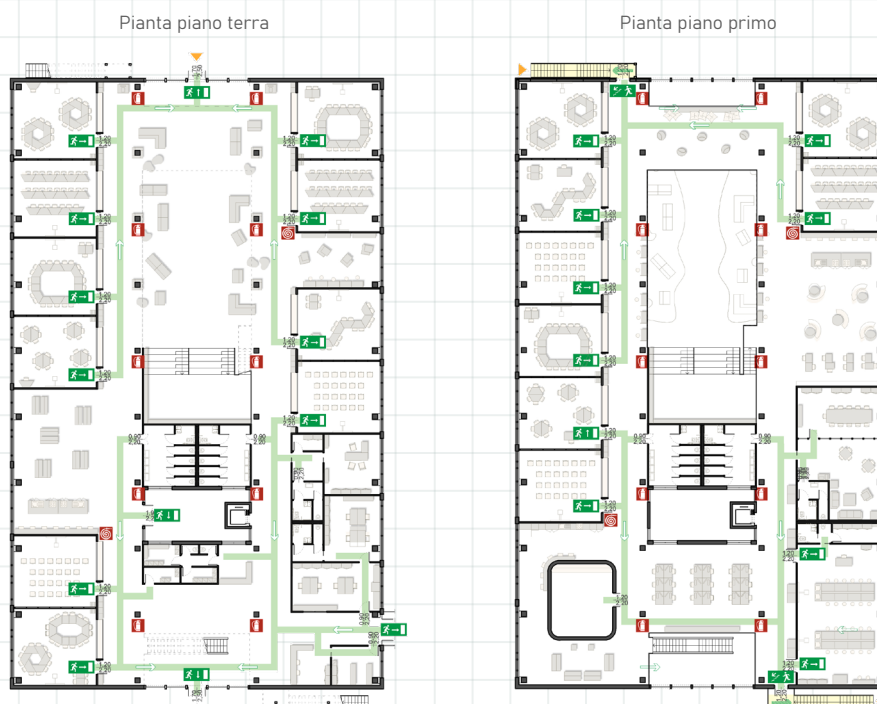


fig. 19 verifica prescrizioni prevenzione incendi (tav. D16)

timentazioni interne in quanto la relativa superficie massima compartimentale è di 6000m<sup>2</sup>. La norma prescrive inoltre il massimo affollamento da rispettare nei diversi ambienti scolastici, nonché la capacità di deflusso, pari a 60 persone per piano.

Un tema di grande rilevanza è quello delle vie di uscita: ogni scuola, infatti, deve essere provvista di un sistema organizzato di vie di uscita dimensionato in base al massimo affollamento ipotizzabile in funzione della capacità di deflusso. Ogni piano deve essere dotato di almeno due uscite di emergenza, posizionate in punti ragionevolmente contrapposti. Gli spazi frequentati dagli alunni o dal personale docente e non docente, se distribuiti su più piani, devono essere dotati, oltre che della scala che serve al normale afflusso, almeno di una scala di sicurezza esterna. Nel caso in esame la scuola era già dotata di due scale di emergenza esterne, quindi questa richiesta era già soddisfatta.

In merito alla larghezza delle vie di uscita, la norma prescrive che sia multipla del modulo di uscita (60cm) e mai inferiore a due moduli (1,20m), così come per le porte dei locali frequentati dagli studenti. La larghezza totale delle uscite di ogni piano è determinata dal rapporto fra il massimo affollamento ipotizzabile e la capacità di deflusso:

- max affollamento PT=affollamento aule + affollamento bagni + affollamento spazi docenti  
 $= (26 \cdot 10) + (6 \cdot 2) + 10 = 282$
- larghezza totale uscite piano terra= $282/50 \cdot 0,6m = 4,7 \text{moduli} \cdot 0,6m = 3,40m$
- max affollamento PT=affollamento aule + affollamento bagni + affollamento spazi docenti  
 $= (26 \cdot 8) + (6 \cdot 2) + 15 = 235$
- larghezza totale uscite piano primo= $235/50 \cdot 0,6m = 4,02 \text{moduli} \cdot 0,6m = 2,40m$

Nel progetto, sulla base delle prescrizioni appena descritte, le aule sono provviste di porte con luce di 1,2m che si apre nel senso dell'esodo: immettendosi sugli ambienti distributivi interni, le porte sono state studiate pin modo da non ridurre la lunghezza dei corridoi stessi. Per ogni piano sono previste due vie di uscita contrapposte, posizionate sui lati brevi Queste ultime si aprono nella direzione dell'esodo, sono dotate di maniglione di antipanico e, in linea con il dimensionamento appena effettuato, hanno una luce di 1,8m che verifica le richieste.

Ulteriori prescrizioni riguardano la lunghezza delle vie di uscita: questa, misurata dal luogo sicuro alla

porta più vicina allo stesso di ogni locale frequentato dagli studenti o dal personale docente e non docente, che non deve superare i 60m. Come si evince dalla tavola, sono state effettuate le verifiche del caso e il percorso più sfavorito per raggiungere il primo luogo sicuro ha una lunghezza di circa 34m. In merito all'impianto di protezione ed estinzione degli incendi, la norma prescrive il posizionamento di un estintore ogni 200m<sup>2</sup> di superficie di pavimento in assenza di ostacoli, con un minimo di 2 estintori per piano. Nel progetto è stato considerato che la superficie coperta dal singolo elemento estinguente si riduca del 50% qualora fossero presenti arredi inamovibili che ne ostacolano il raggiungimento. La capacità estinguente dovrà risultare non inferiore a 13°-89BC. Per scuole che eccedono le 100 presenze contemporanee è inoltre necessario prevedere una rete di idranti, del tipo NASPI 25: l'alimentazione deve garantire ai tre elementi più sfavoriti una pressione al bocchello di almeno 1,5bar. Per garantire i protocolli di soccorso dei vigili del fuoco deve essere previsto nei pressi dell'edificio scolastico un attacco per autopompa, nel nostro caso predisposto su via Roccafranca. Nella tavola si può verificare il soddisfacimento delle richieste in merito a estintori ed idranti, nonché le indicazioni per i percorsi di uscita e le vie di fuga.

### 9.3.3 Verifica delle prescrizioni per l'accessibilità

Il decreto del presidente della repubblica n°503 del 24.07.1996 elenca precise disposizioni in merito a singoli elementi per garantire l'accessibilità degli edifici scolastici, che di seguito si andranno a riassumere. Per garantire il passaggio della sedia a ruote, la luce netta minima delle porte deve essere di 90cm, con apertura verso l'esterno. I pavimenti non devono presentare dislivelli maggiori di 2,5cm, mentre per i parapetti è prescritta una altezza minima di 1 metro, e devono essere inattraversabili da una sfera di 10cm di diametro. Nel progetto sono state adottate delle strategie per rispondere a tali richieste, quali impiegare parapetti in vetro con lastre continue e soglie di spessore minimo.

Le prescrizioni relative ai servizi igienici riguardano le distanze minime tra i sanitari, il corrimano e le pareti, oltre a quelle specifiche riguardo le porte, che devono preferibilmente essere a libro o a battente

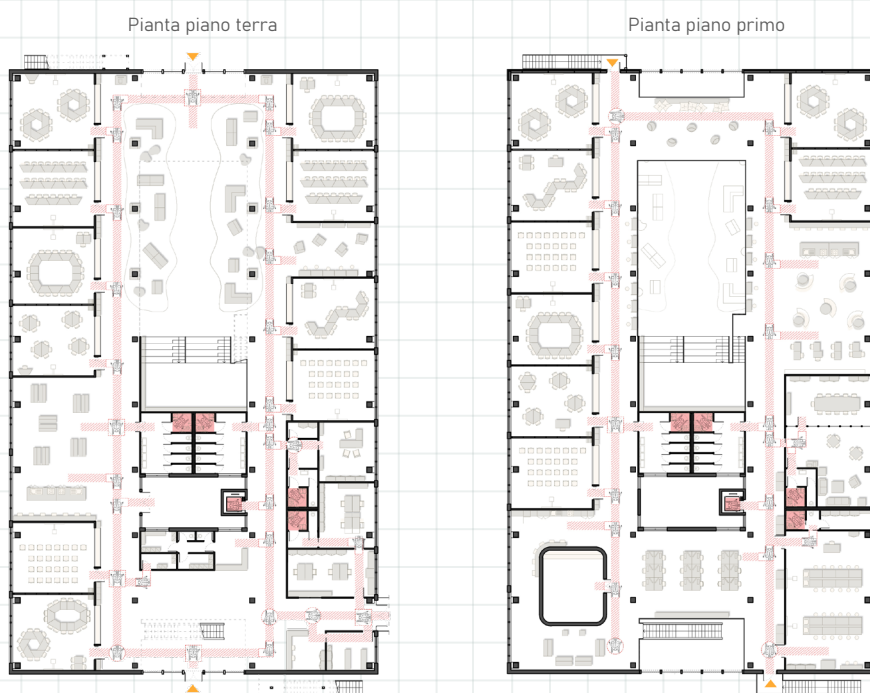


fig. 20 verifica prescrizioni prevenzione accessibilità (tav. D15)

verso l'esterno. Nel caso in esame si sono adottate aperture a libro con apertura nel senso dell'esodo con luce netta di 90cm. Anche la dimensione degli spazi dei percorsi orizzontali rispettano le dimensioni minime, in quanto misurano 2,9m nel punto più stretto a fronte di 1 m richiesto da normativa.

In merito alle scale sono state fatte valutazioni accurate: la scala esistente nell'atrio sud è stata mantenuta e rispetta integralmente le richieste della normativa; il nuovo scalone dell'agorà, essendo molto ampio, sarà dotato di più parapetti in corrispondenza dei punti di risalita. Anche per questo sono stati verificati i requisiti su alzata e pedata, larghezza minima, numero di gradini, corrimano. È stato mantenuto l'ascensore esistente in quanto, anche in questo caso, rispettava le dimensioni minime della cabina (1,4mx1,2m a fronte di un minimo richiesto di 1,4x1,1m) e della porta (0,8m a fronte di un minimo richiesto di 0,75m). Lo sbarco avviene direttamente sul corridoio, che in corrispondenza dell'ascensore ha una profondità di 3,6m, che quindi verifica il minimo di 1,4m.

In merito all'autorimessa, oltre a garantire 1 posto auto per disabili ogni 40 disponibili, sulla base delle richieste del suddetto decreto il parcheggio viene collegato alla quota stradale con un ascensore, e le rampe devono essere dotate di corrimano.

Anche gli spazi esterni sono soggetti a regolamentazioni, in quanto i percorsi devono garantire una larghezza minima di 90cm e presentare pendenze minime (longitudinale minore a 5%, trasversale minore a 1%). Per la sicurezza di utilizzo, la pavimentazione dei percorsi pedonali esterni deve essere in materiale antisdrucciolevole. Essendo le direttrici di progetto piane, di larghezza 6m, realizzate in cemento rasato, i parametri appena descritti risultano pienamente verificati.

### 9.3.4 Verifica dei parametri illuminotecnici

La fase di verifica dei parametri illuminotecnici ha previsto anzitutto una fase di modellazione dell'edificio con il software Dialux. Sulla base dei risultati ottenuti dalle simulazioni, si è proceduto ad una valutazione delle soluzioni da adottare per ottimizzare le condizioni di illuminazione naturale interna. L'analisi illuminotecnica è stata poi completata con un progetto dell'illuminazione artificiale dei principali spazi interni, realizzata nel rispetto della normativa vigente. Per queste verifiche verranno adottate principalmente la UNI 10840 "Luce e illuminazione dei locali scolastici", e la più recente UNI EN 12464-1 "Illuminazione dei luoghi di lavoro": mentre la prima prescrive dei valori minimi di illuminamento per gli spazi nel loro complesso, la seconda definisce il concetto di "compito visivo" e quindi la relativa "zona del compito visivo", per cui sono prescritti valori minimi stringenti e la zona immediatamente circostante il compito visivo, che invece prevede valori meno restrittivi.

#### 9.3.4.1 La fase di modellazione

La modellazione nel software Dialux ha previsto diverse fasi, che di seguito provvederemo brevemente a descrivere:

1. anzitutto è stato necessario definire la geometria degli spazi, modellando l'involucro opaco e poi i componenti trasparenti. In questa fase è necessario definire i fattori di riflessione dei materiali. Sulla base delle finiture superficiali scelte in fase di progettazione, si sono adottati valori di coefficiente di riflessione conformi a quelli consigliati dalla norma UNI EN 12464-1 per il calcolo delle luminanze:

- soffitto da 0,6 a 0,9
- pareti: da 0,3 a 0,8
- piani di lavoro: da 0,2 a 0,6
- pavimento: da 0,1 a 0,5

In questa fase è stato inoltre necessario modellare il contesto che influisce sull'illuminamento interno degli ambienti, che nel caso in esame coincide con i volumi del civic center



2. una seconda fase è quella relativa alla scelta delle scene di luce da analizzare: nel caso in esame, considerando l'utilizzo dell'edificio scolastico anche nei mesi estivi, si considerano le due condizioni di illuminamento considerate più sfavorevoli, ovvero i giorni di solstizio invernale (21 dicembre) ed estivo (21 giugno) entrambi con cielo coperto.

3. infine, prima di procedere con le simulazioni è stato necessario definire gli oggetti di calcolo sui quali eseguire le verifiche. La norma prescrive che i valori relativi alla luce naturale siano da valutarsi su una superficie orizzontale all'altezza di 0,85 m dal pavimento per gli ambienti di lavoro e 0,2m dal pavimento per le zone di transito. La superficie di calcolo deve essere impostata a una distanza di 1m dalle pareti al fine di trascurare i valori massimi e minimi. Per la valutazione dei parametri dell'illuminazione artificiale si imposta una superficie di riferimento ad 1,2m dal pavimento delle dimensioni pari a quelle del compito visivo. Nel caso delle aule, ad esempio, la superficie di calcolo impostata coincide con le dimensioni di un banco.

Una volta impostato correttamente il modello di calcolo abbiamo proceduto ad eseguire le verifiche dei principali parametri illuminotecnici al fine di scegliere le strategie illuminotecniche più adatte per garantire confort visivo, prestazione visiva e la sicurezza.

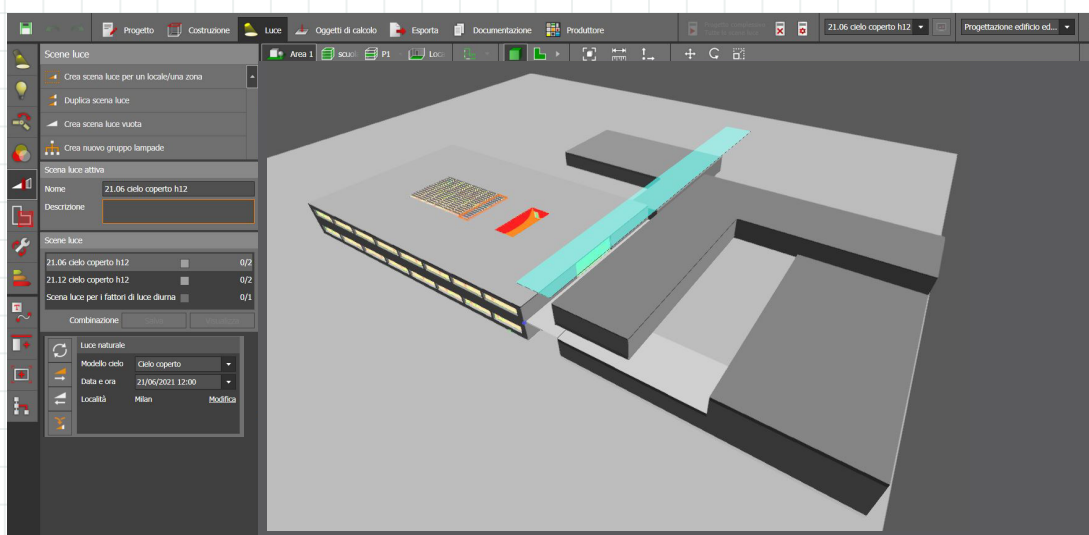


fig. 21 interfaccia Dialux - modellazione dell'edificio per le verifiche illuminotecniche

### 9.3.3.1 Verifiche luce naturale

In termini di luce naturale le suddette normative prescrivono la verifica dell'illuminamento medio, del fattore medio di luce diurna e dell'uniformità dell'illuminamento. La norma UNI 10840 provvede a definire tali parametri come:

- fattore medio di luce diurna (FLDm): è il rapporto espresso in percentuale tra l'illuminamento medio dell'ambiente  $E_m$  e l'illuminamento  $E_0$  che si ha nelle stesse condizioni di tempo e spazio, su una superficie orizzontale esterna che riceve luce dall'intera volta celeste, senza irraggiamento solare diretto. Questo parametro è quindi indipendente dal giorno considerato e dalle condizioni della volta celeste.
  - Illuminamento medio ( $E_m$ ): è il valore ottenuto dalla media dei valori di illuminamento rilevati all'interno di ambiente, calcolato con il rapporto tra il flusso luminoso e la superficie
  - fattore di luce diurna puntuale ( $\mu$ ): è il rapporto tra il valore minimo e il valore massimo di fattore di luce diurna ed è utilizzato per valutare l'uniformità della luce naturale all'interno degli ambienti
- I valori prescritti da normativa per i parametri appena illustrati sono riportati nella seguente tabella

LOCALE	$E_m$	$FLD_m$	$\mu$
Aule	300	$\geq 3$	$\geq 0,16$
Ingressi	200	$\geq 1$	$\geq 0,16$
Corridoi	100	$\geq 1$	$\geq 0,16$
Scale	150	$\geq 1$	$\geq 0,16$
Aula magna	200	$\geq 2$	$\geq 0,16$
Sale professori	300	$\geq 2$	$\geq 0,16$
Biblioteca	500	$\geq 3$	$\geq 0,16$

tab. 2 parametri di verifica per la luce naturale

Il regolamento d'igiene prevede una deroga per gli edifici esistenti in cui non sia possibile (o risulti estremamente oneroso) un intervento sull'involucro al fine di migliorare le condizioni illuminotecniche (e quindi verificare i suddetti parametri). In questi casi è sufficiente verificare che le condizioni di progetto degli spazi esistenti non siano peggiorative di quelle dello stato di fatto.

Nel caso in esame si adotta tale semplificazione in quanto non risulta conveniente un intervento di modifica dei pannelli di facciata in calcestruzzo.

Dalle analisi sulle condizioni illuminotecniche dello stato di fatto era emerso come molti ambienti non rispettassero pienamente i parametri richiesti da normativa. Ciò dovuto principalmente dalla profondità delle aule e alla scarsa superficie vetrata. Per ovviare a tali problematiche, mantenendo però il principio di minimo intervento, sono state adottate le seguenti strategie:

1. minore profondità dei nuovi spazi didattici:

in fase di progettazione si è prestata attenzione affinché i nuovi spazi didattici avessero una profondità minore (seppur di poco) rispetto alle aule esistenti;

2. lucernario in copertura:

si ipotizza di sfruttare per questo intervento le copelle che già dispongono di una parziale superficie vetrata, le quali dovrebbero essere rimosse a favore di una copertura vetrata. Il sistema che si intende adottare prevede travi reticolari con passo di 2m appoggiate alle travi TI di copertura. Su queste ultime poggiano travetti ortogonali con passo di 1m a cui sono fissati i "ragni" che sorreggono le vetrate.

3. interazione visiva delle aule con gli altri ambienti: per sfruttare appieno gli apporti solari garantiti da lucernario, le nuove aule saranno dotate di una grande superficie vetrata sul lato interno. Questa strategia, oltre a migliorare le condizioni di illuminazione degli spazi didattici, permette di creare una relazione tra questi ultimi e gli spazi collettivi. Ciò a riprova del superamento della centralità dell'aula nel nuovo modello di apprendimento, vista ora come un importante spazio di gruppo ma non per questo autosufficiente.

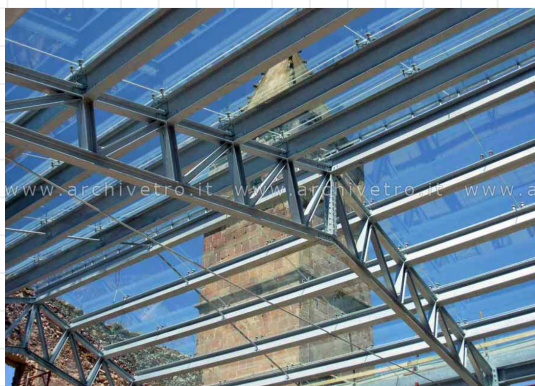


fig. 22 lucernario agorà - riferimento progettuale

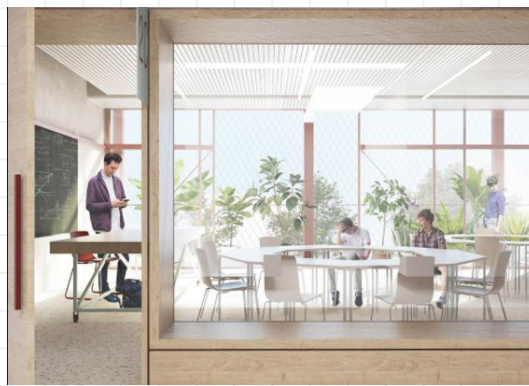


fig. 23 connessione visiva tra l'aula e gli altri ambienti- riferimento progettuale

Una volta realizzato il modello in Dialux comprensivo di tali interventi abbiamo provveduto a eseguire simulazioni sull'intero edificio nelle condizioni di luce già illustrate. I grafici evidenziavano uno sbilanciamento tra una porzione centrale esageratamente esposta alla luce zenitale e tutti gli altri ambienti posti ai lati. In base a tali risultati abbiamo provveduto a definire le schermature da adottare:

1. per gli ambienti didattici, posti in corrispondenza dei lati più lunghi, non è stato possibile intervenire con schermature esterne né orizzontali né verticali perché compromettevano ulteriormente le già carenti condizioni di illuminazione. Per questi ambienti si prevede l'utilizzo di tende avvolgibili interne di colore bianco, mediamente traslucide o perforate ( $g_{sh} + g_{l,b/d} = 0,40$ ) per evitare l'abbagliamento nei mesi estivi.

2. per l'agorà a doppia altezza, in corrispondenza del grande lucernario si prevede di adottare schermature esterne al fine di garantire omogeneità dell'illuminazione naturale. Sono state eseguite simulazioni con diverse condizioni di luce, sia nella stagione estiva che in quella invernale: la soluzione che ha restituito i migliori risultati, e che quindi adotteremo, è quella che prevede breil soleil esterni con passo di 50cm, inclinati di  $45^\circ$  rispetto all'orizzontale.

La simulazione eseguita con queste strategie restituisce i valori riportati di seguito: i parametri di progetto in termini di E, FLDM e uniformità sono migliorativi rispetto a quelle dell'edificio nello stato di fatto, e quindi per i motivi già citati si considerano verificati. Le carenze verranno quindi integrate con un adeguato progetto di illuminazione, che andremo di seguito ad ipotizzare.

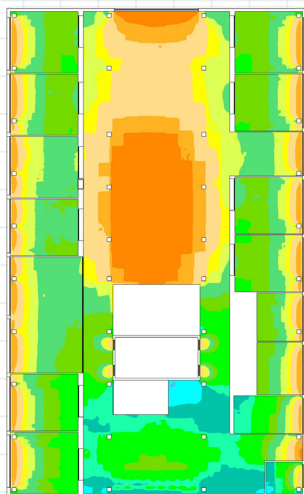


fig. 24 grafico PT simulazione 21.06 cielo coperto



fig. 25 grafico PT simulazione 21.12 cielo coperto

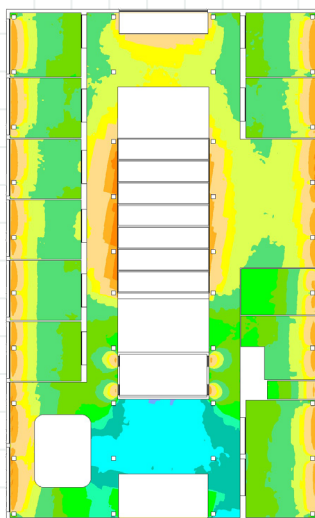


fig. 26 grafico P1 simulazione 21.06 cielo coperto

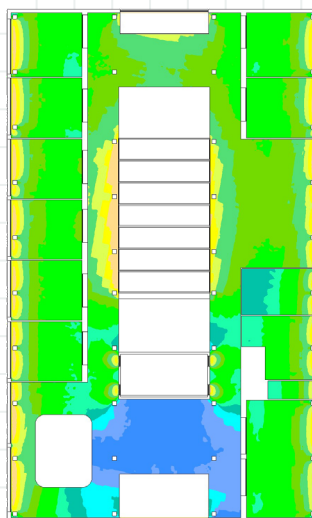


fig. 27 grafico P1 simulazione 21.12 cielo coperto

### 9.3.3.2 Verifiche luce artificiale

Secondo le norme UNI EN 12464-1 è necessario analizzare, Per quanto riguarda l'illuminazione artificiale, l'abbagliamento molesto e l'uniformità delle luminanze, entrambi valutati nella zona del compito visivo.

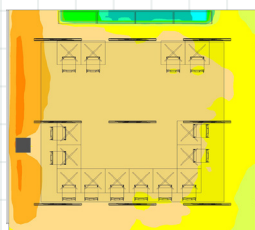
Di seguito si riportano i valori massimi prescritti dalla suddetta normativa:

LOCALE	UGR	U	Ra
Aule	< 19	$\geq 0,7$	> 80
Ingressi	< 22	$\geq 0,7$	> 80
Corridoi	< 25	$\geq 0,7$	> 80
Scale	< 25	$\geq 0,7$	> 80
Aula magna	< 22	$\geq 0,7$	> 80
Sale professori	< 19	$\geq 0,7$	> 80
Biblioteca	< 19	$\geq 0,7$	> 80

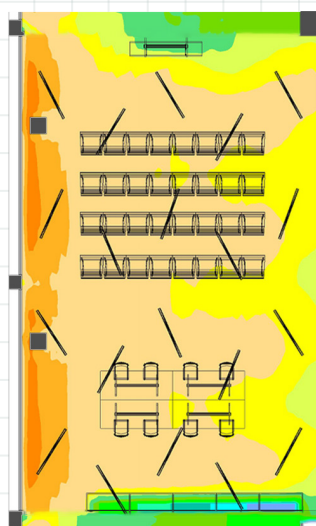
tab. 3 parametri di verifica per la luce artificiale

In questa sede sono state ipotizzate le configurazioni di illuminazione artificiale dei principali ambienti presenti nell'edificio scolastico. Si adottano lampade a led con valori di UGR e Ra adeguati (UGR<19 e Ra>80): nelle aule verranno alloggiate direttamente nel controsoffitto ligneo, negli spazi comuni saranno invece appese rimanendo a vista. Nelle aule la disposizione dei corpi illuminanti è regolare e ha direzione ortogonale alle finestre per non influenzare il posizionamento delle pareti mobili. Negli spazi comuni invece i corpi illuminanti seguono una logica più libera, in modo da generare un contesto più accattivante e stimolante.

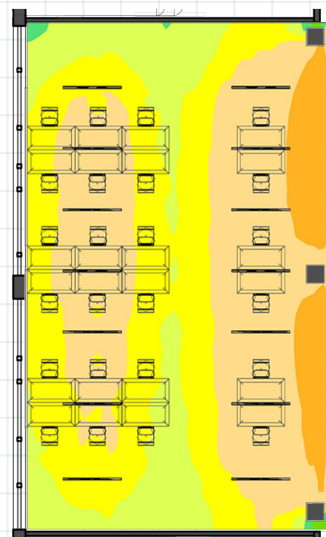
AULA OVEST
UGR = 18,6 lux
Ra = 90
U > 0,73



AULA OPEN
UGR = 19,8 lux
Ra = 90
U > 0,73



LABORATORIO
UGR = 17,4 lux
Ra > 90
U > 0,73



Come si evince dai risultati riportati di seguito la progettazione ipotizzata risponde correttamente alle richieste da normativa, motivo per cui si considera verificato



# 10

## Il progetto tecnologico

---

---

10.1 Parametri e caratteristiche prestazionali di verifica	.....
10.2 Le nuove tecnologie	.....
10.3 Le verifiche	.....



## Premessa

Negli ultimi decenni si è assistito ad un'inversione dell'approccio nella progettazione degli edifici. L'evidente problema del cambiamento climatico ha infatti messo in discussione le precedenti tecniche costruttive: oggi si è consapevoli di quanto sia indispensabile mirare ad ottenere edifici efficienti, che richiedano minore energia per il loro funzionamento e che limitino le emissioni di anidride carbonica, con un conseguente riduzione dei costi in bolletta. Parallelamente è cresciuto l'interesse a creare un habitat interno che soddisfi elevati livelli di confort.

Il progetto tecnologico ha previsto diverse fasi che di seguito provvederemo ad illustrare:

1. definizione dei parametri e delle caratteristiche richiesti da normativa, sia per l'involucro opaco sia per quello trasparente;
2. ipotesi di pacchetti tecnologici, delle parti trasparenti sulla base delle restrizioni imposte da normativa;
3. verifica delle stratigrafie valutazione dei risultati conseguiti.

I principali parametri che derivano dalla localizzazione sono definiti dal D.P.R. n° 412 26.08.1993. Operando su un edificio scolastico di Chiari, in provincia di Brescia, si deducono questi parametri:

- Zona E: comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 2.100 e non superiore a 3.000;
- E.7 Edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili;
- temperature interne: 20 °C +2 °C di tolleranza per gli edifici rientranti nelle categorie diverse da E.8
- impianto di climatizzazione invernale: per la zona E, l'esercizio degli impianti termici è consentito per 14 ore giornaliere dal 15 ottobre al 15 aprile

La principale norma a cui si fa riferimento per le verifiche sui singoli componenti tecnologici, nonché quelle successive sull'intero edificio, è il decreto "requisiti minimi" DM 26.06.2015. In merito ad esso, necessitiamo di illustrare alcune specifiche indispensabili per comprendere pienamente quali approcci verranno analizzati nell'adozione della normativa:

- intervento di "ristrutturazione di primo livello": si intende un intervento che interessa gli elementi e i componenti integrati costituenti l'involucro edilizio delimitanti un volume a temperatura controllata dall'ambiente esterno e da ambienti non climatizzati, con un'incidenza superiore al 50 per cento della superficie disperdente lorda complessiva dell'edificio e comporta il rifacimento dell'impianto termico per il servizio di climatizzazione invernale e/o estiva asservito all'intero edificio. In caso di ristrutturazione importante di primo livello i requisiti sono determinati con l'utilizzo dell'edificio di riferimento. L'intervento che proponiamo rientra in questa categoria, motivo per cui le verifiche sugli elementi dell'involucro, nonché sull'involucro nel suo complesso dovranno essere eseguite impiegando l'edificio di riferimento. Con edificio di riferimento si intende un edificio identico, a quello analizzato 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.

- edificio non residenziale: trovandoci in questa casistica la suddetta norme prevede che lo studio comprenda i requisiti energetici minimi degli impianti di illuminazione, con particolare attenzione all'interazione fra luce naturale e luce artificiale, degli ascensori e delle scale mobili

Infine si ricorda che, secondo il DDUO 2456/17, trovandoci nella casistica di installazione di impianti termici con pannelli radianti a pavimento o a soffitto le altezze minime dei locali di abitazione previste al primo e al secondo comma del decreto ministeriale 5 luglio 1975, possono essere derogate, fino a un massimo di 10cm.



## 10.1 Parametri e caratteristiche prestazionali di verifica

Complessivamente, i parametri prestazionali di un involucro edilizio si possono distinguere in parametri di trasmissione termica e parametri di trasmissione solare. In questo capitolo si approfondirà la categoria relativa ai parametri di trasmissione termica, cioè dovuti ad una differenza di temperatura dell'aria tra esterno ed interno. Riportiamo di seguito la tabella in cui sono riportati i principali indicatori, i componenti sottoposti a verifica e la presenza o meno di valori limite. 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.

INDICATORI	COMPONENTI INTERESSATI	VALORI LIMITE ESISTENTI
trasmittanza	opaco + trasparente	X
sfasamento dell'onda termica	opaco	
attenuazione dell'onda termica	opaco	
trasmittanza termica periodica	opaco	X

tab. 1 parametri prestazionali di verifica

### 10.1.1 Parametri di verifica dell'involucro opaco

#### 10.1.1.1 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 limitare. I valori limite di U, considerati comprensivi dell'effetto dei ponti termici, vengono riportati dal DM 26.06.2015 in funzione della zona climatica in cui si attua l'intervento. Considerando che si tratta di un intervento di ristrutturazione di primo livello, i valori sono quelli indicati per l'edificio di riferimento, riportati nell'appendice A del suddetto decreto. Il progetto studio è localizzato in provincia di Brescia, assegnata in zona climatica E dal D.P.R. n° 412 26/08/1993 e successivi aggiornamenti, con le sottostanti soglie limite.

ZONA CLIMATICA (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	1,4

tab. 2 parametri di trasmissione termica

#### 10.1.1.2 Trasmittanza termica periodica e massa superficiale

La trasmittanza termica periodica è il parametro che valuta la capacità di una chiusura opaca di sfasare ed attenuare la componente periodica del flusso termico che la attraversa nell'arco delle 24 ore, definita e determinata secondo la norma UNI EN ISO 13786:2008 e successivi aggiornamenti. Insieme alla massa superficiale, è il parametro che deve essere valutato dal progettista per ridurre i consumi

energetici per la climatizzazione estiva e di contenere la temperatura interna degli ambienti. Per la trasmittanza termica periodica, definita come il prodotto tra il fattore di attenuazione e la trasmittanza termica stazionaria, il DM 26/6/2015 indica i seguenti valori limite.

ELEMENTO TECNICO	$Y_{ie}$ [W/m <sup>2</sup> 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.3 valori di verifica della trasmittanza termica periodica

In alternativa a tale verifica, lo stesso decreto prescrive che, per tutte le pareti verticali opache con l'eccezione di quelle comprese nel quadrante nord-ovest/nord/nord-est, il valore della massa superficiale  $M_s$  sia superiore a 230 kg/m<sup>2</sup>.

### 10.1.1.3 Sfasamento e attenuazione dell'onda termica

Lo sfasamento dell'onda termica è il ritardo temporale tra il massimo del flusso termico entrante nell'ambiente interno ed il massimo della temperatura dell'ambiente esterno e quindi, applicato ad un componente edilizio, indica la sua capacità di accumulare il calore e rilasciarlo dopo un certo numero di ore. L'attenuazione dell'onda termica è invece la capacità di attenuare le oscillazioni della temperatura ambiente dovuta ai carichi termici interni ed esterni variabili durante l'arco della giornata. Le linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici (DM 26.06.2009), definiscono il fattore di attenuazione, o fattore di decremento, come il rapporto tra il modulo della trasmittanza termica dinamica e la trasmittanza termica in condizioni stazionarie.

Per la verifica di questi parametri ci si riferisce infatti al DM 26.06.2009, che riporta coppie di valori  $S - fa$  a cui associa determinate classi prestazionali dell'involucro, da "ottima" a "mediocre".

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

tab.4 valori di verifica del fattore di attenuazione e dello sfasamento dell'onda termica

Il D.lgs. 48/2020 ha inoltre definito che dal 1° gennaio 2021 tutti gli edifici di nuova costruzione, dove sia prevista una demolizione e una ricostruzione, o sottoposti a interventi di ristrutturazione di I livello, debbano essere obbligatoriamente NZEB. Ecco perché ai parametri fin ora analizzati sui singoli componenti tecnologici dovranno essere affiancati a quelli atti a soddisfare le richieste per questo tipo di edifici. Per questi parametri si rimanda al capitolo successivo, dove l'involucro verrà analizzato nel suo complesso.

### 13.1.3 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 pres-sioni di saturazione e quella delle pressioni parziali.

fig. 1 verifiche parete perimetrale CV01

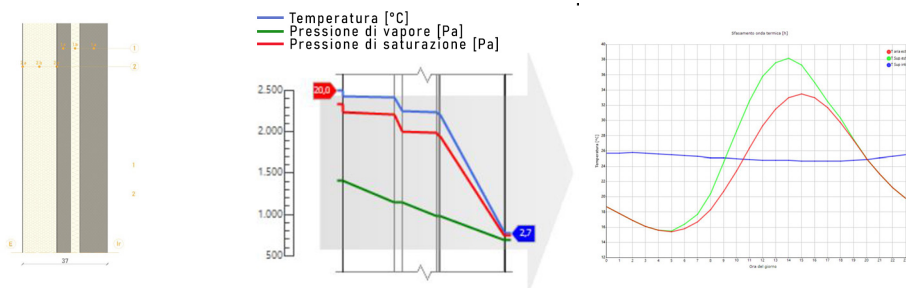


fig. 2 verifiche solaio controterra C001

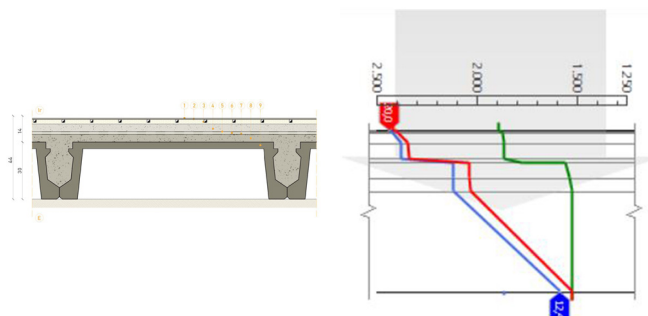


fig. 3 verifiche solaio copertura tipo 1 C002

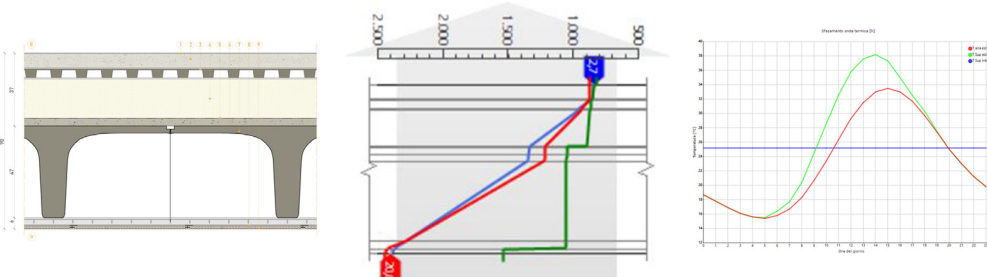
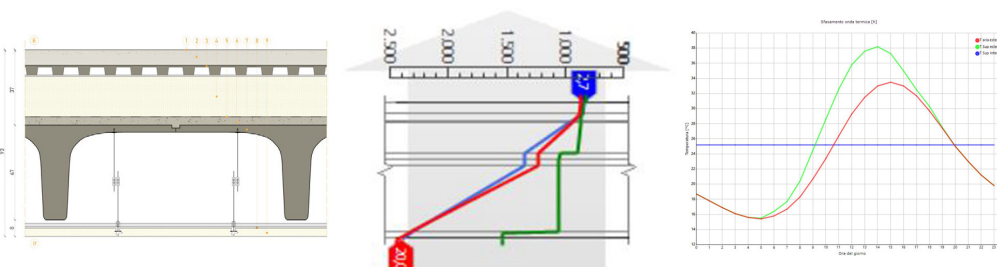


fig. 4 verifiche solaio copertura tipo 2 C003



## 10.1.2 Parametri di verifica dell'involucro trasparente

Trattandosi di riqualificazione energetica di primo livello, la normativa prevede che la verifica dei componenti finestrati non avvenga sul valore del fattore di trasmissione globale di energia solare, ovvero

$g_{gl+sh}$  come avviene per gli interventi di riqualificazione energetica, bensì sull'area equivalente estiva. Lo scopo è sempre quello di verificare il contributo delle superfici trasparenti nel contenimento della temperatura interna degli ambienti nella stagione estiva, ma applicando delle condizioni più stringenti

#### 10.1.2.1 Parametro $A_{sol,est}/A_{sup}$ utile

Per valutare le prestazioni dell'involucro nel periodo estivo la norma prevede infatti la verifica del parametro  $A_{sol,est}/A_{sup}$  utile, illustrato nell'appendice A del D.M.26.06.2015. Il rapporto tra l'area solare equivalente estiva dei componenti finestrati e l'area della superficie utile deve essere inferiore al valore fissato da normativa in base alla categoria d'edificio. Tale parametro verrà verificato nel capitolo 13 quando si tratteranno nel dettaglio gli indici di verifica dell'intero edificio, motivo per cui non verrà indagato ulteriormente in questa sede.

## Le nuove tecnologie 10.2

Una volta individuati i parametri di verifica delle tecnologie, abbiamo provveduto ad analizzare le possibilità progettuali fornitoci dall'edificio esistente, e quindi alle possibili modifiche delle stratigrafie esistenti e la scelta dei nuovi componenti trasparenti. Questi paragrafi hanno quindi lo scopo di illustrare le modifiche che apporteremo alle stratigrafie esistenti. L'efficacia a livello globale delle scelte adottate in questo capitolo verrà invece verificata nei capitoli successivi.

### 10.2.1 Il nuovo involucro opaco

Gli interventi proposti sulle stratigrafie sono il risultato della risoluzione di diverse problematiche, nonché di perseguimento di diversi obiettivi. L'edificio esistente, così come illustrato dalle relazioni del Comune di Chiari, presenta un evidente problema energetico, che si riflette non solo sul conto in bolletta, ma anche sulla vivibilità degli ambienti. Il confort, insieme alle prestazioni energetiche e statiche, sono stati gli obiettivi che ci hanno guidato in questa fase di scelta.

Come accennato nei capitoli precedenti, l'edificio esistente è costituito da una struttura a telaio di travi e pilastri in cls prefabbricato e solai costituiti da elementi prefabbricati in calcestruzzo precompresso, chiamate "coppelle". Questa composizione ha influito non poco nelle nostre scelte, sia a livello architettonico, sia a livello impiantistico. In primo luogo abbiamo evitato quanto più possibile di intervenire sulle coppelle per non ledere la stabilità globale e quindi, come si vedrà nel dettaglio in seguito, sono state evitate alcune integrazioni impiantistiche perché avrebbero necessariamente previsto la foratura estensiva di tali elementi. A livello architettonico invece, data la vetustà dell'edificio, si è voluto (e dovuto) sfruttare le parti che prevedevano una doppia altezza per evitare il difficile reperimento di elementi di solaio identici a quelli preesistenti.

A tali valutazioni di carattere generale si devono poi aggiungere quelle relative al consolidamento strutturale. Lasciando al capitolo apposito il compito di chiarire i termini di questo intervento, in questa sede ci si limita ad accennare l'approccio che ha determinato le scelte leggibili dai pacchetti tecnologici. A livello cautelativo, per i solai si prevede la rimozione integrale degli strati al di sopra delle coppelle, ovvero cappa, massetto e pavimentazione: sulle coppelle verrà gettato un nuovo strato strutturale in microcalcestruzzo in grado di fornire maggiore rigidità, che deve essere inoltre reso opportunamente collaborante con le strutture verticali mediante idonei metodi di connessione.

### 10.2.1.1. Solaio controterra

Per il solaio controterra, data la necessità di ridurre quanto più possibile gli spessori, è stato adottato un pannello isolante sottovuoto ad altissima efficienza, composto da un nucleo (core) principalmente in fibra di vetro e da una speciale incamiciatura in tessuto in fibra di vetro, e alluminio. Questo pannello, in base alle indicazioni fornitoci dal produttore, deve essere posato previa stesura di uno strato in TNT, e deve a sua volta essere ricoperto da un ulteriore strato in TNT. La posa deve essere completata infine con il getto di un massetto di 4cm. Nel caso in esame si prevede l'utilizzo di un massetto alleggerito per ridurre il carico totale gravante sulle coppelle. Questo sistema, oltre a garantire ottime prestazioni termiche in uno spazio ridottissimo, permette la posa di sistemi di riscaldamento radiante sopra al massetto. Nel caso in esame, per rispondere ancora una volta alle necessità di uno spessore ridotto, si adotta un sistema a riscaldamento radiante a bassa inerzia, costituito da un pannello in EPS preaccoppiato con uno strato termodiffusione in alluminio dotato di scanalature per l'alloggiamento della tubazione e completato da una lastra in fibre sintetiche ad altissima resistenza meccanica. Quest'ultima, oltre a fungere da ripartitore dei carichi, provvede ad attenuare il rumore da calpestio. Infine, trattandosi di un edificio scolastico, si è optato per un rivestimento in linoleum. Questa finitura, oltre a lasciare un'ampia libertà in termini di colori e texture, risponde anche a necessità di igiene in quanto non prevede fughe, e permette la realizzazione delle sgusce in corrispondenza dei punti di contatto con i muri, agevolandone la pulizia. Il solaio che si propone ha un peso poco superiore alla stratigrafia esistente, (168 kg/m<sup>2</sup> stato di fatto - 183Kg/m<sup>2</sup> progetto) considerando inoltre che il peso del microcalcestruzzo, essendo uno strato di irrigidimento collaborante con l'elemento di solaio non corrisponde ad un peso portato, in quanto contribuisce alla stabilità.

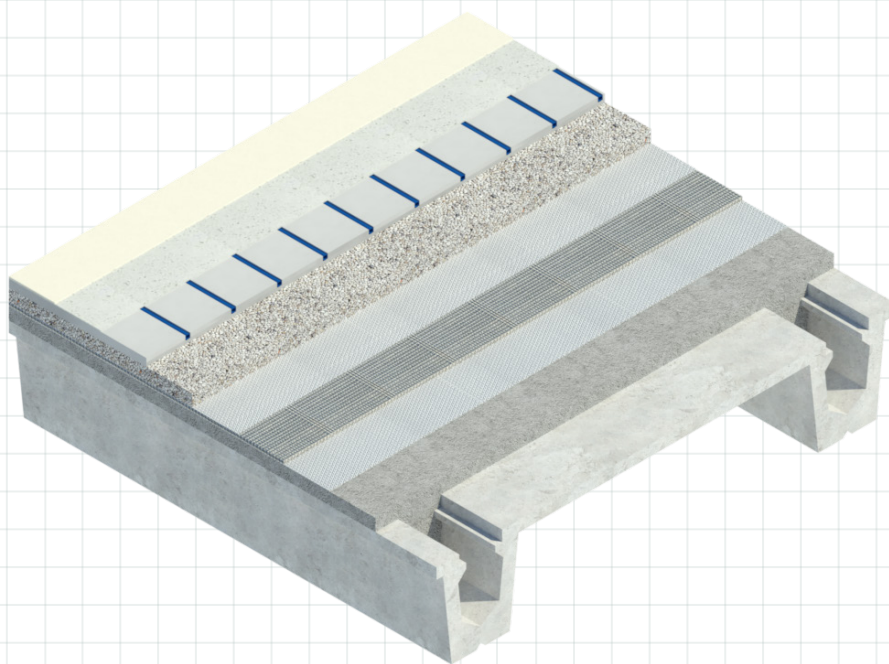


fig. 5 stratigrafia C001 di progetto (tav. E01)

### 10.2.1.2. Solaio interpiano

Per il solaio interpiano sono state adottate le medesime soluzioni di riscaldamento radiante e rivestimento. Come nel solaio controterra inoltre è previsto uno strato di rinforzo in microcalcestruzzo a contatto con gli elementi di solaio. A di sopra di quest'ultimo, essendo una partizione orizzontale tra due spazi riscaldati, si è provveduto ad inserire un tappetino acustico anticalpestio, ricoperto a sua volta di uno strato di massetto autolivellante di 4cm, in modo da ridurre il più possibile lo spessore complessi-

vo del pacchetto tecnologico. Anche in questo caso la differenza di peso gravante sulla coppella tra lo stato di fatto e il progetto è minima ( $168\text{kg}/\text{m}^2$  stato di fatto -  $178\text{kg}/\text{m}^2$  progetto) e rimangono valide le considerazioni già fatte sullo strato di irrigidimento. Il pacchetto sarà completato nell'intradosso da un sistema di controsoffitto: si è optato per uno in legno, con trama costituita da listelli perpendicolari alle pareti perimetrali per gli spazi confinati, e per un controsoffitto in quadrotti chiari per le parti comuni. Queste scelte sono state frutto dell'analisi cromatica interna, nonché dalla verifica dei coefficienti di riflessione in base alla norma UNI EN 12464-1. In entrambi i casi il sistema ha proprietà di isolamento acustico, in modo da garantire le richieste di prestazioni acustiche richieste per gli edifici scolastici.

### 10.3.1.3 Solaio copertura

Per il pacchetto di copertura si è optato principalmente per soluzioni quanto più possibile prefabbricate, che richiedessero il minor tempo possibile per la posa e assemblaggio. La sfida è stata però far coincidere questo obiettivo con alcune peculiarità della copertura esistente. Ricordiamo anzitutto che i pilastri, che ospitano al loro interno i pluviali per la raccolta dell'acqua piovana, in copertura sono dotati di bocchettone con paraghiaia e quindi sia necessario ricreare pendenze adeguate per lo scolo. Una seconda esigenza è stata quella di rafforzare le cospelle di copertura: a differenza dei solai controterra e interpiano, che erano già dotata di uno strato di cappa cementizia, la copertura esistente è realizzata a secco e quindi non è definibile come diagramma rigido. Anche in questo caso si prevede quindi la posa di uno strato in microcalcestruzzo per il rafforzamento delle cospelle. Per garantire l'isolamento termico della copertura si adotta un sistema preaccoppiato costituito da un pannello in Neopor con una lasta di 6mm di Acquapanel Cement Board. Al di sopra verranno posizionati degli elementi prefabbricati per realizzare una ventilazione in copertura. Al di sopra di essi verrà gettato il massetto, anche in questo caso alleggerito per evitare il sovraccarico degli elementi strutturali,

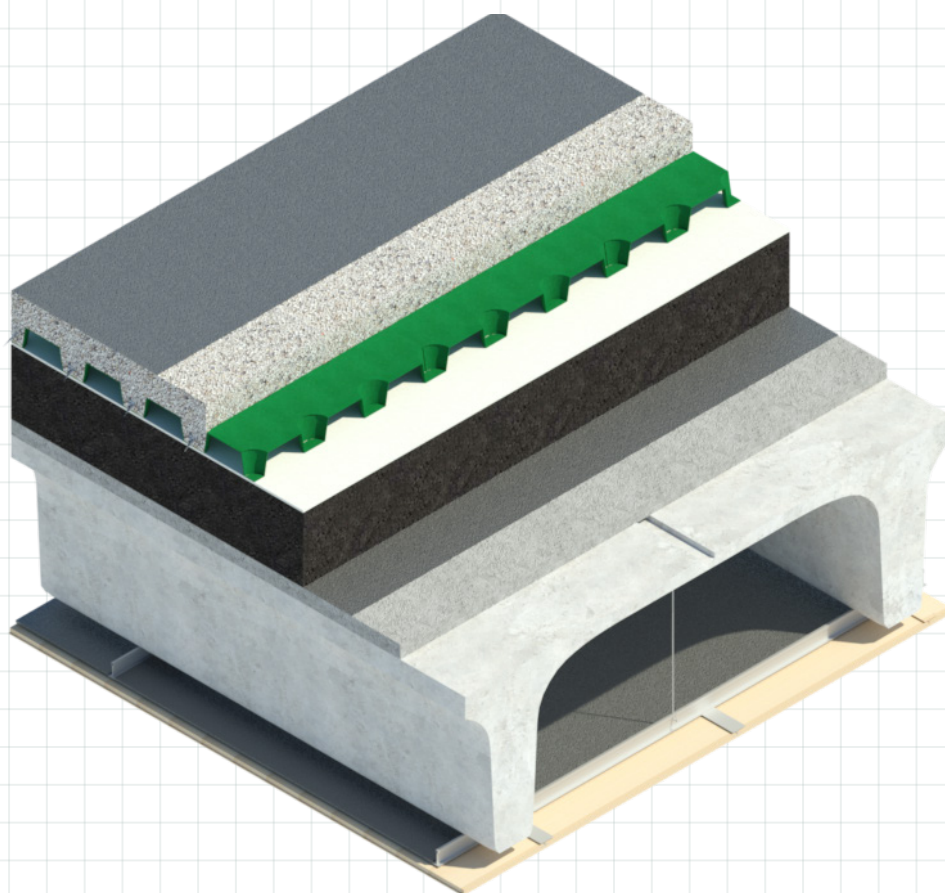


fig. 6 stratigrafia C002 di progetto (tav. E01)

#### 10.2.1.4 Parete perimetrale

L'intervento sulle pareti perimetrali è quello che ci è stato più a cuore in quanto ha previsto la realizzazione di una tecnologia adattata ad hoc per la tipologia edilizia da noi analizzata. Il tema verrà trattato in modo approfondito nel capitolo 11.

### 10.2.2 Il nuovo involucro trasparente

L'intervento sull'involucro trasparente prevede anzitutto la rimozione dei serramenti esistenti: questi, infatti, realizzati con telaio in acciaio senza taglio termico e vetro singolo, costituiscono una delle più consistenti porzioni di consumo energetico dell'intero edificio. Questi verranno sostituiti con infissi altamente performanti in PVC con triplo vetro, di cui due lastre con trattamento basso-emissivo.

Il vetro scelto è altamente performante sia in termini di prestazioni termiche ( $U_g$  0,6 W/m<sup>2</sup>K), sia in merito alla capacità di trasmissione delle radiazioni luminose ( $g$  0,60, LT 0,77).

L'unica eccezione è stata fatta per i vetri del lucernario nell'agorà, dove data l'incidenza dei raggi zenitale si prevede di installare vetri a controllo solare ( $U_g$  1,1 W/m<sup>2</sup>K,  $g$  0,48). LT 0,74 Per garantire condizioni termo-igrometriche ottimali all'interno della scuola si prevede l'installazione di serramenti fissi, realizzati nella variante montante-traverso

## 10.3 Le verifiche

Di seguito si illustra il superamento delle verifiche sui pacchetti tecnologici dell'involucro opaco, realizzate grazie alla modellazione con il software Termolog. Per la verifica del parametro insistente sugli elementi dell'involucro trasparente si rimanda al capitolo 13, in cui verrà indagato nel dettaglio il progetto energetico e le relative verifiche sull'involucro.

SIGLA	DESCRIZIONE ELEMENTI TECNICI OPACHI	$U_m$	$Y_{ie}$	$\Phi$ [h]	fa
C.O.01	Solaio controterra	0,061 < 0,26	0,00 < 0,18	-	0,00 < 0,15
C.O.02	Solaio copertura - tipo 1	0,036 < 0,26	0,00 < 0,18	23h 43min	0,00 < 0,15
C.O.03	Solaio copertura - tipo 2	0,037 < 0,26	0,00 < 0,18	23h 50min	0,00 < 0,15
C.V.01	Parete perimetrale	0,167 < 0,26	0,01 < 0,1	12h 03min	0,06 < 0,15

tab.5 repilogo delle verifiche dei pacchetti tecnologici







# 11

## La nuova pelle: il pannello CASA

11.1 Gli obiettivi

11.2 Le proposte sul mercato

11.3 La composizione del pannello CASA

11.3 La geometria del pannello CASA

11.4 Le verifiche

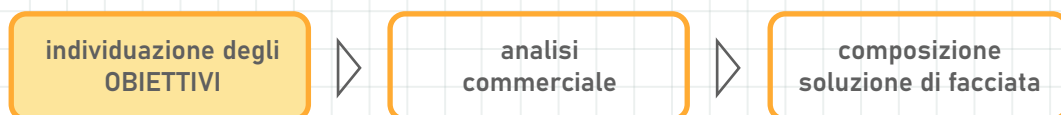


## Gli obiettivi 11.1

L'ipotesi di una soluzione tecnologica di facciata nasce principalmente da due esigenze: la necessità di garantire elevate prestazioni energetiche all'edificio e l'intenzione di fornire alla scuola una nuova immagine di facciata. Data la sua estensione spaziale, l'involucro opaco di facciata costituisce in media il 30% delle dispersioni dell'interno edificio, motivo per cui è stato indispensabile agire su esso. Si evidenzia inoltre che le facciate dell'edificio in esame, così come quelle degli altri casi studio rientranti nella tipologia considerata, sono costituiti da pannelli prefabbricati in calcestruzzo in cui la percentuale di isolante corrisponde a 1/9 del volume complessivo, il che incide parecchio sulle prestazioni complessive.

Oltre alle prestazioni termiche, gli obiettivi sostenuti sono quelli della leggerezza, sostenibilità ed economicità. Inoltre, in linea con le intenzioni espresse nel capitolo 4, a guidare queste intenzioni anche l'obiettivo della reinterabilità, ovvero adottare una soluzione tecnologica che sia facilmente adattabile e quindi riproponibile su edifici che, come quelli della catalogazione da noi proposta, riportano caratteristiche simili in termini di involucro e struttura.

Data l'evidente vastità degli intenti e delle analisi compiute, si indagheranno singolarmente gli obiettivi che intendiamo perseguire, spiegando in che modo ha influito la preesistenza e quali sono state le nostre risposte in merito, ovvero le soluzioni proposte. Prima di procedere, è bene però ribadire che le facciate su cui insisterà la nuova tecnologica sono realizzate con pannelli prefabbricati in calcestruzzo non strutturali, fissati al telaio strutturale tramite fissaggi puntuali. Questo basta a far capire come la soluzione che verrà proposta non debba intaccare la stabilità dell'edificio esistente, né modificando lo schema statico su cui si basa, né gravando con un peso che non sia in grado di reggere.



### Praticità

Il motivo alla base di questa esigenza è strettamente legato alla destinazione d'uso degli immobili su cui verrà proposta tale tecnologia: essendo edifici scolastici, ci si è posti l'esigenza di realizzare una soluzione che non prevedesse lunghe fasi di montaggio, in modo che i lavori potessero essere realizzati nel periodo di vacanza estiva, senza creare interruzioni nella didattica o trasferimenti in altri edifici. Questa esigenza ha ristretto notevolmente il campo delle soluzioni adottabili, e ci ha fatto propendere per una soluzione prefabbricata, che quindi lasciasse in cantiere solamente l'onere del fissaggio.

### Spessore ridotto

L'esigenza di una soluzione quanto più possibile sottile deriva anzitutto da questioni illuminotecniche, ovvero dalla volontà di non svantaggiare gli spazi interni con un'imbotte troppo elevato; a questo si uniscono questioni pratiche, legate alle difficoltà di fissaggio di elementi molto spessi ad un edificio esistente con facciate non strutturali. Si è dovuto inoltre escludere l'idea di una facciata ventilata o comunque una soluzione che prevedesse intercapedini d'aria, in quanto avrebbe creato evidenti difficoltà di risoluzione dei ponti termici in corrispondenza delle finestre. Queste ultime, inoltre, gravando con un peso non trascurabile, non potranno essere alloggiate in corrispondenza del nuovo pacchetto tecnolo-

gico in quanto non strutturale, e inoltre perché in questo modo aumenterebbe notevolmente il braccio tra il serramento e la trave portante, massimizzando così i momenti ribaltanti.

### Leggerezza

Questo requisito deriva ancora una volta dall'essenza non strutturale delle pareti su cui si interviene, su cui un peso elevato potrebbe causare momenti ribaltanti fuori dal proprio asse. Questo fattore, insieme all'aspetto puramente dimensionale degli elementi tecnologici utilizzati, è importante anche per garantire la loro manovrabilità e di conseguenza l'ergotecnica generale del cantiere.

### Economicità

Per questo obiettivo bisogna infatti ricordare che gli edifici su cui si intende adottare tale tecnologia sono edifici pubblici, e quindi soggetti a limitazioni in termini di fondi disponibili. Nell'ottica di realizzare una tecnologia reiterabile, è indispensabile ridurre il più possibile i costi, motivo per cui si opta per una produzione in serie. Lo sforzo in questa fase è quello di adottare sistemi produttivi già impiegati sul mercato, in modo da abbattere i costi per la realizzazione di nuovi macchinari di produzione. Oltre che sul processo produttivo, questo obiettivo pone inevitabilmente limiti alle materie prime e i semilavorati che comporranno tale tecnologia, perché anch'esse dovranno seguire un'ottica di economicità, nonostante il fine principale sia quello di una soluzione efficiente, soprattutto in termini energetici.

### Sostenibilità

A completare questo quadro di obiettivi, un tema che non riguarda esigenze pratiche ma un vero e proprio obbligo morale, che rispecchia esigenze a più ampio respiro. Il livello di sostenibilità che si mira a raggiungere in questo caso va oltre alle richieste minime dettate dalla normativa (decreto Criteri Ambientali Mimini 11.10.2017), e si concretizza nella scelta di materiali prodotti con materia prima riciclata o sostenibile, e il cui smaltimento non produca CO<sub>2</sub>.

Sulla base delle evidenze esposte fin ora si è ritenuto che la soluzione tecnologica che meglio rispecchiasse le nostre esigenze fosse il pannello sandwich, ovvero un elemento costituito da due strati resistenti, detti facce, distanziati tra loro e collegati rigidamente ad un elemento connettivo chiamato core. Le facce sono preposte alla distribuzione dei carichi nel piano, la presenza del core è invece utile ad aumentare il valore della rigidità flessionale del pannello.

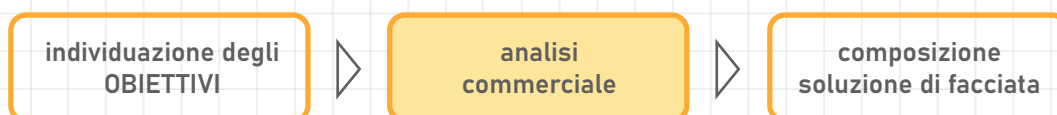
Oltre alla buona coibentazione, i pannelli sandwich sono dotati molte delle caratteristiche sopra citate e che li rendono una soluzione vantaggiosa, tra cui:

- resistenza meccanica alle sollecitazioni
- facilità di posa in opera
- resistenza all'usura e agli agenti atmosferici
- versatilità di soluzioni: pannelli per coperture, pavimenti, pareti
- varietà di finiture

Data la sua versatilità, questo tipo di soluzione ha avuto negli ultimi decenni una vastissima espansione: la possibilità di variare i materiali di finitura ha ampliato notevolmente il campo d'azione, passando da un utilizzo legato all'edilizia industriale, a spaziare agli ambiti commerciali e residenziali. Esistono infatti in commercio le più varie configurazioni di pannello, dalle finiture più semplici a quelle più eleganti in grado di conferire un aspetto più ricercato, motivo per cui tale soluzione è anche in grado di adattarsi a diversi stili architettonici.

## Le proposte sul mercato 11.2

Una volta ristretto il campo alla soluzione tecnologica da adottare, la fase successiva è stata volta ad analizzare le proposte del mercato, indagandone le caratteristiche geometriche, dei materiali e di fissaggio per studiarne l'adattabilità al parco edilizio considerato.



In generale si è constatato come la stragrande maggioranza dei pannelli sandwich sfrutti la tecnica dell'overlapping, che consiste nella sovrapposizione parziale degli stessi per garantire la protezione dei giunti. Ciò avviene con metodi variabili: in alcuni casi è l'intero pannello ad avere una conformazione "maschio-femmina" per permettere la sovrapposizione, altre volte è solo una delle "facce" che sporge rispetto alla superficie del pannello, e che favorisce l'alloggiamento del pannello successivo.

Data la vastità delle tipologie e varianti tecnologiche presenti sul mercato, si è deciso anzitutto di operare delle distinzioni, tentando di classificare pannelli sandwich in macrocategorie di prodotti assimilabili. Le principali distinzioni riguardano:

- la tipologia di materiale isolante: si distingue tra pannelli in materiale fibroso (fig.1), (lana di roccia, lana di pecora, ecc.) che vengono sagomati e incollati ai supporti, e pannelli in materiale espanso (fig. 2) (poliuretano espanso, polistirene espanso, polistirene estruso, ecc.) che invece vengono insufflati e aderiscono direttamente alle "facce". La differenza sostanziale tra queste due macrocategorie sta anzitutto nel peso, in quanto un pannello in fibre naturali può pesare anche 5 volte quelli realizzati con materiale espanso. In secondo luogo la reazione al fuoco: le fibre naturali rientrano in una classe di reazione al fuoco A, e quindi conferiscono al pannello proprietà di resistenza al fuoco, proprietà che invece non hanno i principali materiali espansi, che invece rientrano in classe E. Questi ultimi sono comunque autoestinguenti, e quindi comunque atti ad essere utilizzati in ambito edilizio in quanto la loro non causa una propagazione del fuoco. Un'ulteriore tipologia di pannello è quella il cui core è costituito di una maglia alveolare di alluminio, quali i pannelli Compocel (fig.3), che però prevedono un impiego interno, quali pareti divisorie e mobilio.

Anche i collanti utilizzati possono avere o meno proprietà di reazione al fuoco: nello specifico, i collanti vinilici risultano avere meno forza, ma una buona reazione al fuoco; al contrario, i collanti poliuretanicici sono caratterizzati da maggiore forza ma hanno proprietà meno efficienti in termini di reazione al fuoco. La proprietà di resistenza al fuoco deve essere verificata su test sull'intero pannello sandwich, motivo per cui analisi sui singoli materiali non sono sufficienti a definire le proprietà complessive e quindi risulta essere una valutazione parziale e non esaustiva. Mancando gli strumenti per effettuare verifiche necessarie, tale parametro non verrà indagato ulteriormente.

-la posa degli elementi: si distingue quindi tra pannelli verticali, in cui il giunto protetto è quello laterale, e quelli orizzontali, dove ovviamente l'overlapping avviene sui lati superiore e inferiore. In entrambi i casi il fissaggio può essere o a vista oppure nascosto, ma con molta probabilità realizzato in entrambi i casi con viti autoproforanti che fissano direttamente il pannello alla sottostruttura metallica. Sia per pannelli verticali che orizzontali, laddove sia necessario accostare più file (o righe) di pannelli nell'altro senso rispetto a quello dell'overlapping, è possibile prevedere l'applicazione di piccole strisce in materiale impermeabile che impediscano le infiltrazioni d'acqua.

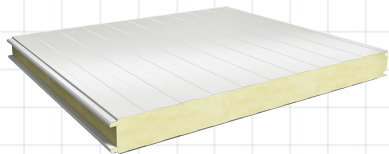


fig. 1 pannello sandwich con core in materiale espanso e rivestimento metallico (Lattonedil)



fig. 2 pannello sandwich con core in materiale espanso e rivestimento ligneo (Isosystem)



fig. 3 pannello sandwich con core in materiale espanso e rivestimento in PVC (Tavapet)

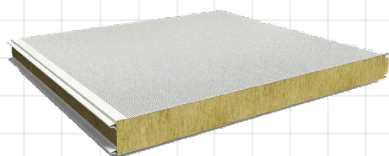


fig. 4 pannello sandwich con core in materiale fibroso (lana di roccia) e rivestimento metallico (Ruukki)

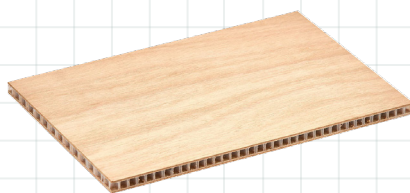


fig. 5 pannello sandwich con core in maglia alveolare di alluminio e rivestimento ligneo, tipo Compocel



fig. 6 pannello sandwich con core in materiale espanso e rivestimento ligneo (Tavapet)

-i materiali delle "facce": come già accennato, sul mercato sono presenti le proposte più disparate, tra cui:

- metalli (alluminio, acciaio, acciaio inox, rame, corten, ecc.)
- derivati del legno (compensati, OSB, MDF, sughero, ecc.)
- materiali plastici (PVC, altri laminati plastici, ecc.)
- cartongesso e suoi derivati

Inoltre, il trattamento superficiale delle facce permette di creare grecature, bugnature, texture, conferendo all'elemento finale un aspetto sempre diverso, in grado di integrarsi in qualsiasi contesto.

In questa varietà potenzialmente infinita di prodotti, si è potuto riscontrare come la tipologia più ricorrente sia quella costituita da un core in poliuretano e facce in lamiera di alluminio. Questa tipologia è particolarmente utilizzata per le coperture, in quanto la sagomatura che è possibile conferire al pannello favorisce la posa dei successivi strati di rivestimento superficiale. L'utilizzo in facciata, come già accennato, prevede il fissaggio a sottostrutture metalliche, e può essere sia nascosto che in vista. Gran parte dei pannelli sandwich analizzati prevedono un impiego su nuove costruzioni, quali i pannelli parete e copertura di Lattonedil e Isotek, i pannelli parete Ruukki, Marcegaglia, Balex Metal. Esistono anche alcuni pannelli sandwich pensati per interventi di ristrutturazione su edifici esistenti, quali l'"Isocappotto" di Isopan (fig. 4), che prevede una sottostruttura metallica e fissaggio meccanico ai pannelli, che successivamente vengono ricoperti per ricreare le tipiche facciate intonacate.

Tra i pannelli con facce in materiale ligneo ritroviamo i prodotti di Isosystem (fig. 5), con una vasta gamma di prodotti sia per copertura che per parete, e alcuni prodotti Tavapan (fig.6): oltre a finiture lignee propongono anche soluzioni in PVC e sistemi di integrazione dei pannelli con gli altri elementi di facciata.

La necessità di impiegare un pannello sandwich nelle condizioni di progetto, ovvero a contatto con un edificio in calcestruzzo con pannelli di facciata non strutturale, ci ha portato a rielaborare alcune caratteristiche dei pannelli sopra citati per definire un prodotto pensato per queste esigenze. La sfida è di operare delle modifiche ai pannelli già studiati in modo da ottenere un elemento realizzabile con il medesimo ciclo produttivo, adottando delle piccole varianti ma impiegando macchinari già presenti sul mercato e già utilizzati in questo ambito. Il pannello che verrà adottato per l'intervento, e che di seguito si provvederà ad illustrare, prende il nome di CASA, che sta per Cappotto Sandwich.

## La composizione del pannello CASA 11.3

Sulla base delle analisi commerciali appena discusse, si è provveduto ad indagare quali fossero le combinazioni di materiali in grado di soddisfare i requisiti esposti nel paragrafo 11.1.



Il pannello che intendiamo proporre, nonostante sia frutto di ragionamenti su più prodotti in commercio, prende ispirazione dal pannello "Isosandwich" di Isosystem (fig. 2), proposto dall'azienda per l'isolamento delle coperture. Si tratta di un pannello costituito da una facciata in OSB di 12mm accoppiata con una lastra coibente in polistirene espanso sinterizzato di spessore variabile. L'intradosso invece è disponibile in abete multistrato o monostrato, OSB, cartongesso o gessofibra, in spessori variabili da 9 a 12mm. Il pannello è battentato lungo i bordi, il che permette l'accostamento tra pannelli consecutivi. Il pannello in questo caso non necessita di sistemi di fissaggio in quanto viene semplicemente appoggiato al supporto. Le criticità nell'ipotesi di un'applicazione verticale di tale soluzione sono anzitutto la mancanza di un sistema di fissaggio e di una protezione dagli agenti atmosferici; inoltre, considerando la tipologia edilizia su cui andrebbe applicato, un ulteriore dubbio sarebbe in merito al peso. Ipotizzando una densità media delle lastre in OSB di  $650\text{Kg/m}^3$ , una densità dell'EPS di  $25\text{Kg/m}^3$  e la seguente combinazione 12m OSB + 150mm EPS + 12mm OSB, il pannello avrebbe un peso di quasi  $20\text{Kg/m}^2$ , che data l'estensione delle facciate della scuola risulterebbe un peso aggiuntivo non trascurabile. L'intento è risolvere tali criticità operando delle piccole modifiche, che rendano tale soluzione impiegabile nel parco edilizio considerato.

Si procede quindi ad illustrare il processo di scelta dei singoli materiali che costituiranno le facce e il core del pannello CASA. Per quanto concerne le fasi di produzione e fissaggio si rimanda al capitolo 13, in cui verrà eseguita una trattazione dettagliata e verranno inoltre dimensionati gli elementi di fissaggio ai pannelli di cls esistenti.

### 11.3.1 Materiale di finitura - facce

La scelta del materiale delle facce ha dovuto rispondere all'esigenza di un rivestimento resistente, sia agli agenti atmosferici che all'azione antropica, ma che soddisfacesse allo stesso tempo la verifica della muffa richiesta dal DM.26.06.2015, come per tutte le stratigrafie proposte.

Data la vastità di impiego, in un primo momento si è tentato di adottare una lamiera di alluminio della lega 3000 alluminio-manganese: interfacciandoci con l'impresa Lattonedil S.p.a., abbiamo avuto conferma come sia proprio la lega al manganese quella impiegata per la produzione dei loro pannelli sandwich, precisamente la lega 3105. Modellando il pannello sul software Termolog le verifiche di legge evidenziavano evidenti problematiche a livelli di condensa superficiale, che provocherebbe la formazione di muffa. Il fattore determinante in questa verifica è il coefficiente di resistenza al passaggio del vapore  $\mu$  che indica quanto la resistenza al passaggio del vapore di un certo materiale è superiore a quella dell'aria a parità di spessore e di temperatura (considerando per l'aria un valore  $\mu = 1$ ). L'alluminio impone una resistenza "infinita" alla diffusione del vapore, motivo per cui quando il vapore acqueo



dovuto all'umidità raggiunge il punto di rugiada incontrando una superficie impermeabile si trasforma in acqua, provocano la formazione di muffa.

Si è optato quindi per un rivestimento ligneo, che avendo un coefficiente di resistenza alla diffusione del vapore di circa 50, non crea lo shock termico che innesca i fenomeni di condensa. Essendo il pannello esposto agli agenti atmosferici, è stato necessario ricercare un prodotto che si confacesse a tale esigenza. Dopo aver confrontato diverse opzioni, il materiale che a nostro avviso rispondeva meglio alle richieste è il compensato marino, fornito da ditte quali NordCompensati sotto forma di pannelli multistrato. Il compensato marino di Okumè, più precisamente, risulta essere impermeabile, motivo per cui viene impiegato nell'edilizia navale e in edilizia per i rivestimenti faccia a vista. Grazie all'incollaggio delle fibre, questi prodotti presentano elevate proprietà meccaniche in uno spessore ridottissimo. Lo spessore inoltre risulta essere un fattore determinante in quanto, a fronte di una densità molto inferiore rispetto a quella dell'alluminio, si dispone di un prodotto con uno spessore confrontabile con quello delle tipiche lamiere, che quindi non compromette l'intento di leggerezza del pannello. Essendo un prodotto in legno poi risulta essere conveniente anche in termini di trasmittanza in quanto, nonostante non sia demandato a tale strato l'onere dell'isolamento, essendo un prodotto ligneo possiede buone capacità termiche. Infine i semilavorati possono essere forniti già con il trattamento superficiale richiesto, fattore ancora una volta a favore di questa soluzione, in quanto aumenta notevolmente la praticità di impiego.

In termini economici, i pannelli di compensato marino hanno un prezzo confrontabile con i normali pannelli multistrato, che si aggira tra i 10 e i 30 euro/m<sup>2</sup> per lastre sottili di 3/4mm. Data la sua impermeabilità, adottiamo un pannello di 3mm in compensato di Okumè per la faccia che resterà a vista. Per l'intradosso invece verrà impiegato un pannello in compensato marino di Pioppo, sempre di 3 cm di spessore. Tale scelta è mossa principalmente da fini economici in quanto, essendo un prodotto più economico rispetto al compensato di Okumè, permette di ridurre i costi di produzione e quindi perseguire, per quanto possibile, l'obiettivo di economicità.



fig. 7 compensato marino multistrato di Okumè rivestito (faccia esterna)



fig. 8 compensato marino multistrato di Pioppo al naturale (faccia interna)

### 11.3.2 Materiale isolante – core

La scelta del materiale isolante presuppone una sfida, ovvero quella di combinare la realtà della produzione industriale in serie a quella di impiegare un materiale sostenibile, in termini di emissioni e di materie prime impiegate per la sua produzione.

In primo luogo, in linea con la necessità di ridurre al minimo il peso del pannello CASA, si è stretto il campo ai materiali espansi, trascurando quelli fibrosi che per loro natura insistono su un target di peso nettamente superiore. All'interno di questa categoria si è potuto constatare come la maggioranza dei pannelli sandwich sul mercato impieghino il poliuretano espanso, che a livello chimico consiste in un polimero reticolato termoidurente prodotto dalla reazione di polioli e poliisocianati, in presenza di un agente espandente (generalmente idrocarburi, CO<sub>2</sub> o altre miscele) e di altri additivi. Nel corso della reazione che porta le materie prime dallo stato liquido a quello solido la schiuma manifesta elevate

proprietà di adesione a quasi tutti i tipi di supporti, motivo per cui ha avuto così largo impiego nell'industria di questi prodotti. Essendo molto durevole e avendo ottime capacità di isolamento termico permette di ridurre la quantità di materia necessaria per soddisfare le prestazioni termiche richieste, e evitare la produzione di scarti per molto tempo. Purtroppo però, per quanto possano avere un ciclo di vita relativamente lungo, questi prodotti non sono biodegradabili perché derivanti dal petrolio, motivo per cui finiranno per accumularsi nelle discariche in attesa di smaltimento. Inoltre il processo causa emissioni contenenti contaminanti che possono essere dannosi per la salute umana e per l'ambiente, ed essendo un materiale di derivazione sintetica non può essere considerato un materiale ecologico. Un'alternativa al poliuretano, anch'esso largamente impiegato nel mercato della produzione dei pannelli sandwich è il polistirene espanso sinterizzato, un materiale rigido e leggero composto per il 98% di aria, e per il restante da carbonio e idrogeno. L'EPS viene prodotto tramite polimerizzazione, ovvero un processo che trasforma lo stirene, ovvero un monomero ricavato dal petrolio, in polistirene, ovvero un polimero costituito da più molecole semplici che si ripetono in sequenza. Al termine del processo di polimerizzazione il prodotto si presenta sotto forma di granuli (perle) dall'aspetto vetroso e dalla granulometria varia (0,3-2,8 mm). Mettendo queste perle a contatto con il vapore acqueo a 90°C, il gas in esse contenuto si espande facendole rigonfiare fino a 20-50 volte il loro volume iniziale. Si forma così al loro interno una struttura a celle chiuse che trattiene l'aria, limita i moti convettivi e quindi conferisce al polistirene le sue eccellenti caratteristiche di isolante termico.

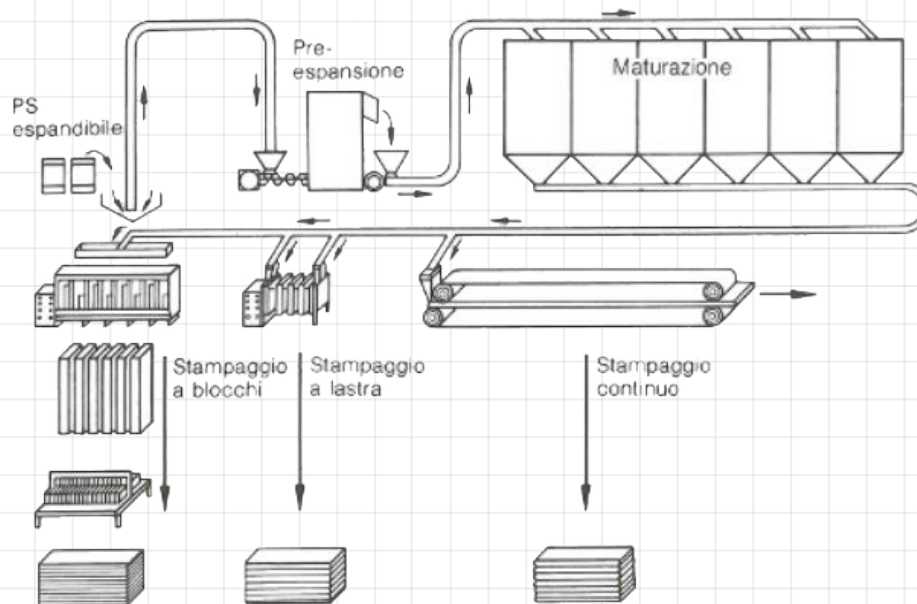


fig. 9 schema del ciclo produttivo dell'EPS

In merito all'ecosostenibilità del materiale valgono considerazioni simili a quelle esposte per il poliuretano, salvo il fatto che l'EPS è interamente riciclabile, motivo per cui è possibile considerarlo nell'economia circolare. Tra gli utilizzi del polistirene dopo il recupero si trovano:

- frantumazione degli imballi post uso e utilizzo diretto in produzione di nuovi prodotti
- frantumazione di imballi in EPS ed utilizzo per realizzare calcestruzzi alleggeriti
- rigranulazione dell'EPS ed utilizzo per stampare nuovi oggetti termoplastici quali cassette video - appendiabiti od elementi a profili come sostituto del legno (recinzioni - panchine)
- combustibile negli inceneritori di rifiuti, con conseguente produzione di calore (termovalorizzazione/co-incenerimento)

Nell'ottica di massimizzare l'efficienza del pannello CASA e soddisfare maggiormente l'intento della sostenibilità, ci siamo spinte alla ricerca di un materiale che potesse essere impiegato e lavorato come l'EPS, ma con migliori prestazioni e impatto sull'ambiente. Grazie a una approfondita ricerca nel campo delle nuove tecnologie, siamo venute a conoscenza del Gruppo Basf, un'azienda chimica che sviluppa da anni soluzioni e materie prime isolanti ad elevata performance e ne migliora progressivamente il profilo ambientale, investendo in innovazione sostenibile.

Essendo un'azienda leader nella produzione di EPS per applicazioni nel packaging, oltre che per l'edilizia, BASF ha lanciato sul mercato Ecovio EA, un'alternativa completamente green al polistirene espanso per gli imballaggi. Questa materia prima, oltre a presentare ottime prestazioni di resistenza chimica e termica e possedere un elevato contenuto di rinnovabili, è completamente biodegradabile e compostabile, in quanto subisce se a contatto con il terreno una veloce fase di decomposizione, che terminerebbe in circa 14 giorni. Ciò apre davvero un grande spazio nell'ambito della bioedilizia, e riteniamo sia questa la direzione che l'edilizia debba perseguire per ridurre realmente il suo impatto sull'ambiente. Tuttavia, mancando le verifiche necessarie ad un impiego edile di tale materiale, abbiamo ritenuto necessario ipotizzare per il pannello CASA un core in materiale già testato, ma che si avvicinasse comunque a questa logica.

Nella vasta gamma di materie prime offerte da BASF, il nostro interesse è ricaduto su Neopor, il polistirene espandibile grigio di ultima generazione additivato con grafite. Le particelle di grafite, che ne conferiscono il caratteristico colore grigio argentato, assorbono e riflettono la radiazione infrarossa, riducendo sensibilmente il passaggio di calore dovuto all'irraggiamento che influenza negativamente la conducibilità termica. Ciò garantisce valori eccezionali di isolamento termico, migliore fino al 20% rispetto al tradizionale EPS. A parità di prestazioni isolanti, verrà quindi impiegato un minore spessore di isolante, che si traduce in risparmio energetico, economico e di sostenibilità ambientale.

Le perle di Neopor prodotte da BASF vengono poi lavorate dai trasformatori partner (L'isolante, Poron) fino a diventare prodotti isolanti che troviamo sul mercato. I manufatti in Neopor, oltre alle caratteristiche sopracitate, sono permeabili al vapore e garantiscono elevata traspirabilità, e il loro utilizzo non causa il rilascio di polveri o particelle dannosi per la salute. Così come l'EPS, i pannelli in Neopor possono essere completamente recuperati e riciclati, evitando quindi la fase di smaltimento.

In merito alla nostra ricerca, i prodotti in Neopor risponderebbero efficientemente alle richieste in termini di efficienza, ma ancora resterebbe incompiuta la nostra "missione" di sostenibilità. Indipendentemente ai nostri obiettivi si ricorda come, a livello normativo, i Criteri Ambientali Minimi stabiliscono che in un manufatto di polistirene espanso sia verificata la presenza di materiale riciclato "dal 10% al 60% in funzione della tipologia del prodotto e della tecnologia adottata per la produzione".

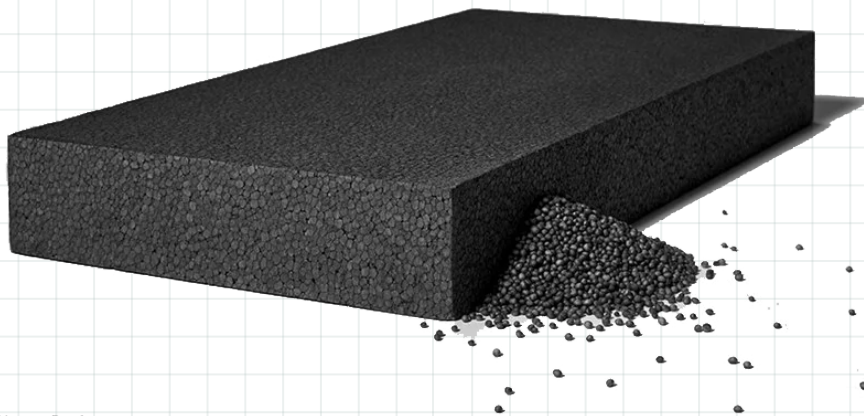


fig. 10 pannello di Neopo, Basf

Perseguendo la nostra ricerca siamo venute a conoscenza dell'innovativo metodo produttivo di BASF, chiamato Biomass Balance. Con il BMB le fonti fossili primarie necessarie per la produzione di Neopor sono interamente sostituite con fonti rinnovabili certificate e sostenibili, ovvero biomassa (bio-nafta e bio-gas derivate da rifiuti organici, scarti di produzione o oli vegetali). Questo metodo è certificato secondo lo schema italiano internazionalmente riconosciuto REDcert2, che verifica il rispetto di rigidi criteri di sostenibilità dalla scelta delle fonti alla realizzazione del prodotto finito.

Con il metodo Biomass Balance non solo si contribuisce al risparmio di fonti fossili primarie, ma si migliora ulteriormente il profilo ambientale dei prodotti isolanti: il carbon footprint (NOTA: IL "carbon profit", o "impronta carbonica" è un parametro che viene utilizzato per stimare le emissioni gas serra causate da un prodotto, da un servizio, da un'organizzazione, da un evento o da un individuo, espresse generalmente in tonnellate di CO2 equivalente.) dei pannelli realizzati con Neopor BMBcert migliora del 66% rispetto ai pannelli in EPS bianco tradizionale e del 42% rispetto ai pannelli in Neopor standard.

Neopor BMBcert è la versione Biomass Balance del polistirene espandibile con grafite Neopor® di BASF. Le proprietà dei prodotti finiti sono infatti pari a quelle già eccellenti dei prodotti realizzati con Neopor standard, derivato da fonti fossili primarie, ovvero:

1. Eccellente conducibilità termica
2. Idrorepellenza
3. Resistenza all'invecchiamento
4. Facilità di posa e di lavorazione
5. Versatilità
6. Ottimo rapporto benefici/costi

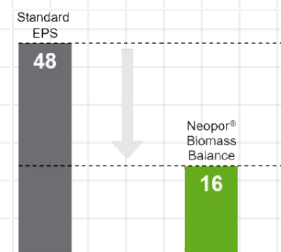


fig. 11 confronto produzione CO<sub>2</sub> tra EPS e Neopor

Come è facile dedurre, i prodotti in Neopor BMBcert ottengono la classe di efficienza energetica A+, superando di gran lunga i valori richiesti dai CAM, Criteri Ambientali Minimi richiesti dal Decreto Rilancio, posizionandosi esattamente al massimo del contenuto di riciclato (100%).

Esistono già alcuni casi applicativi l'isolamento termico di due condomini di cinque piani a Castenaso

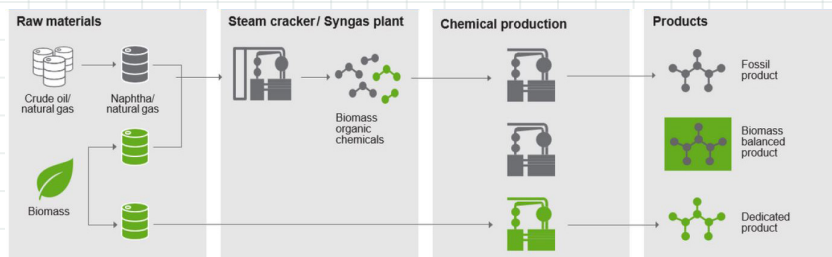


fig. 12 la materia prima per la produzione di Neopor

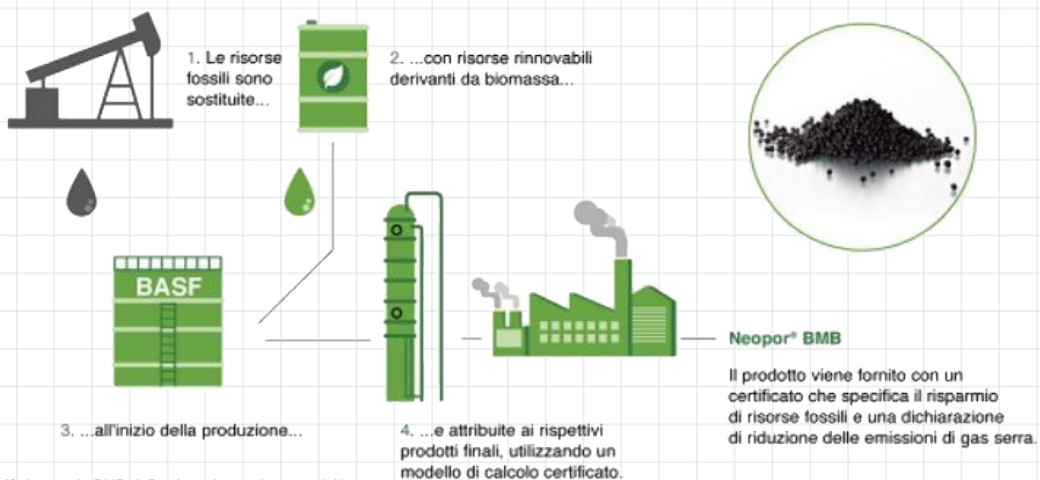


fig. 13 il metodo BMB di Basf per la produzione di Neopor

(BO) ha previsto l'impiego di circa 3.000 m<sup>2</sup> di pannelli in Neopor BMB, che hanno permesso un risparmio di circa 12 tonnellate di CO<sub>2</sub> equivalente, rispetto al Neopor tradizionale. Un risparmio derivato anche dal minor consumo energetico necessario per il riscaldamento durante la vita utile del pannello. Grazie agli incentivi statali tutt'ora in corso e alla possibilità di cessione del credito, tale tecnologia sta venendo impiegata anche nel retrofit energetico dell'Istituto Prealpi di Saronno (VA), tutt'ora in corso. Per il pannello CASA si adotta quindi un core di Neopor BMBcert: lo spessore (150mm) è frutto di analisi



fig. 14 condominio a Castenaso (BO) isolato con Neopor



fig. 15 Istituto Prealpi di Saronno (VA) isolato con Neopor

termiche effettuate con il software Termolog, in modo che l'intera facciata di progetto soddisfacesse i requisiti minimi di trasmittanza e sfasamento previsti da normativa. Nella fase di realizzazione dei pannelli materia prima è possibile imporre un valore di densità all'interno di un range, regolando il grado di espansione delle perle. In questa sede si adotta il valore medio di 20Kg/m<sup>3</sup> riportato nelle schede tecniche dei prodotti assimilabili realizzati dalle aziende partner di BASF. Per una valutazione del prezzo ci siamo rivolte ad un rivenditore autorizzato (Colemagna S.r.l.), che per il materiale richiesto ci ha indicato una quotazione di massima pari a 91 euro/m<sup>3</sup> iva esclusa (circa 111euro/m<sup>3</sup> iva inclusa). Considerando lo spessore del pannello CASA, la spesa per il materiale isolante risulterebbe di 14euro/m<sup>2</sup>. È un valore confrontabile con molti altri pannelli in EPS e in poliuretano di pari spessore che si trovano sul mercato (esempi:

- listino prezzi S.T.S. polistiroli: pannello isolante in polistirene espanso sinterizzato con grafite classe 80 tagliato da blocco, sp. 15cm, 17,28euro/m<sup>2</sup>
- listino prezzi Stiferite: pannello isolante in poliuretano espanso 42,41euro/m<sup>2</sup>)

Siamo coscienti che, in un periodo in cui il reperimento e il trasporto dei materiali edili siano difficoltosi, tali valutazioni siano estremamente relative che i valori risentano di un continuo cambiamento, ma abbiamo ritenuto comunque necessario tenere conto di questo aspetto nell'ottica di un ipotetico progetto esecutivo e impiego del pannello.

### 11.3.3 Il contatto con il pannello esistente

La parete perimetrale di progetto prevede l'accostamento del pannello in calcestruzzo a questa nuova tecnologia: fissando materiali con coefficiente di dilatazione differente si prevede che possano insorgere degli attriti e che sia quindi necessario un elemento che funga da giunto di dilatazione. In base alla tipologia di materiali utilizzati per le facce del pannello, si adottano brevi strisce in feltro impermeabile, che anch'esse da prevedere le fasi del ciclo produttivo in modo che il pannello arrivi in cantiere già con tutte le predisposizioni necessarie al fissaggio. La verifica dello spessore di tale strato si ritrova nei seguenti paragrafi, tra le verifiche eseguite sul pannello CASA.

Considerato che il peso del pannello CASA e dei fissaggi che dovrà essere addizionato al peso proprio del pannello in calcestruzzo esistente è pari quasi a 1/40 di quest'ultimo non si è predisposta la verifica dei fissaggi esistenti perché si è da per scontato che possano resistere ad un incremento così ridotto di peso agente e quindi del momento che ne risulta

Il pannello casa un un peso di 6,5Kg/m<sup>2</sup> La nuova parete perimetrale della scuola Morcelli-Toscanini sarà composta quindi dal pannello preesistente in calcestruzzo, e dal pannello CASA, applicato in aderenza.a quest'ultimo.

## La geometria del pannello CASA 11.4

CASA si configura come pannello sandwich verticale con battentatura laterale. Tale scelta è frutto di un ragionamento sulla tipologia edilizia per cui è stato pensato: si tratta per lo più di edifici a due piani con superfici vetrate a nastro, per cui il prospetto è diviso in fasce orizzontali ,o completamente opache , o copleatamente vetrate. Ciò ha inevitabilmente influito sulla scelta della geometria e dei fissaggi, in quanto un pannello orizzontale non sarebbe stato conveniente data la difficoltà di sigillatura dei giunti. Per questo abbiamo optato per un pannello verticale con overlapping laterale realizzato mediante una battentatura. Quest'ultima ha una geometria per cui, oltre a garantire la sovrapposizione dei pannelli, funziona anche da rompigoccia per evitare infiltrazioni. In questo modo viene garantita una protezione dagli agenti atmosferici, che verrà poi ottimizzata con una fase di impermeabilizzazione (vedi capitolo 14).

Per massimizzare la capacità di adattamento a edifici differenti si è optato per una geometria rettangolare: la larghezza è fissa ed è pari a 90cm (+10cm di overlapping), la lunghezza invece è variabile in base all'esigenza Anche il colore della finitura superficiale è personarlizzabile: nel caso in esame sono state scelte quattro tonalità di giallo che verranno alternarte per creare una texture di facciata originale. Il giallo è stata una scelta quasi naturale per garantire continuità visiva tra l'edificio scolastico esistente e l'aspetto della scuola riqualificata.

Anche lo spessore risulta essere un parametro estremamente variabile: questo infatti deve essere definito previa analisi energetica dell'involucro, in base alla localizzazione dell'edificio e alle prestazione termiche della stratigrafia di partenza..

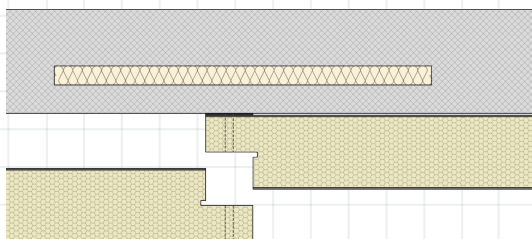
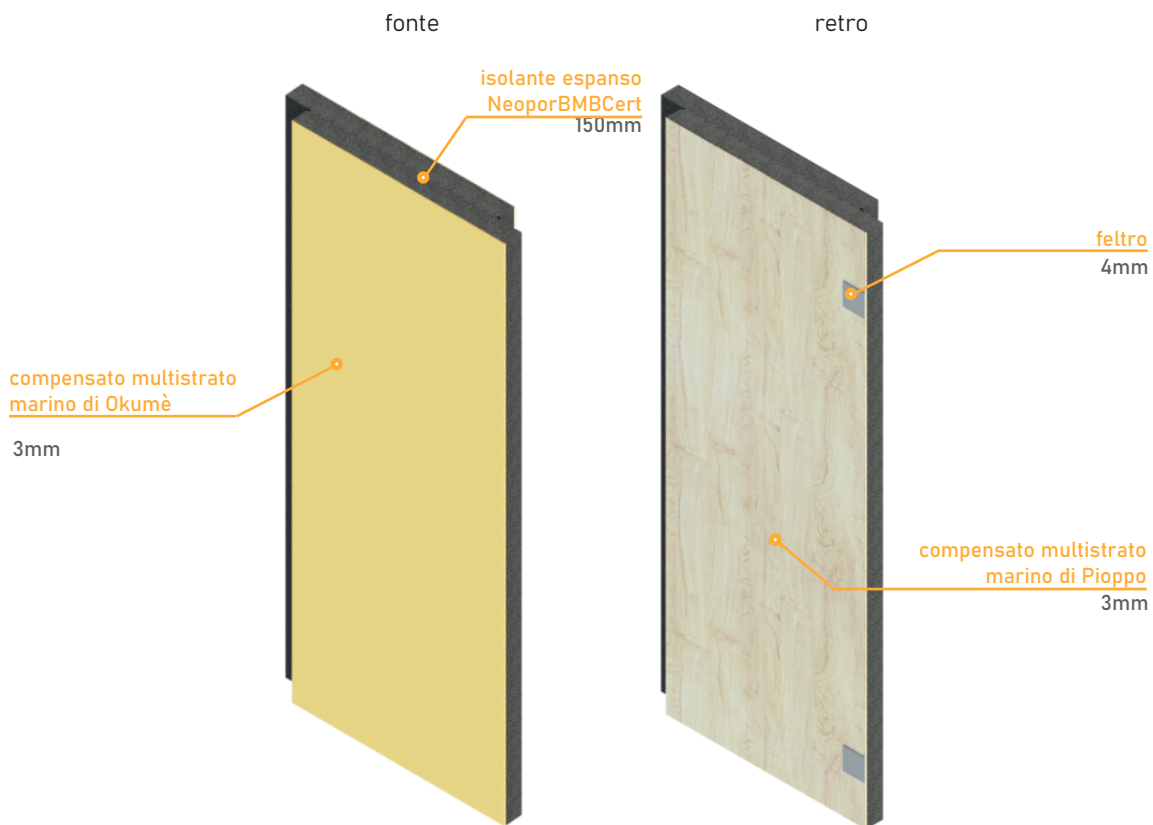


fig. 16 la battentatura del pannello CASA




fig. 17 le pezze di feltro per il disaccoppiamento dal calcestruzzo



**VANTAGGI**  
 - sistema componibile  
 - leggero  
 - alto isolamento termico

**DIMENSIONI:**  
 larghezza : 90cm (+10fissaggio)  
 lunghezza: variabile

	OKUMÈ	PIOPPO		NEOPOR
 <b>resistente</b>	<b>580</b> Kg/cm <sup>2</sup>	<b>450</b> Kg/cm <sup>2</sup>	 <b>economico</b>	<b>16</b> €/m <sup>2</sup>
 <b>idrorepellente</b>	✓	-	 <b>leggero</b>	<b>3</b> Kg/m <sup>2</sup>
			 <b>fonti rinnovabili</b>	✓

Si provvede di seguito ad eseguire alcune verifiche per testare le scelte compiute in fase compositiva. Si è consapevoli del fatto che tali verifiche non siano sufficienti per definire l'affidabilità del pannello, in quanto sono indispensabile test che ne certifichino la resistenza a flessione dell'elemento. Tali verifiche presuppongono la realizzazione di un prototipo e analisi meccaniche in un laboratorio specializzato, che per motivi di tempo e circostanze legate all'epidemia non è stato possibile effettuare. In questa sede ci si limiterà quindi a una trattazione e un'analisi teorica, che possa indagare quanti più ambiti possibile, mettendo semmai le basi per una futura sperimentazione.

## 11.5.1 Verifica della dilatazione termica

Di seguito si opera una verifica sulla dilatazione termica dei materiali a contatto, ovvero il pannello in calcestruzzo e la faccia interna del pannello casa, per valutarne il quadro deformativo e verificare l'efficacia dei sistemi di contatto previsti sul pannello.

### Modellazione 1: pannello in alcestruzzo esistente

Il pannello di facciata, per semplicità, è stato modellato nel programma Sap2000 come una shell spessa, costituita completamente di calcestruzzo, sottoposta a carico termico pari al gradiente calcolato in base allo spessore del pannello. La shell è provvista di 5 vincoli ipotizzati come incastri, corrispondenti ai fissaggi alla struttura portante dell'edificio. Il modello è stato discretizzato dividendo la shell in porzioni minori, per ottenere risultati quanto più possibile aderenti alla realtà.

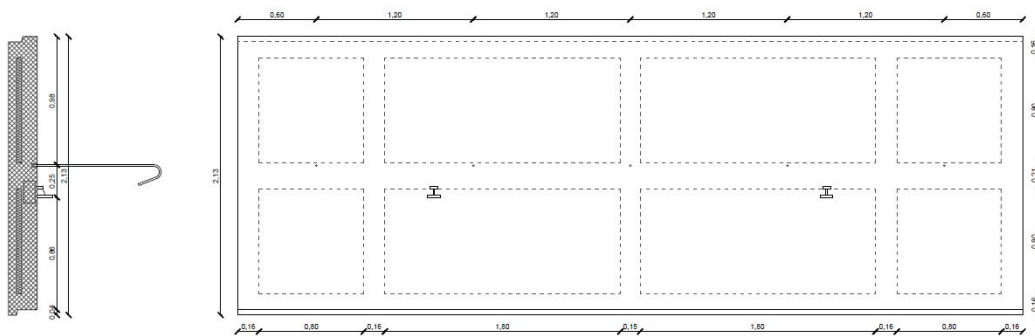


fig. 18 il pannello prefabbricato in calcestruzzo esistente

### Cemento Portland 42,5

$$f_{cd} = 51,8 \text{ Mpa} = 51800 \text{ KN/m}^2$$

$$E = 36035 \text{ Mpa} = 36035000 \text{ KN/m}^2$$

$$\nu = 0,2$$

$$G = E/2(1+\nu) = 15014,583 \text{ Mpa} = 15014583,3 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Massa volumica} = 2500 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Peso specifico} = 24,52 \text{ KN/m}^3$$

$$\text{Coeff. espansione termica} = 0,000012 = 12 \cdot 10^{-6}$$

### Localizzazione: Chiari (BS)

$$T_{est} = 2,7^\circ\text{C}$$

$$T_{int} = 20^\circ\text{C}$$

$$\text{Sp. Pannello} = 22 \text{ cm} = 0,22 \text{ m}$$

$$\text{Gradiente} = \Delta T / \text{sp} = (20 - 2,7) / 0,22 = 78,63 \text{ }^\circ\text{C/m}$$



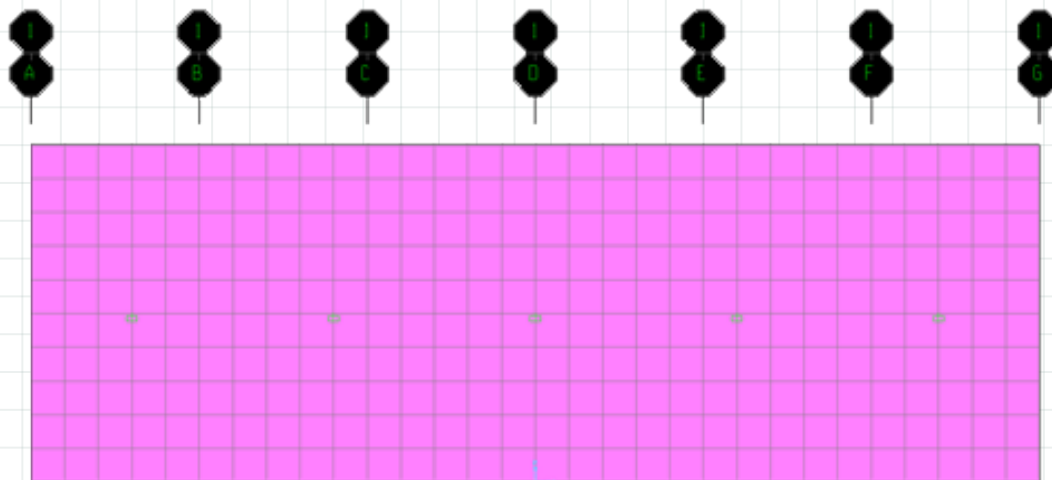


fig. 19 modellazione del pannello in calcestruzzo- shell vincolata

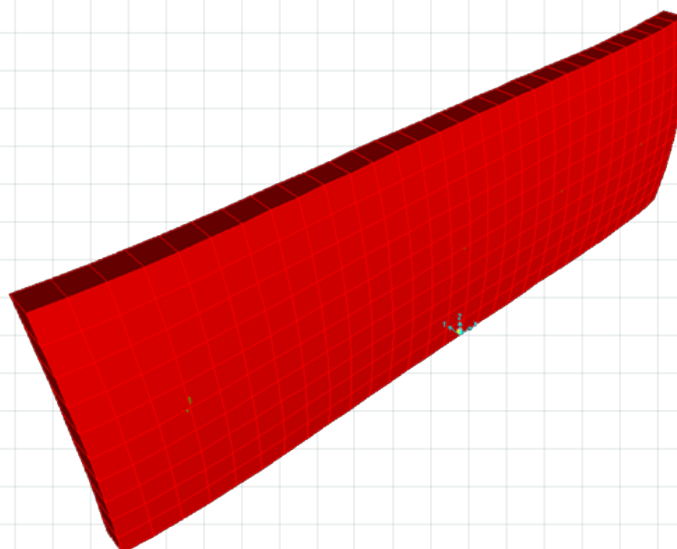


fig. 20 deformazione del pannello in cls sotto carico termico

Dall'analisi si ottiene la deformata dell'elemento e i valori di spostamento massimo dovuti al carico termico:

$$U2 (+) = +0,000846\text{m} = 0,846\text{mm}$$

$$U2 (-) = -0,000021\text{m} = 0,021\text{mm}$$

#### *Modellazione pannello CASA*

Il pannello di facciata, per semplicità, è stato modellato nel programma Sap2000 come una shell sottile, costituita completamente di compensato marino (3mm), sottoposta a carico termico pari al gradiente calcolato in base allo spessore dell'intero pannello (160mm). La shell è provvista di 4 vincoli ipotizzati come incastri, corrispondenti ai fissaggi al pannello di calcestruzzo esistente. Il è stato discretizzato dividendo la shell in porzioni minori, per ottenere risultati quanto più possibile aderenti alla realtà.

Essendo un pannello in legno, quindi un materiale non isotropo, il materiale viene modellato in Sap2000 come materiale ortotropico. Le caratteristiche meccaniche derivano in gran parte dalla scheda tecnica rilasciata dal produttore, fatto salvo per il coefficiente di Poisson, calcolato considerando che il pioppo appartiene alla famiglia delle latifoglie.

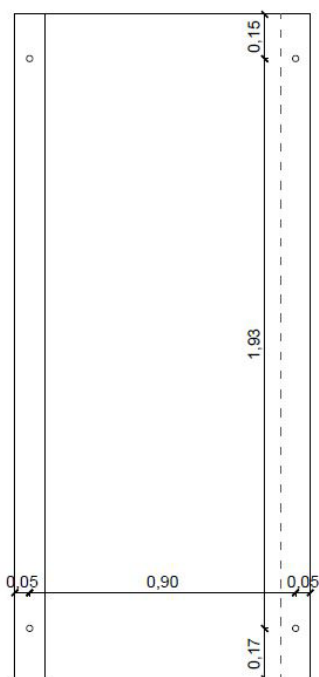


fig. 21 il pannello CASA

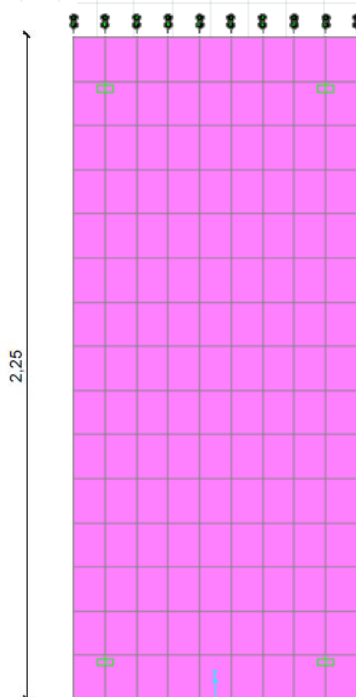


fig. 22 modellazione del pannello CASA- shell vincolata

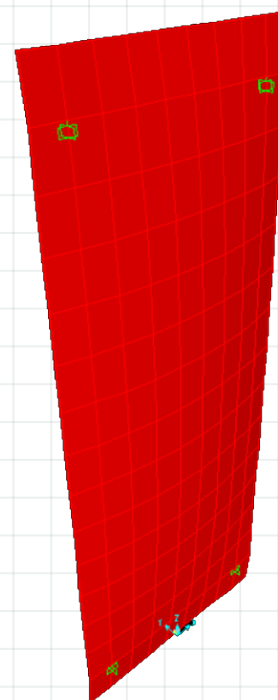


fig. 23 deformazione del pannello CASA sotto carico termico

#### Compensato marino di Pioppo

$E = 5300 \text{ Mpa} = 5300000 \text{ KN/m}^2$

$U12 = \nu_{xy} = 0,33$

$U13 = \nu_{xz} = 0,033$

$U23 = \nu_{yz} = 0,044$

$G = 1300 \text{ Mpa} = 1300000 \text{ KN/m}^2$

Massa volumica =  $420 \text{ Kg/m}^3$

Peso specifico =  $4,12 \text{ KN/m}^3$

Coefficiente espansione termica =  $0,000005 = 5 \cdot 10^{-6}$

#### Localizzazione: Chiari (BS)

$T_{\text{est}} = 2,7^\circ\text{C}$

$T_{\text{int}} = 20^\circ\text{C}$

Sp. Pannello =  $3\text{mm} = 0,003\text{m}$

Gradiente =  $\Delta T / \text{sp} = (20 - 2,7) / 0,003 = 5766,67 \text{ }^\circ\text{C/m}$

Dall'analisi si ottiene la deformata dell'elemento e i valori di spostamento massimo dovuti al carico termico:

$U2 (+) = + 0,001151\text{m} = 1,15\text{mm}$

$U2 (-) = - 0,003391\text{m} = 3,39\text{mm}$

In conclusione, confrontando gli spostamenti massimi dei due materiali si nota come il valore massimo è pari a 3,4mm, motivo per cui si può definire che l'ipotesi precedentemente fatta era corretta.

In corrispondenza dei fissaggi il pannello CASA sarà dotato di uno strato di feltro di 4mm che funge da giunto di dilatazione tra questo e il pannello in calcestruzzo.

## 11.5.2 Verifica delle prestazioni acustiche della facciata

Con l'aiuto del software Echo di ANIT si è voluto verificare la prestazione acustica della facciata, paragonando la situazione dello stato di fatto con quella di progetto. Si considera una porzione di facciata corrispondente ad un'aula tipo, di cui si presenta una schematizzazione di seguito. In entrambi i casi la facciata non presenta aggetti, quindi non si considera alcun fattore maggiorativo.

### Modellazione parete stato di fatto

stratigrafia parete: CV01 stato di fatto  $R_w=58\text{dB}$

serramento: vetro singolo con serramento in acciaio

$R_w=25\text{dB}$

superficie opaca:  $S_o=8,7\text{m}^2$

superficie trasparente  $S_t=8,7\text{m}^2$

volume interno  $V=5,8*7,8*3=135,72\text{m}^3$

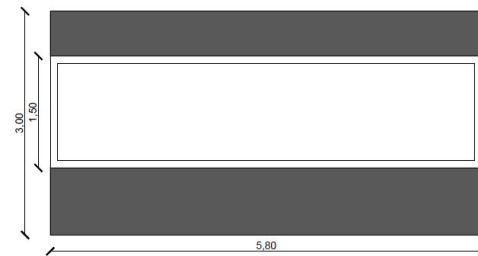


fig. 24 schema aula tipo stato di fatto

**PARETE STATO DI FATTO**

Elementi che compongono la facciata

	Descrizione	Rw/Dnew/Rs [dB]	Area (m <sup>2</sup> ) / Lunghezza [m]	DRw [dB] esterno	DRw [dB] interno				
1	PANNELLO CLS	56,8	8,7	0,0	0,0	Calcola DRw est.	Calcola DRw int.	Elimina	Duplica
2	SERRAMENTO ESISTENTE	25	8,7	-	-			Elimina	Duplica

Trasmissioni laterali

Elementi di facciata non connessi

Elementi di facciata pesanti con giunti rigidi

Correzione K  dB

Forma di facciata

$\Delta L_{fs}$   dB

Risultati

Area totale  m<sup>2</sup>    Volume dell'ambiente  m<sup>3</sup>

$R^*w$   dB     $D_{2m,n}T_w$   dB    Valore limite  dB

Destinazione d'uso

Calcolo di Rw minimo dei serramenti

### Modellazione parete progetto

stratigrafia parete: CV01 progetto  $R_w=58\text{dB}$

serramento: triplo vetro basso emissivo con

serramento in pvc  $R_w=45\text{dB}$

superficie opaca  $S_o=11,9\text{m}^2$

superficie trasparente  $S_t=9,10\text{m}^2$

volume interno  $V=7*7,5*3=157,50\text{m}^3$

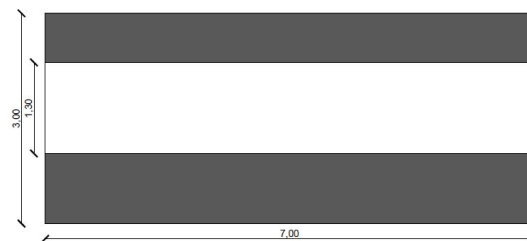


fig. 26 schema aula tipo stato di progetto

PARETE PROGETTO

Elementi che compongono la facciata

1

	Descrizione	Rw/Dnew/Rs [dB]	Area [m <sup>2</sup> ] / Lunghezza [m]	DRw [dB] esterno	DRw [dB] interno	Elimina	Duplica
1	PANNELLO CLS+CASA	56,8	11,9	0,0	0,0	Calcola DRw est.	Calcola DRw int.
2	SERRAMENTO PROGETTO	45	9,1	-	-	Elimina	Duplica

Trasmissioni laterali

Elementi di facciata non connessi  
 Elementi di facciata pesanti con giunti rigidi

Correzione K  dB

Forma di facciata

$\Delta L_{f_0}$   dB

Risultati

Calcolo di Rw minimo dei serramenti

Area totale  m<sup>2</sup>    Volume dell'ambiente  m<sup>3</sup>  
 R'w  dB    D<sub>2m,n,Tw</sub>  dB    Valore limite  dB  
 Destinazione d'uso

fig. 27 risultati simulazione Echo .- stato di progetto

Si nota come le prestazioni acustiche di facciata non siano verificate nelle condizioni esistenti a causa di un serramento scadente a vetro singolo. Sommando i contributi del nuovo pacchetto di facciata e del nuovo serramento, le condizioni di progetto risultano verificate.



# 12

## Analisi strutturale e ipotesi di consolidamento

12.1	Analisi preliminari
12.2	Caratterizzazione dei parametri dell'edificio
12.3	Determinazione delle azioni
12.4	Definizione modello di calcolo
12.5	Verifiche elementi strutturali
12.6	Interventi di consolidamento



In questo capitolo verrà illustrata l'analisi strutturale compiuta sulla scuola Morcelli-Toscanini al fine di verificare i carichi di progetto agenti sugli elementi strutturali ed eventualmente indagare la necessità di interventi di consolidamento strutturale. Secondo quanto illustrato nel paragrafo 8.3 della NTC2018 non sussistono i presupposti perché sia necessaria la valutazione della sicurezza in quanto l'intervento proposto non cambia la statica dell'edificio, e viene mantenuta la destinazione d'uso originaria. A causa del cambiamento dei pesi delle partizioni e chiusure gravanti sul sistema strutturale, in questa sede si è ritenuto necessario eseguire una verifica a campione degli elementi strutturali per verificarne il comportamento sotto l'azione dei nuovi carichi.

L'analisi presuppone lo sviluppo di quattro fasi:

fase 1. Analisi preliminari che permettano di definire le caratteristiche e i parametri relativi alla struttura

fase 2. Realizzazione di un modello di calcolo a elementi finiti, in grado di rappresentare il comportamento della struttura rispetto ai carichi gravitazionali (permanententi e accidentali) e rispetto all'azione sismica attesa sul sito;

fase 3. definizione delle principali criticità della struttura;

fase 4. definizione degli interventi di consolidamento necessari per ottenere un miglioramento della struttura ai carichi agenti.

## Analisi preliminari 12.1

### 12.1.1 Introduzione

In questa fase ci siamo servite della documentazione originale di progetto del fabbricato in oggetto reperita con richiesta di accesso agli atti al Comune di Chiari. Nonostante tale documentazione sia comprensiva di entrambi gli edifici originari, ovvero il corpo scolastico principale e la palestra, la nostra analisi sarà incentrata esclusivamente sul blocco aule, ovvero l'immobile oggetto di intervento, a differenza del corpo minore per cui è prevista la demolizione. La documentazione originale consiste in:

- denuncia dei cementi armati al Genio Civile
- disegni esecutivi della progettazione architettonica (documentazione incompleta);
- disegni esecutivi delle strutture in cemento armato (documentazione quasi completa).

Da questi documenti si evince che l'edificio è caratterizzato da una struttura regolare prefabbricata in calcestruzzo armato: le fondazioni sono costituite da plinti prefabbricati collegati da muri di fondazione; le strutture orizzontali sono travi prefabbricate; le strutture verticali sono plinti prefabbricati; i solai e la copertura sono costituiti da coppelle prefabbricate precomprese e non vincola alle travi con getti integrativi. In merito ai materiali la denuncia indica che è stato adottato un cemento Portland e un acciaio FeB44K ad aderenza migliorata.

Si evidenzia che i disegni esecutivi delle strutture non sono rappresentativi dell'intero edificio: disponendo dei disegni esecutivi di uno secondo edificio scolastico appartenente alla catalogazione illustrata nel capitolo 4 (istituto tecnico L. Negrelli, Feltre), edificato anch'esso dall'impresa Valdadige con la medesima tecnica costruttiva, ci si rifarà a questi per i particolari di cui non si dispone di indicazioni nelle tavole. Per i dettagli in cui tale confronto non può essere adottato, saranno fatte delle considerazioni generali in base della prassi costruttiva adottata.

Mancando nella documentazione originale informazioni specifiche sia in merito alle stratigrafie dei pacchetti dei solai, sia i certificati di prova dei materiali il Comune di Chiari ha recentemente predispo-



sto una campagna di indagine diagnostica conoscitiva propedeutica alla realizzazione del progetto del bando ad oggi in corso di attuazione. Tali attività conoscitive e diagnostiche sono state necessarie al Comune per conseguire un alto grado di conoscenza della struttura in oggetto rispetto a: geometria, schema strutturale, dettagli strutturali e proprietà meccaniche dei materiali e del terreno. Le informazioni di seguito descritte in merito alla situazione attuale dell'edificio sono state dedotte dalle relazioni redatte dal Comune di Chiari a seguito di tali indagini conoscitive, indispensabili per la successiva fase di modellazione a elementi finiti.

## 12.1.2 Indagini conoscitive

Il fabbricato in oggetto consiste in un corpo di forma rettangolare di dimensioni 55.34×33.74m e si sviluppa su due livelli. L'edificazione della struttura risale all'anno 1980, con denuncia ai sensi della legge 05-11-1971 n.1086 effettuata in data 11-06-1980 al Genio Civile di Brescia al protocollo n.7681.

### 12.1.2.1 Impianto strutturale

Le strutture verticali sono costituite da pilastri prefabbricati di dimensione 46×46cm posti su fondazioni isolate con plinto a bicchiere prefabbricato con spessore di 90 cm e sotto-plinto di varia dimensione in pianta, ma con spessore pari a 40cm. Questi sono poi tra loro collegati con un muro di fondazione in calcestruzzo armato di altezza pari al plinto. Il collegamento è realizzato solo in una direzione, ovvero quella longitudinale, che sfavorisce il comportamento della struttura nel caso di azioni sismiche proveniente dalla direzione ortogonale

Gli orizzontamenti sono costituiti da elementi di solaio prefabbricati in calcestruzzo armato chiamati "coppelle" orditi lungo il lato breve dello schema strutturale. Le coppelle adottate hanno varie dimensioni: quelle del solaio controterra (K30) hanno uno spessore di 30 cm e hanno una forma "a omega", quelle del solaio interpiano e di copertura invece (K50 e K47) hanno uno spessore rispettivamente di 50 e 47cm, e sono della tipologia "a pigreco".

Le coppelle del solaio intermedio e di copertura poggiano su travi in calcestruzzo armato. Queste ultime, anch'esse di tipo prefabbricato, sono principalmente di due tipologie: quelle longitudinali, chiamate convenzionalmente T1, hanno sezione a T rovescia; i cordoli trasversali sui lati brevi hanno invece sezione rettangolare e vengono indicati come CO.

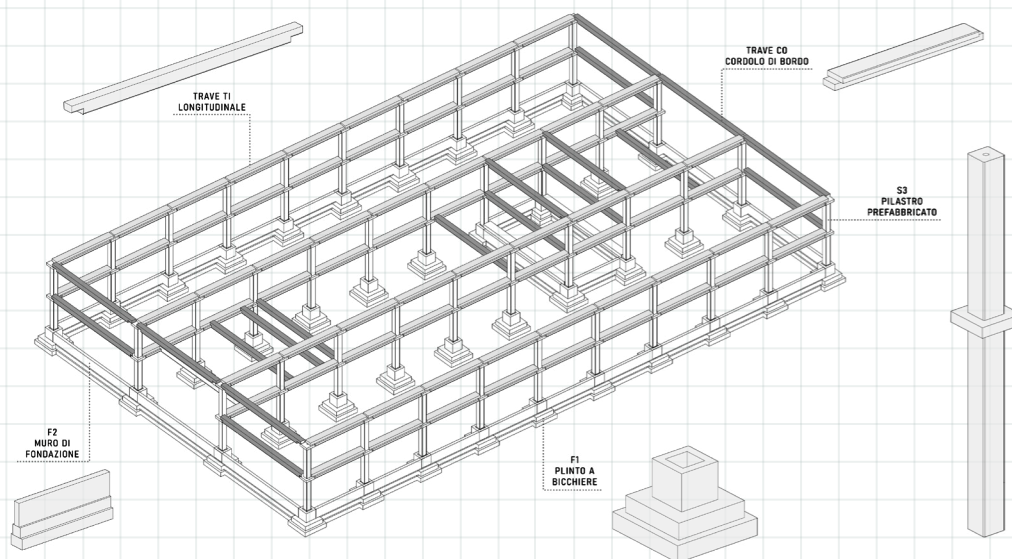


fig. 1 impianto strutturale della scuola nello stato attuale

Le travi sono semplicemente appoggiate ai pilastri, in corrispondenza della mensola progettata appositamente per il loro alloggiamento.

Le indagini eseguite in sito hanno evidenziato inoltre che in corrispondenza del piano terra e del primo piano è presente un getto di completamento per la solidarizzazione delle strutture verticali con quelle orizzontali dello spessore di 4cm, che invece non è presente nel solaio di copertura, dove il collegamento tra gli elementi strutturali è solo a secco. Ciò significa che, nelle condizioni pre-intervento, si può considerare la presenza di un diaframma rigido solo in corrispondenza dei piani terra e primo, ma non in copertura (fig.1)

### 12.1.2.2 Indagine diagnostica sui materiali

Al fine ottenere il livello di conoscenza LC3 sull'edificio il Comune di Chiari ha predisposto, oltre alla verifica della geometria, dei dettagli costruttivi e del terreno di fondazione, una campagna diagnostica per verificare in situ le proprietà dei materiali (fig.2).

Per quanto riguarda l'armatura sono state estratte barre di armatura di diverso diametro ed eseguite in laboratorio prove di trazione (fig.3). Tali prove, distruttive e invasive per definizione, sono state completate con prove di durezza eseguite in modo diffuso sulle barre di acciaio per verificare l'omogeneità della distribuzione delle proprietà meccaniche.

Per quanto riguarda la valutazione delle proprietà meccaniche del calcestruzzo si osserva che, a fronte di una superficie di 3539m<sup>2</sup>, sarebbero necessari 24 carotaggi al fine di conseguire il livello di conoscenza desiderato. In virtù della natura prefabbricata della struttura in oggetto e del carattere di forte ripetibilità che la caratterizza il numero totale di provini è stato ridotto a circa 2/3, ovvero 15

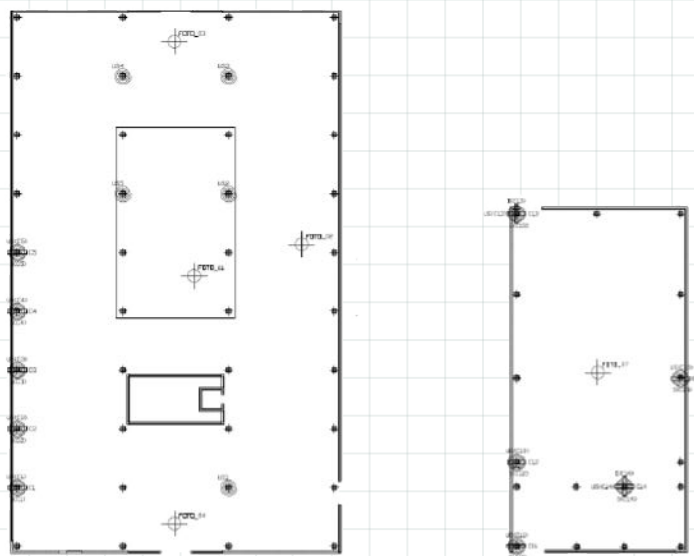


fig. 2 localizzazione delle prove diagnostiche-piano terra

I carotaggi sono stati eseguiti nei punti meno sollecitati degli elementi strutturali: per la trave a metà altezza della sezione e a circa 1/5 della luce; per i pilastri a metà altezza della sezione e a metà altezza d'interpiano. (fig. 4) Ciascuna operazione di carotaggio è stata preceduta da un'indagine pacometrica per l'individuazione del reticolo delle armature al fine di non danneggiarle durante le operazioni di carotaggio. Per ogni pilastro carotato è stata eseguita sia una prova sclerometrica che una prova SonReb per la misura della velocità propagazione dell'onda sonora nel calcestruzzo, che è rappresentativa della qualità generale del materiale in termini di rigidezza e quindi anche di resistenza.



fig. 3 barre estratte per le successive prove di trazione



fig. 4 carote di calcestruzzo estratte durante le indagini diagnostiche

Le prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati dalla struttura in oggetto hanno dato i seguenti risultati:

- resistenza media a compressione del calcestruzzo pari a 51.8 Mpa
- tensione di snervamento media dell'acciaio pari a 468.7 Mpa
- tensione di rottura media pari a 718.7 MPa

#### 12.1.2.3 Proprietà del terreno

L'indagine geologica (relazione geologica a cura del Dott. G. Fasser) ha messo in evidenza la presenza di terreni ghiaiosi e sabbiosi, normalmente addensati. La falda acquifera si trova ad un livello piezometrico pari a -24.0m, pertanto si possono escludere a priori fenomeni di liquefazione dei terreni in caso di sisma. Da tali studi è emersa poi una categoria di sottosuolo B e una categoria topografia T1.

In conclusione, le indagini svolte sul manufatto in esame permettono di configurare un livello di conoscenza LC3 a cui corrisponde un fattore di confidenza FC pari a 1.0.

## 12.2 Caratterizzazione dei parametri dell'edificio

Sulla base di quanto illustrato finora, si provvede di seguito a calcolare, sulla base dei dati acquisiti finora, le caratteristiche e i parametri con cui verranno di seguito modellati gli elementi strutturali dell'edificio con il programma SAP2000.

### 12.2.1 Caratterizzazione delle proprietà dei materiali

#### Cemento Portland 42,5

Si assume che la resistenza caratteristica a compressione sia quella valutata dalle prove diagnostiche in situ, da cui si calcola il valore di progetto.

$$\theta_{c,max} = 147,5 \text{ Kg/cm}^2$$

Resistenza caratteristica a compressione (prove in situ):  $f_{ck} = 51,8 \text{ Mpa} = 51800 \text{ KN/m}^2$

Resistenza di progetto a compressione:  $f_{cd} = \alpha_{cc} (f_{ck}/\gamma_c) = 0,85 (51,8/1,5) = 29,35 \text{ Mpa} = 29350 \text{ KN/m}^2$

Resistenza media a trazione:  $f_{ctm} = 0,3 * (f_{ck})^{2/3} = 0,3 * (29,35)^{2/3} = 2,85 \text{ Mpa} = 2850 \text{ KN/m}^2$

Resistenza caratteristica a trazione:  $f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} = 0,7 * 2,85 = 1,995 \text{ Mpa} = 1995 \text{ KN/m}^2$   
 Resistenza a trazione di progetto:  $f_{ctd} = \alpha_{ct} (f_{ctk} / \gamma_c) = 1 (1,995 / 1,5) = 1,33 \text{ Mpa} = 1330 \text{ KN/m}^2$   
 Modulo di elasticità normale:  $E = 36035 \text{ Mpa} = 36035000 \text{ KN/m}^2$   
 Coefficiente di Poisson:  $\nu = 0,2$   
 Modulo di elasticità tangenziale:  $G = E / 2(1 + \nu) = 15014,5833 \text{ Mpa} = 15014583,3 \text{ KN/m}^2$   
 Massa volumica  $m = 2500 \text{ Kg/m}^3$  - Peso specifico  $p_s = 24,52 \text{ KN/m}^3$

### Acciaio FeB44K

Si assume che la tensione caratteristica a snervamento sia quella valutata dalle prove diagnostiche in situ, da cui si calcola il valore di progetto.

Resistenza media a compressione:  $\theta_{s,max} = 2600 \text{ Kg/cm}^2$   
 Tensione di snervamento caratteristica (prove in situ):  $f_{yd} = 468,7 \text{ Mpa} = 468700 \text{ KN/m}^2$   
 Tensione di snervamento di progetto:  $f_{y,d} = (f_{yk} / \gamma_s) = 468,7 / 1,15 = 407,57 \text{ Mpa} = 407570 \text{ KN/m}^2$   
 Tensione ultima:  $f_{ud} = 718,7 \text{ Mpa} = 718700 \text{ KN/m}^2$   
 Modulo di elasticità normale:  $E = 210'000 \text{ Mpa} = 210'000'000 \text{ KN/m}^2$   
 Coefficiente di Poisson:  $\nu = 0,3$   
 Modulo di elasticità tangenziale:  $G = E / 2(1 + \nu) = 80769,2307 \text{ Mpa} = 80769230,7 \text{ KN/m}^2$   
 Massa volumica  $m = 7859 \text{ Kg/m}^3$  - Peso specifico  $p_s = 77,07 \text{ KN/m}^3$

## 12.2.2 Calcolo dei parametri sismici

Per la modellazione a elementi finiti si provvede a definire preliminarmente il valore dell'azione sismica, in modo da poter considerare anche le combinazioni sismiche nelle valutazioni di verifiche degli elementi strutturali.

La domanda sismica è descritta dallo spettro di risposta elastico di riferimento definito a partire dalle coordinate geografiche della costruzione, dalle caratteristiche geologico-stratigrafiche e topografiche del sito e da una serie di parametri, funzione delle caratteristiche proprie del manufatto e del suo uso. La fase di modellazione deve infatti essere preceduta dalla definizione dei parametri necessari per definire l'azione sismica:

1. inserire le coordinate geografiche del sito di costruzione:
  - latitudine = 45.5307
  - longitudine = 9.9257
2. stabilire la vita nominale dell'opera ( $V_N$ ) a cui viene riferita la valutazione della sicurezza e per la quale viene eventualmente progettato un intervento di adeguamento sismico:
  - par 2.4.1 NTC 2018 - opera ordinaria -  $V_N = 50$  anni
3. stabilire la classe e il relativo coefficiente d'uso ( $C_U$ ):
  - par 2.4.2 NTC 2018 - opera soggetta ad affollamenti significativi - classe C/III - coef. d'uso  $C_U = 1,5$
4. calcolare il periodo di riferimento per l'azione sismica ( $V_R$ ):
  - par. 2.4.3 NTC 2018 -  $V_R = V_N \times C_U = 50 \times 1,5 = 75$  anni
5. calcolare il periodo di ritorno del sisma ( $T_R$ ) in funzione dello stato limite rispetto al quale viene condotta la verifica, nel nostro caso Salvaguardia della Vita (SLV) che prevede una probabilità di superamento  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$  pari al 10% ( $P_{VR} = 10\% = 0,01$ ):
  - par 3.2.1 NTC 2018  $T_{R,SLV} = - (V_N / \ln(1 - P_{VR})) = - (50 / \ln(1 - 0,01)) = 712$  anni
6. individuare la categoria topografica, e il relativo coefficiente di amplificazione topografica ( $S_T$ ):
  - par 3.2.3 NTC 2018 - pendio con inclinazione media inferiore a 15% - categoria topografica T1 - coefficiente amplificazione topografica  $S_T = 1$

7. individuare la categoria stratigrafica:

par 3.2.3 NTC 2018-sottosuolo ghiaioso e sabbioso mediamente addensato-cat. stratigrafica B

8. definire il fattore di struttura:

par 3.2.3 NTC 2018-data la natura prefabbricata dell'edificio, con struttura a telaio, pilastri in castrati e travi semplicemente appoggiate si adotta un fattore  $q_0=1,5$

L'azione sismica su suolo di riferimento rigido viene descritta da tre valori:

- accelerazione orizzontale massima al sito  $a_g$
- fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale  $F_0$
- periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale  $T_c^*$

Disponendo di tutti i parametri per il calcolo, si procede a valutare l'azione sismica per l'edificio oggetto di studio.

fig. 5 definizione dell'azione sismica -individuazione della pericolosità del sito

fig. 6 definizione dell'azione sismica - scelta della strategia di progettazione

### FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

**Stato Limite**  
Stato Limite considerato: SLV info

**Risposta sismica locale**  
 Categoria di sottosuolo: B info  $S_S = 1,200$   $C_C = 1,420$  info  
 Categoria topografica: T1 info  $h/H = 0,000$   $S_T = 1,000$  info  
(H=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

**Compon. orizzontale**  
 Spettro di progetto elastico (SLE) Smorzamento  $\xi$  (%): 5  $\eta = 1,000$  info  
 Spettro di progetto inelastico (SLU) Fattore  $q_0$ : 2,5 Regol. in altezza: si info

**Compon. verticale**  
 Spettro di progetto Fattore  $q$ : 1,5  $\eta = 0,667$  info

**Elaborazioni**  
 Grafici spettri di risposta  
 Parametri e punti spettri di risposta

**Spettri di risposta**

$S_{d,s}$  [g]  
 $S_{d,v}$  [g]  
 $S_e$  [g]

— Spettro di progetto - componente orizzontale  
 — Spettro di progetto - componente verticale  
 — Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1,  $\xi = 5\%$ )

INTRO FASE 1 FASE 2 FASE 3

fig. 7 definizione dell'azione sismica - determinazione dell'azione di progetto

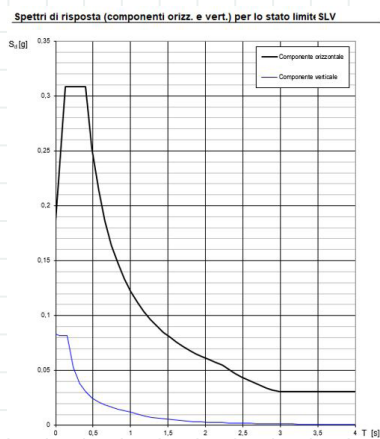


fig. 8 spettri di risposta del sisma per lo stato limite SLV

### Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLV

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0,156 g
$F_a$	2,478
$T_c$	0,279 s
$S_S$	1,200
$C_C$	1,420
$S_T$	1,000
$q$	1,500

**Parametri dipendenti**

$S$	1,200
$\eta$	0,667
$T_B$	0,132 s
$T_D$	0,336 s
$T_n$	2,222 s

#### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10 \cdot (5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; § 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_c / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_D = C_C \cdot T_c \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_n = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

#### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_a} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_D \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a$$

$$T_D \leq T < T_n \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left( \frac{T_D}{T} \right)$$

$$T_n \leq T \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left( \frac{T_D}{T} \right)^2$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

#### Punti dello spettro di risposta

T [s]	$S_e$ [g]
0,000	0,187
0,132	0,308
0,336	0,308
0,483	0,253
0,570	0,214
0,657	0,186
0,744	0,164
0,831	0,147
0,918	0,133
1,005	0,122
1,092	0,112
1,179	0,104
1,266	0,097
1,353	0,090
1,440	0,085
1,527	0,080
1,614	0,076
1,701	0,072
1,788	0,068
1,875	0,065
1,961	0,062
2,048	0,060
2,135	0,057
2,222	0,055
2,307	0,051
2,392	0,047
2,476	0,044
2,561	0,041
2,646	0,039
2,730	0,036
2,815	0,034
2,900	0,032
2,984	0,031
3,069	0,031
3,153	0,031
3,238	0,031
3,323	0,031
3,407	0,031
3,492	0,031
3,577	0,031
3,661	0,031
3,746	0,031
3,831	0,031
3,915	0,031
4,000	0,031

fig. 9 parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLV

## 12.3 Determinazione delle azioni

Per procedere alla determinazione delle azioni agenti sulla struttura si premette che nella trattazione di seguito eseguita verrà indagato, in termini di carichi, l'edificio scolastico nelle condizioni di progetto.

### 12.3.1 Analisi dei carichi

Nel par. 2.5.1. delle Norme Tecniche di Costruzione D.M. 17/01/2018 si classificano le azioni secondo la variazione della loro intensità nel tempo:

1 - Permanenti (G): azioni che agiscono durante tutta la vita nominale della costruzione, la cui variazione d'intensità nel tempo è così piccola e lenta da poterle considerare, con sufficiente approssimazione, costanti nel tempo:

peso proprio di tutti gli elementi strutturali; peso proprio del terreno, quando pertinente; forze indotte dal terreno (esclusi gli effetti di carichi variabili applicati al terreno); forze risultanti dalla pressione dell'acqua (quando si configurino costanti nel tempo) (G1); peso proprio di tutti gli elementi non strutturali (G2); spostamenti e deformazioni imposti, previsti dal progetto e realizzati all'atto della costruzione; pretensione e precompressione (P); ritiro e viscosità; spostamenti differenziali;

2 - Variabili (Q): azioni sulla struttura o sull'elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo. Si definiscono carichi variabili di lunga durata se agiscono con un'intensità significativa, anche non continuativamente, per un tempo non trascurabile rispetto alla vita nominale della struttura; rientrano invece tra i carichi variabili di breve durata le azioni che agiscono per un periodo di tempo breve rispetto alla vita nominale della struttura;

3 - Eccezionali (A): azioni che si verificano solo eccezionalmente nel corso della vita nominale della struttura, ovvero incendi, esplosioni, urti ed impatti;

4 - Sismici (E): azioni derivanti dai terremoti.

#### 12.3.1.1 Analisi dei carichi permanenti (G)

Per l'analisi dei carichi permanenti si è fatto riferimento al D.M.17/01/2018, §3.1.

I carichi sono in genere da considerare come applicati staticamente, salvo casi particolari in cui gli effetti dinamici devono essere debitamente valutati. Oltre che nella situazione definitiva d'uso, si devono considerare le azioni agenti in tutte le fasi esecutive della costruzione. Le azioni permanenti agiscono durante tutta la vita nominale della costruzione. Esse sono legate all'azione gravitazionale e sono determinate a partire dalle dimensioni geometriche e dai pesi dell'unità di volume dei materiali di cui è composta la costruzione sia nelle parti strutturali sia in quelle non strutturali.

1 - Carichi strutturali (G1): i pesi propri della struttura sono i pesi degli elementi prefabbricati, ovvero travi ed elemento di solaio in c.a.p.

2 - Carichi non strutturali (G2): sono considerati carichi permanenti non strutturali i carichi non rimovibili durante il normale esercizio della costruzione. Essendo il caso in esame una struttura con orditura unidirezionale e con capacità di ripartizione trasversale, i carichi permanenti non strutturali possono assumersi, per le verifiche d'insieme, come uniformemente ripartiti. Per gli orizzontamenti degli edifici per abitazioni e per uffici, il peso proprio di elementi divisorii interni potrà essere ragguagliato ad un carico permanente uniformemente distribuito  $g_2$ , purché vengano adottate le misure costruttive atte ad assicurare una adeguata ripartizione del carico. Il carico uniformemente distribuito  $g_2$  potrà essere

correlato al peso proprio per unità di lunghezza  $G_2$  delle partizioni nel modo seguente:

per elementi divisori con  $G_2 \leq 1,00 \text{ kN/m}$  :  $g_2 = 0,40 \text{ kN/m}^2$ ;

per elementi divisori con  $1,00 < G_2 \leq 2,00 \text{ kN/m}$  :  $g_2 = 0,80 \text{ kN/m}^2$

per elementi divisori con  $2,00 < G_2 \leq 3,00 \text{ kN/m}$  :  $g_2 = 1,20 \text{ kN/m}^2$

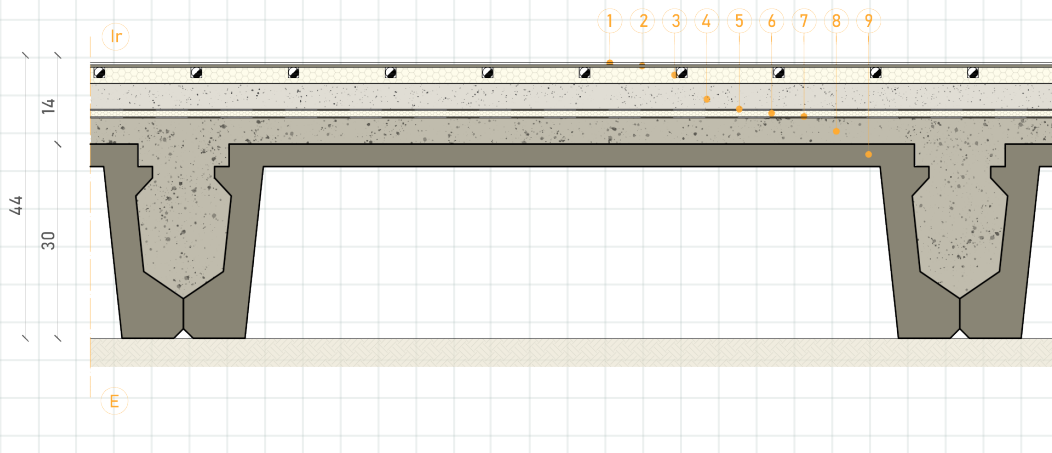
per elementi divisori con  $3,00 < G_2 \leq 4,00 \text{ kN/m}$  :  $g_2 = 1,60 \text{ kN/m}^2$

per elementi divisori con  $4,00 < G_2 \leq 5,00 \text{ kN/m}$  :  $g_2 = 2,00 \text{ kN/m}^2$ .

Gli elementi divisori interni con peso proprio maggiore di  $5,00 \text{ kN/m}$  devono essere considerati in fase di progettazione, tenendo conto del loro effettivo posizionamento sul solaio.

Si illustrano di seguito i carichi permanenti dei solai di progetto:

### Solaio controterra



N	Strato	Spessore [mm]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Peso [kg/m <sup>2</sup> ]	Carichi [kN/m <sup>2</sup> ]	
G2	1	Pavimento in linoleum	3,5	0,17	885	3,10	1,6
	2	Lastra in fibra sintetica laminata	4	0,095	700	2,8	
	3	Pannello in EPS sagomato	25	0,032	40	1	
	4	Massetto autolivellante	40	1,4	1950	78	
	5	TNT	0,6	0,17	130	0,08	
	6	Pannello isolante sottovuoto	10	0,002	400	4	
	7	Guaina impermeabilizzante + TNT	1,7	0,17	800	1,36	
	8	Microcstruzzo fibrorinforzato	40	1,61	2300	92	
G1	9	Elemento di solaio in cls prefabbricato "a omega" K30.	300	2,08	2500	163	1,6

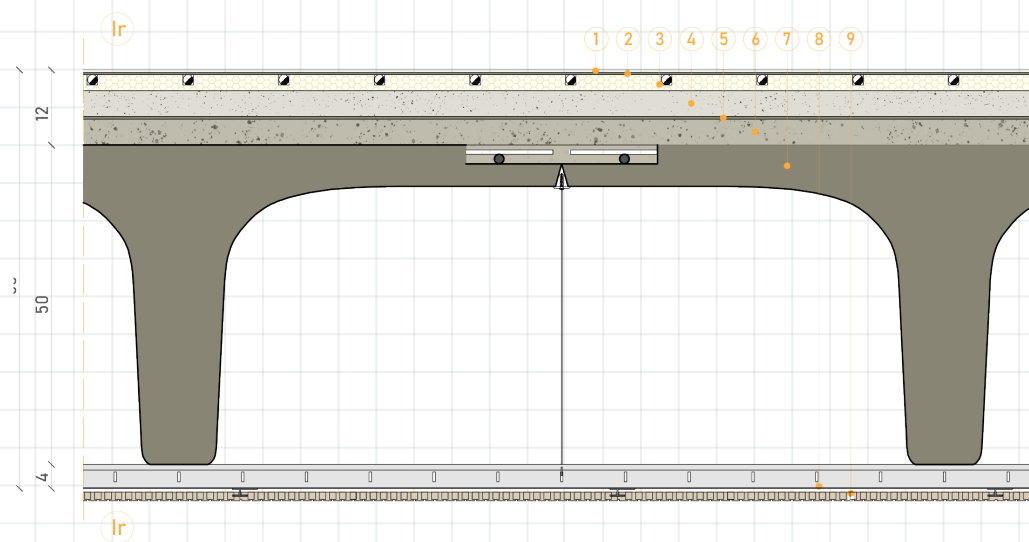
fig. 10 abaco del solaio controterra e relativa tabella riassuntiva dei carichi G1 e G2

G1 è il carico dovuto al peso proprio della coppella K30 in c.a.p. questo dato si evince dal disegno originale dei ferri:  $11,27q=1127\text{Kg}=11,052 \text{ KN}$ . Considerando le sue dimensioni in pianta ( $5,75 \times 1,2\text{m}=6,9\text{m}^2$ ) risulta  $G1=1,6\text{KN/m}^2$

G2 è il carico dovuto agli elementi non strutturali costituenti il solaio, che per il solaio controterra è pari a  $G2=1,6\text{KN/m}^2$ .



## Solaio interpiano



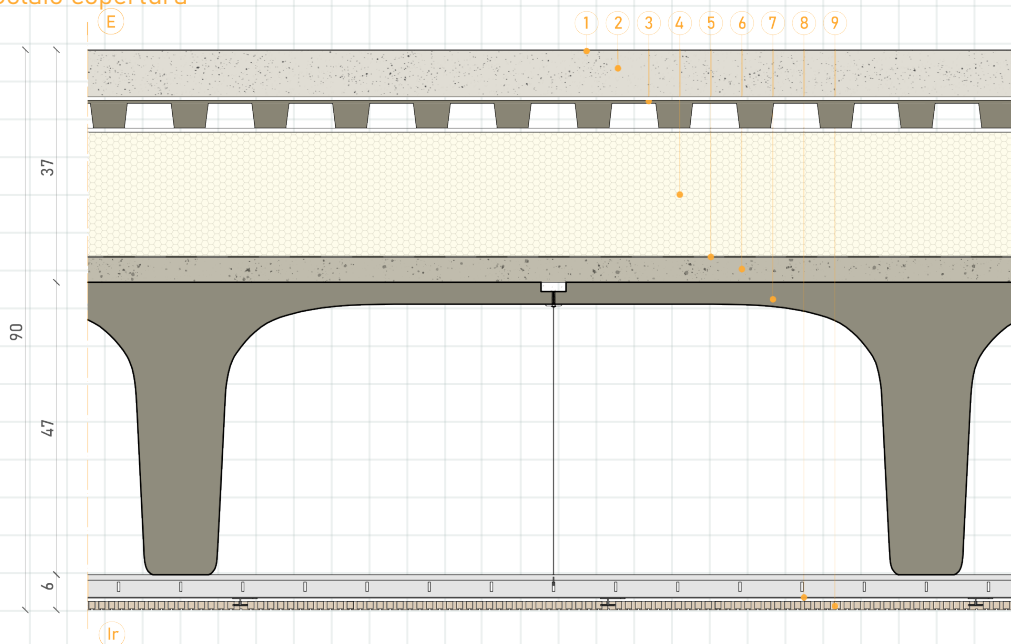
N	Strato	Spessore [mm]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Peso [kg/m <sup>2</sup> ]	Carichi [kN/m <sup>2</sup> ]	
G2	1	Pavimento in linoleum	3,5	0,17	885	3,10	1,74
	2	Lastra in fibra sintetica laminata	4	0,095	700	2,8	
	3	Pannello in EPS sagomato	25	0,032	40	1	
	4	Massetto autolivellante	40	1,4	1950	78	
	5	Tappetino acustico	4,8	0,04	125	0,6	
	6	Microcclcestruzzo fibrorinforzato	40	1,61	2300	92	
G1	7	Elemento di solaio in cls prefabbricato "a pigreco" K50	500	2,08	2400	320	3,14

fig. 11 abaco del solaio interpiano e relativa tabella riassuntiva dei carichi G1 e G2

G1 è il carico dovuto al peso proprio della coppella K50 in c.a.p. questo dato si evince dal disegno originale dei ferri:  $77,89q=7789\text{Kg}=76,384\text{KN}$ . Considerando le sue dimensioni in pianta ( $10,14 \times 2,4\text{m}=24,34\text{m}^2$ ) risulta  $G1=3,14\text{KN/m}^2$

G2 è il carico dovuto agli elementi non strutturali costituenti il solaio, che per il solaio interpiano è pari a  $G2=1,74\text{KN/m}^2$ .

## Solaio copertura



N	Strato	Spessore [mm]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Peso [kg/m <sup>2</sup> ]	Carichi [kN/m <sup>2</sup> ]	
G2	1	Membrana impermeabilizzante	1,2	0,15	1400	1,68	1,86
	2	Massetto alleggerito pedenzato	75	0,251	1000	75	
	3	Vespaio areato	50	0,22	150	7,5	
	4	Acquapanel Cement Board	6	0,34	1250	7,5	
		Pannello isolante in Neopor	200	0,03	28	5,6	
	5	Barrira al vapore bituminosa	0,9	0,17	778	0,7002	
	6	Microcclcestruzzo fibrorinforzato	40	1,61	2300	92	
G1	7	Elemento di solaio in cls prefabbricato "a pigreco" K47	470	2,08	2500	248	2,43
	8	Barriera al vapore	0,9	0,17	615	0,55	
	9	TNT fonoassorbente	1	0,17	256	0,256	
		Controsoffitto con pannello sagomato in MDF	14	0,09	565	7,91	

fig. 12 abaco del solaio copertura e relativa tabella riassuntiva dei carichi G1 eG2

G1 è il carico dovuto al peso proprio della coppella K47 in c.a.p. questo dato si evince dal disegno originale dei ferri:  $60,36q=6036\text{Kg}=59,193\text{KN}$ . Considerando le sue dimensioni in pianta ( $10,14 \times 2,4\text{m}=24,34\text{m}^2$ ) risulta  $G1=2,43\text{KN/m}^2$

G2 è il carico dovuto agli elementi non strutturali costituenti il solaio, che per il solaio di copertura è pari a  $G2=1,86\text{KN/m}^2$ .

### 12.3.1.2 Analisi dei carichi variabili (Q)

Azioni sulla struttura o sull'elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo.

#### 1 - Sovraccarichi (§3.1.4 NTC2018,)

I sovraccarichi, o carichi imposti, comprendono i carichi legati alla destinazione d'uso dell'opera; i modelli di tali azioni possono essere costituiti da:

carichi verticali uniformemente distribuiti  $q_k$ , carichi verticali concentrati  $Q_k$ , carichi orizzontali lineari  $H_k$ . I valori nominali e/o caratteristici di  $q_k$ ,  $Q_k$  ed  $H_k$  sono riportati nella Tab. 3.1.II.

Tali valori sono comprensivi degli effetti dinamici ordinari, purché non vi sia rischio di rilevanti amplificazioni dinamiche della risposta delle strutture.

**Tab. 3.1.II - Valori dei sovraccarichi per le diverse categorie d'uso delle costruzioni**

Cat.	Ambienti	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_k$ [kN]	$H_k$ [kN/m]
A	<b>Ambienti ad uso residenziale</b>			
	Aree per attività domestiche e residenziali; sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi (ad esclusione delle aree soggette ad affollamento), camere di degenza di ospedali	2,00	2,00	1,00
	Scale comuni, balconi, ballatoi	4,00	4,00	2,00
B	<b>Uffici</b>			
	Cat. B1 Uffici non aperti al pubblico	2,00	2,00	1,00
	Cat. B2 Uffici aperti al pubblico	3,00	2,00	1,00
	Scale comuni, balconi e ballatoi	4,00	4,00	2,00
C	<b>Ambienti suscettibili di affollamento</b>			
	Cat. C1 Aree con tavoli, quali scuole, caffè, ristoranti, sale per banchetti, lettura e ricevimento	3,00	3,00	1,00
	Cat. C2 Aree con posti a sedere fissi, quali chiese, teatri, cinema, sale per conferenze e attesa, aule universitarie e aule magne	4,00	4,00	2,00
	Cat. C3 Ambienti privi di ostacoli al movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, aree d'accesso a uffici, ad alberghi e ospedali, ad atri di stazioni ferroviarie	5,00	5,00	3,00
	Cat. C4. Aree con possibile svolgimento di attività fisiche, quali sale da ballo, palestre, palcoscenici.	5,00	5,00	3,00
	Cat. C5. Aree suscettibili di grandi affollamenti, quali edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune, gradinate e piattaforme ferroviarie.	5,00	5,00	3,00
	Scale comuni, balconi e ballatoi	Secondo categoria d'uso servita, con le seguenti limitazioni		
	≥ 4,00	≥ 4,00	≥ 2,00	
H-I-K	<b>Coperture</b>			
	Cat. H Coperture accessibili per sola manutenzione e riparazione	0,50	1,20	1,00
	Cat. I Coperture praticabili di ambienti di categoria d'uso compresa fra A e D	secondo categorie di appartenenza		
	Cat. K Coperture per usi speciali, quali impianti, eliporti.	da valutarsi caso per caso		

\* non comprende le azioni orizzontali eventualmente esercitate dai materiali immagazzinati.  
 \*\* per i soli parapetti o partizioni nelle zone pedonali. Le azioni sulle barriere esercitate dagli automezzi dovranno essere valutate caso per caso.

tab. 1 valori dei sovraccarichi per le diverse categorie d'uso delle costruzioni

## 2 - Carico neve (§3.4 NTC2018)

Per l'analisi del carico da neve si è fatto riferimento al D.M.17/1/2018 § 3.4.

Il carico provocato dalla neve sulle coperture sarà valutato mediante la seguente espressione:

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

dove:

$q_{sk}$  è il valore di riferimento del carico della neve al suolo

$\mu_i$  è il coefficiente di forma della copertura

$C_E$  è il coefficiente di esposizione

$C_t$  è il coefficiente termico

Si assume che il carico della neve agisca in direzione verticale e lo si riferisce alla proiezione orizzontale della superficie della copertura.

1. Il carico della neve al suolo dipende dalle condizioni locali di clima e di esposizione, considerata la

variabilità delle precipitazioni nevose da zona a zona.  $a_s$  è l'altitudine sul livello del mare del sito ove sorge la costruzione.

L'edificio analizzato si trova in provincia di Brescia; l'altitudine del sito ove sorge la costruzione è di 138m slm.

zona I: Alpina Aosta, Belluno, Bergamo, Biella, Bolzano, Brescia, Como, Cuneo, Lecco, Pordenone, Sondrio, Torino, Trento, Udine, Verbano- Cusio-Ossola, Vercelli, Vicenza:

$$q_{sk} = 1,50 \text{ kN/m}^2 \quad a_s \leq 200 \text{ m}$$

$$q_{sk} = 1,39 [1 + (a_s / 728)2] \text{ kN/m}^2 \quad a_s > 200 \text{ m}$$

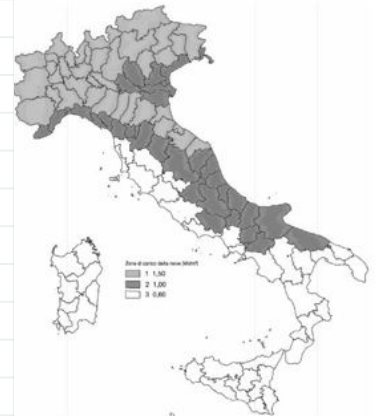


fig. 13 mappa delle zone di carico della neve in cui è stato diviso il territorio nazionale

2. Il coefficiente di forma della copertura dipende dalla forma stessa del tetto e dall'inclinazione sull'orizzontale delle sue parti componenti e dalle condizioni climatiche locali del sito ove sorge la costruzione.

L'edificio analizzato ha una copertura piana

Coefficiente di forma	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
$\mu_1$	0,8	$0,8 \cdot \frac{(60 - \alpha)}{30}$	0,0

tab. 2 valori del coefficiente di forma

3. Il coefficiente di esposizione tiene conto delle caratteristiche specifiche dell'area in cui sorge l'opera. Valori consigliati di questo coefficiente sono forniti in Tab. 3.4.1 per le classi di esposizione. Se non diversamente indicato, si assume  $C_E = 1$ .

L'edificio analizzato è inserito in un contesto urbano in cui né costruzioni né la vegetazione svolgono un rilevante ruolo di riparo dalla neve

Topografia	Descrizione	$C_E$
Battuta dai venti	Aree pianeggianti non ostruite esposte su tutti i lati, senza costruzioni o alberi più alti	0,9
Normale	Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi	1,0
Riparata	Aree in cui la costruzione considerata è sensibilmente più bassa del circostante terreno o circondata da costruzioni o alberi più alti	1,1

tab. 3 valore di  $C_E$  per diverse classi di esposizione

4. Il coefficiente termico tiene conto della riduzione del carico della neve, a causa dello scioglimento della stessa, causata dalla perdita di calore della costruzione. Tale coefficiente dipende dalle proprietà di isolamento termico del materiale utilizzato in copertura. In assenza di uno specifico e documentato studio si assume  $C_t = 1$

Non avendo uno specifico documento di studio si assume  $C_t = 1$ .

### 3 - Carico vento (§3.3 NTC2018)

L'azione del vento sui singoli elementi che compongono la costruzione va determinata considerando

la combinazione più gravosa delle pressioni agenti sulle due facce di ogni elemento. Tale azione è costituita da pressioni e depressioni agenti normalmente alle superfici sia esterne che interne degli elementi che compongono la costruzione: la forza complessiva esercitata dal vento su una costruzione è data dalla risultante delle azioni sui singoli elementi, considerando come direzione del vento quella corrispondente ad uno degli assi principali della pianta della costruzione.

Nei casi di costruzioni di modesta estensione si considerano trascurabili le azioni tangenti esercitate dal vento e, di conseguenza, il calcolo del carico del vento corrisponde al calcolo della pressione del vento; questa fase deve essere preceduta dal calcolo della velocità di riferimento, a sua volta calcolata a partire dalla velocità base di riferimento.

### 1. velocità base di riferimento.

in mancanza di specifiche e adeguate indagini statistiche, è data dall'espressione:

$$v_b = v_{b,0} \times c_a = 25 \times 1 = 25 \text{ m/s}$$

dove:

$v_{b,0}$  è la velocità base di riferimento al livello del mare, assegnata nella Tab 3.3.I. in funzione della zona in cui sorge la costruzione

$c_a$  è il coefficiente di altitudine fornito dalla relazione:

$$c_a = 1 \text{ se } a_s \leq a_0$$

$$c_a = 1 + k_s \times (a_s/a_0)$$

-  $a_0$ ,  $k_s$  sono parametri forniti nella Tab. 3.3.I in funzione della zona in cui sorge la costruzione

-  $a_s$  è l'altitudine sul livello del mare del sito ove sorge la costruzione.

L'edificio analizzato si trova in Lombardia;

l'altitudine del sito ove sorge la costruzione è di 138m slm.



fig. 14 zone di carico della neve

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	$a_0$ [m]	$k_s$
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,40
2	Emilia Romagna	25	750	0,45
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,37
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,36
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	750	0,40
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	500	0,36
7	Liguria	28	1000	0,54
8	Provincia di Trieste	30	1500	0,50
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,32

tab. 4 valori dei parametri  $v_{b,0}$ ,  $a_0$ ,  $k_s$

2. velocità di riferimento: è definita dalla relazione:

$$v_r = v_b \times c_r = 25 \times 1 = 25 \text{ m/s}$$

dove:

$v_b$  è la velocità base di riferimento

$c_r$  è il coefficiente di ritorno, funzione del periodo di ritorno di progetto  $T_R$ .

Ove non specificato diversamente, si assumerà  $T_R = 50$  anni, cui corrisponde  $c_r = 1$ .

Non avendo specificazioni diverse, si assume  $T_R = 50$  anni, e  $c_r = 1$ .

3. pressione del vento: è data dall'espressione:

$$p = q_r \times c_e \times c_p \times c_d$$

dove:

- a)  $q_r$  è la pressione cinetica di riferimento
- b)  $c_e$  è il coefficiente di esposizione
- c)  $c_p$  è il coefficiente di pressione
- d)  $c_d$  è il coefficiente dinamico

a)  $q_r$  [N/m<sup>2</sup>] è data dalla formula:

$$q_r = \frac{1}{2} \times \rho \times v_r^2$$

dove:

$v_r$  è la velocità di riferimento del vento

$\rho$  è la densità dell'aria assunta convenzionalmente costante pari a 1,25 kg/m<sup>3</sup>.

L'edificio in esame ha una pressione cinetica di riferimento pari a:  $q_r = \frac{1}{2} \times 1,25 \times 252^2 = 390,63$  N/m<sup>2</sup>

b)  $c_e$  dipende dall'altezza  $z$  dal suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno e dalla categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione.

In assenza di analisi specifiche, per altezze dal suolo non maggiori di  $z = 200$  m, esso è dato dalla formula:

$$c_e = k_r^2 \times c_t \times \ln(z/z_0) \times \{7 + [c_t \times \ln(z/z_0)]\} \text{ se } z \geq z_{\min}$$

$$c_e = c_e(z_{\min}) \text{ se } z < z_{\min}$$

dove:

-  $k_r$ ,  $z_0$ ,  $z_{\min}$  sono assegnati in Tab. 3.3.11 in funzione della categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione. La categoria di esposizione a sua volta è assegnata nella Fig. 3.3.2 in funzione della posizione geografica del sito ove sorge la costruzione e della classe di rugosità del terreno.

-  $c_t$  è il coefficiente di topografia, posto generalmente pari a 1, sia per le zone pianeggianti sia per quelle ondulate, collinose e montane.

Classe di rugosità del terreno	Descrizione
A	Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15 m
B	Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive
C	Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,....); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D
D	a) Mare e relativa fascia costiera (entro 2 km dalla costa); b) Lago (con larghezza massima pari ad almeno 1 km) e relativa fascia costiera (entro 1 km dalla costa) c) Aree prive di ostacoli o con al più rari ostacoli isolati (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, ....)

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Si può assumere che il sito appartenga alla Classe A o B, purché la costruzione si trovi nell'area relativa per non meno di 1 km e comunque per non meno di 20 volte l'altezza della costruzione, per tutti i settori di provenienza del vento ampi almeno 30°. Si deve assumere che il sito appartenga alla Classe D, qualora la costruzione sorge nelle aree indicate con le lettere a) o b), oppure entro un raggio di 1 km da essa vi sia un settore ampio 30°, dove il 90% del terreno sia del tipo indicato con la lettera c). Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, si deve assegnare la classe più sfavorevole (l'azione del vento è in genere minima in Classe A e massima in Classe D).

tab. 5 classi di rugosità del terreno

L'edificio in esame si colloca in un'area urbana, quindi si assegna una classe di rugosità del terreno B

ZONE 1,2,3,4,5						
	costa	mare				
	2 km	10 km	30 km	500m	750m	
A	--	IV	IV	V	V	V
<b>B</b>	--	III	III	<b>IV</b>	IV	IV
C	--	*	III	III	IV	IV
D	I	II	II	II	III	**
* Categoria II in zona 1,2,3,4 Categoria III in zona 5						
** Categoria III in zona 2,3,4,5 Categoria IV in zona 1						

fig. 15 categorie di esposizione

L'altitudine del sito ove sorge la costruzione è di 138m slm, caratterizzato da una classe di rugosità del terreno B, quindi si assegna una categoria di esposizione IV

Categoria di esposizione del sito	$K_r$	$z_0$ [m]	$z_{min}$ [m]
I	0,17	0,01	2
II	0,19	0,05	4
III	0,20	0,10	5
<b>IV</b>	<b>0,22</b>	<b>0,30</b>	<b>8</b>
V	0,23	0,70	12

tab. 6 parametri per la definizione del coefficiente di esposizione

L'edificio in esame rientra nella classe di esposizione IV, quindi i parametri per la definizione del coefficiente di esposizione sono:  $k_r^2 = 0,22$   $z_0 = 0,30m$   $z_{min} = 8$ . Quindi, essendo l'altezza  $z$  del suolo massima pari a 7,50m, si rientra nella casistica  $z < z_{min}$ , quindi si ha  $c_e = c_e(z_{min})$

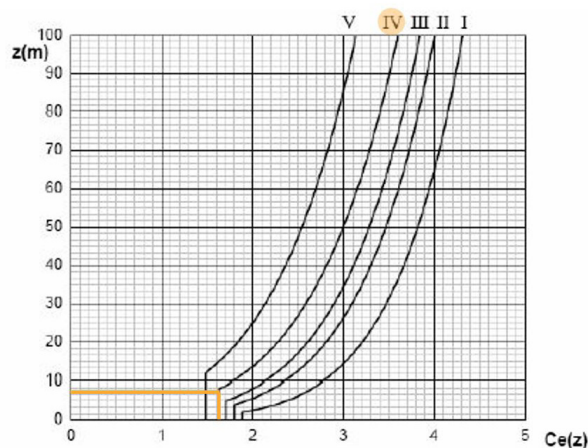


fig. 16 andamento del coefficiente di esposizione  $c_e$  in funzione dell'altezza sul suolo (per  $c_1=1$ )

Viste le premesse, l'edificio in esame ha classe di esposizione pari a:  $c_e = c_e(z_{min}) = c_e(8) = 1,6$

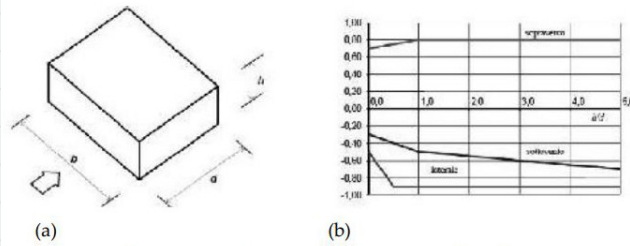
c)  $c_p$  dipende dalla tipologia e dalla geometria della costruzione e dal suo orientamento rispetto alla direzione del vento. In assenza di dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento, per il coefficiente di pressione si assumono i valori riportati ai punti seguenti, con l'avvertenza che si intendono positive le pressioni dirette verso l'interno delle costruzioni.

In riferimento alle costruzioni di forma regolare si fa riferimento ai coefficienti globali  $c_{pe}$ , che possono essere utilizzati in tutti i casi in cui la rappresentazione delle azioni aerodinamiche del vento possa es-

sere effettuata in maniera semplificata, rivolta alla valutazione delle azioni globali su porzioni estese di costruzioni o delle risultanti delle azioni indotte dal vento sugli elementi principali della struttura; Nel caso di edifici rettangolari con coperture piane per la valutazione della pressione esterna si assumeranno gli schemi di seguito riportati

### Pareti verticali

I coefficienti globali  $c_{pe}$  da assumere sulle pareti di un edificio a pianta rettangolare sono quelli di seguito riportati



a) Parametri caratteristici di edifici a pianta rettangolare,  
b) Edifici a pianta rettangolare:  $c_{pe}$  per facce sopravvento, sottovento e laterali

fig. 17 parametri per gli edifici a pianta rettangolare

Faccia sopravvento	$C_U = 2,0$	$C_U = 1,5$
$h/d \leq 1$ : $c_{pe} = 0,7 + 0,1 \cdot h/d$	$h/d \leq 0,5$ : $c_{pe} = -0,5 - -0,8 \cdot h/d$	$h/d \leq 1$ : $c_{pe} = -0,3 - 0,2 \cdot h/d$
$h/d > 1$ : $c_{pe} = 0,8$	$h/d > 0,5$ : $c_{pe} = -0,9$	$1 < h/d \leq 5$ : $c_{pe} = -0,5 - 0,05 \cdot (h/d - 1)$

tab. 7 valori di  $c_{pe}$  per le facce sopravvento, sottovento e laterali di edifici a pianta rettangolare

Nel caso in esame, trattandosi di un edificio scolastico, il coefficiente d'uso secondo la NTC 2018 è  $C_U = 1,5$ . Inoltre, avendo una altezza  $h = 7,6m$  e un lato minore di  $d = 33,74m$  si ha  $h/d = 0,23$ . Si deducono di conseguenza i coefficienti globali di pressione per le pareti sono:

faccia sopravvento:  $c_{pe} = 0,7 + (0,1 \cdot 0,23) = 0,723$

faccie sottovento e laterali  $c_{pe} = -0,3 - (0,2 \cdot 0,23) = -0,346$

Data la direzione prevalente dei venti in direzione nord-est, si considera sopravvento il lato nord, laterali i lati est e ovest e sottovento il lato sud.

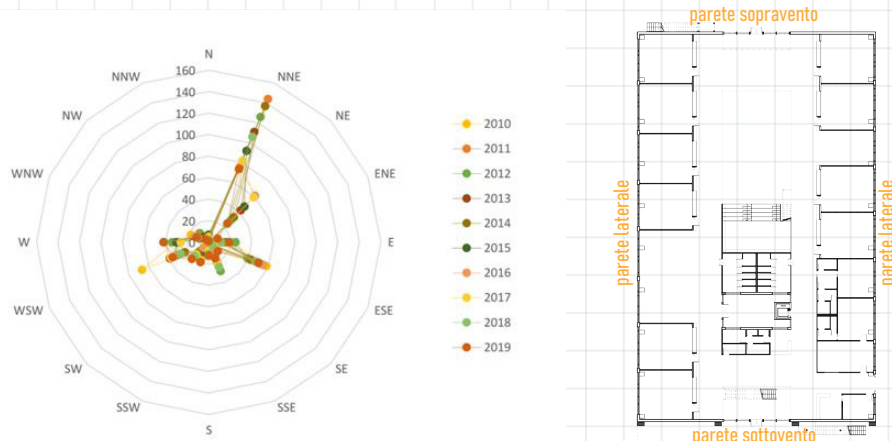


fig. 18 direzione prevalente dei venti e identificazione delle facce sopravvento, sottovento e laterali

### Copertura piana

Si considerano piane le coperture la cui inclinazione sull'orizzontale sia compresa tra  $-5^\circ$  e  $+5^\circ$ . L'altezza di riferimento per le coperture piane è pari alla quota massima della copertura stessa, inclusa la presenza dei parapetti e di altri analoghi elementi. I



coefficienti globali  $c_{pe}$  da assumere sulle coperture di un edificio a pianta rettangolare sono riportati di seguito

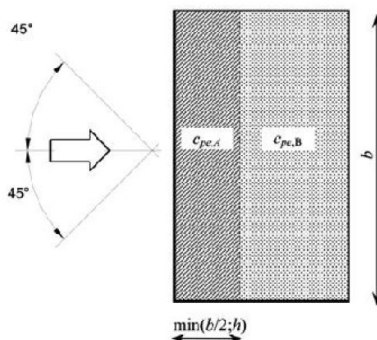


fig. 19 schema di riferimento per coperture piane

Fascia sopravento di profondità pari al minimo tra $b/2$ e $h$ :	$c_{pe,A} = -0,80$
Restanti zone	$c_{pe,B} = \pm 0,20$

tab. 8 Edifici rettangolari: valori di  $c_{pe}$  per coperture piane

d)  $c_d$  tiene 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.

L'edificio in esame è di forma regolare, e non eccede i 80 m di altezza, per cui si assume un coefficiente dinamico pari a  $c_d = 1$

Calcoliamo la pressione del vento di ogni faccia dell'edificio utilizzando la seguente formula, inserendo i relativi valori del coefficiente di pressione appena calcolati:  $p = q_r \times c_e \times c_p \times c_d = 390,63 \text{ N/m}^2 \times 1,6 \times c_p \times 1$

superficie	$C_{pe}$	$p$
Prospetto nord (faccia sopravento)	0,723	451,88078
Prospetto sud (faccia sottovento)	-0,346	-216,2528
Prospetto est (faccia laterale)	-0,346	-216,2528
Prospetto ovest (faccia laterale)	-0,346	-216,2528
Copertura piana	-0,8	-500,0064

tab. 9 valori pressione del vento sulle diverse face dell'edificio

Sommando le pressioni del vento di ogni faccia otteniamo il valore complessivo di pressione del vento:  
 $p = -696,884 \text{ N/m}^2 = -0,70 \text{ KN/m}^2$

Si riportano di seguito i carichi variabili adottati nei calcoli per le diverse tipologie di solaio:

- Solaio controterra  $Q_k = \text{sovraccarichi} = 3/4 \text{ KN/m}^2$  (aula/auditorium)
- Solaio interpiano  $Q_k = \text{sovraccarichi} = 3/4 \text{ KN/m}^2$  (aula/auditorium)
- Solaio copertura  $Q_k = \text{sovraccarichi/neve/vento} = 0,5/1,2/0,70 \text{ KN/m}^2$

## 12.3.2 Analisi di calcolo

Nel capitolo 2.5. delle nuove Norme Tecniche di Costruzione D.M. 17/01/2018 ricaviamo la seguente definizione delle azioni: si definisce azione ogni causa o insieme di cause capace di indurre stati limiti in una struttura.

La norma classifica le suddette azioni attraverso:

A) il modo di esplicarsi delle stesse:

- dirette: forze concentrate, carichi distribuiti, fissi o mobili;
- indirette: spostamenti impressi, variazioni di temperatura e di umidità, ritiro, precompressione, cedimenti di vincolo, ecc.;
- degrado:
  - a. endogeno: alterazione naturale del materiale di cui è composta l'opera strutturale;
  - b. esogeno: alterazione delle caratteristiche dei materiali costituenti l'opera strutturale, a seguito di agenti esterni.

B) la risposta strutturale:

- statiche: azioni applicate alla struttura che non provocano accelerazioni significative della stessa o di alcune sue parti;
- pseudo statiche: azioni dinamiche rappresentabili mediante un'azione statica equivalente;
- dinamiche: azioni che causano significative accelerazioni della struttura o dei suoi componenti.

C) la variazione della loro intensità nel tempo:

- permanenti (G): azioni che agiscono durante tutta la vita nominale di progetto della costruzione, la cui variazione di intensità nel tempo è molto lenta e di modesta entità e quindi possono essere considerate, con sufficiente approssimazione, costanti nel tempo:
  - a. peso proprio di tutti gli elementi strutturali; peso proprio del terreno, quando pertinente; forze indotte dal terreno (esclusi gli effetti di carichi variabili applicati al terreno); forze risultanti dalla pressione dell'acqua (quando si configurino costanti nel tempo) (G1);
  - b. peso proprio di tutti gli elementi non strutturali (G2);
  - c. spostamenti e deformazioni impressi, incluso il ritiro;
  - d. presollecitazione (P);
- variabili (Q): azioni che agiscono con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel corso della vita nominale della struttura:
  - a. sovraccarichi;
  - b. azioni del vento;
  - c. azioni della neve;
  - d. azioni della temperatura.

Le azioni variabili sono dette di lunga durata se agiscono con un'intensità significativa, anche non continuamente, per un tempo non trascurabile rispetto alla vita nominale della struttura. Sono invece dette di breve durata se agiscono per un periodo di tempo rispetto alla vita nominale della struttura. Una medesima azione climatica può essere di lunga o di breve durata a seconda del sito ove sorge la costruzione.

- eccezionali (A): azioni che si verificano solo eccezionalmente nel corso della vita nominale della struttura:

- a. incendi;
  - b. esplosioni;
  - c. urti ed impatti.
- sismiche (E): azioni derivanti dai terremoti.

### 12.3.2.1 Caratterizzazione delle azioni elementari

Poiché le azioni elencate in precedenza non agiscono tutte contemporaneamente, è necessario valutare tale asserzione mediante il ricorso a differenti combinazioni. Nella definizione delle combinazioni delle azioni, i termini  $Q_{kj}$  rappresentano le azioni variabili di diversa natura che possono agire contemporaneamente:  $Q_{k1}$  rappresenta l'azione variabile di base e  $Q_{k2}$ ,  $Q_{k3}$ , ecc... le azioni variabili d'accompagnamento, che possono agire contemporaneamente a quella di base.

Con riferimento alla durata relativa ai livelli di intensità di un'azione variabile, si definiscono:

- valore quasi permanente  $\psi_{2j} \times Q_{kj}$ : il valore istantaneo superato oltre il 50% del tempo nel periodo di riferimento. Indicativamente esso può assumersi uguale alla media della distribuzione temporale dell'intensità;

- valore frequente  $\psi_{1j} \times Q_{kj}$ : il valore superato per un periodo totale di tempo che rappresenti una piccola frazione del periodo di riferimento. Indicativamente, esso può assumersi uguale al frattile 95% della distribuzione temporale dell'intensità;

- valore di combinazione  $\psi_{0j} \times Q_{kj}$ : il valore tale che la probabilità di superamento degli effetti causati dalla concomitanza con altre azioni sia circa la stessa di quella associata al valore caratteristico di una singola azione.

Nel caso in cui la caratterizzazione probabilistica dell'azione considerata non sia disponibile, ad essa può essere attribuito il valore nominale. Sono indicati con pedice  $k$  i valori caratteristici; senza pedice  $k$  i valori nominali. Nel caso di azioni variabili caratterizzate da distribuzioni dei valori estremi dipendenti dal tempo, si assume come valore caratteristico quello caratterizzato da un assegnato periodo di ritorno. Per le azioni ambientali (neve, vento, temperatura) il periodo di ritorno è posto uguale a 50 anni, corrispondente ad una probabilità di eccedenza del 2% su base annua.

### 12.3.2.2 Combinazioni delle azioni

Ai fini delle verifiche degli stati limite la normativa vigente definisce le seguenti combinazioni delle azioni in relazione allo stato limite che si vuole verificare.

1. Combinazione fondamentale, impiegata per gli stati limite ultimi:

$$G_1 + G_2 + P + \gamma_{G1} \times Q_{k1} + \gamma_{G2} \times \psi_{02} \times Q_{k2} + \gamma_{G3} \times \psi_{03} \times Q_{k3} + \dots$$

2. Combinazione caratteristica (rara) impiegata per gli stati limite di esercizio irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \times Q_{k2} + \psi_{03} \times Q_{k3} + \dots$$

3. Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \times Q_{k1} + \psi_{22} \times Q_{k2} + \psi_{23} \times Q_{k3} + \dots$$

4. Combinazione quasi permanente, impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \times Q_{k1} + \psi_{22} \times Q_{k2} + \psi_{23} \times Q_{k3} + \dots$$

5. Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica  $E$ :

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \times Q_{k1} + \psi_{22} \times Q_{k2} + \dots$$

6. Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali  $A$ :

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \times Q_{k1} + \psi_{22} \times Q_{k2} + \dots$$

dove:

$G_1$  è il peso proprio degli elementi strutturali

$G_2$  è il peso proprio degli elementi non strutturali

$P_k$  si riferisce alla presollecitazione dell'elemento strutturale

$Q_{kj}$  si riferisce alle altre azioni variabili che insistono sulla struttura e che sono considerate nella combinazione in esame come non principali

$\gamma_{G1}$  è il coefficiente parziale dei carichi permanenti  $G_1$

$\gamma_{G2}$  è il coefficiente parziale dei carichi permanenti non strutturali  $G_2$

$\gamma_p$  è il coefficiente delle azioni di presollecitazione

$\gamma_{Qj}$  è il coefficiente parziale delle azioni variabili Q

$\psi_{0j}$  è il coefficiente di combinazione delle azioni variabili che sono considerate nella combinazione in esame come non principali

Nelle combinazioni si intende che vengano omissi i carichi  $Q_{kj}$  che danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi G2. Altre combinazioni sono da considerare in funzione di specifici aspetti (p. es. fatica, ecc.).

I valori dei coefficienti  $\psi_{0j}$ ,  $\psi_{1j}$  e  $\psi_{2j}$  e dei coefficienti parziali di sicurezza  $\gamma_{Gj}$  e  $\gamma_{Qj}$  sono definiti nella normativa (tab.10,11): si farà riferimento alla condizione sfavorevole relativa allo stato limite ultimo di resistenza della struttura (STR).

Le verifiche agli stati limite devono essere eseguite per tutte le più gravose condizioni di carico che possono agire sulla struttura, valutando gli effetti delle combinazioni sopra definite.

Dal § 2.6. delle nuove Norme Tecniche di Costruzione D.M. 17/01/2018 ricaviamo la seguente distinzione tra le verifiche agli stati limite ultimi:

1. lo stato limite di equilibrio come corpo rigido: EQU
2. lo stato limite di resistenza della struttura compresi gli elementi di fondazione: STR
3. lo stato limite di resistenza del terreno: GEO

Per la progettazione di componenti strutturali che non coinvolgano azioni di tipo geotecnico, le verifiche nei confronti degli stati limite ultimi strutturali (STR) si eseguono adottando i coefficienti  $\gamma_F$  riportati nella colonna A1 della Tab. 2.6.1

Categoria/Azione variabile	$\psi_{0j}$	$\psi_{1j}$	$\psi_{2j}$
Categoria A - Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B - Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D - Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E - Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F - Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso $\leq 30$ kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G - Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso $> 30$ kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione	0,0	0,0	0,0
Categoria I - Coperture praticabili	da valutarsi caso per caso		
Categoria K - Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, ...)	da valutarsi caso per caso		
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota $\leq 1000$ m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota $> 1000$ m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

tab. 10 valori dei coefficienti di combinazione

		Coefficiente	EQU	A1	A2
		$\gamma_F$			
Carichi permanenti $G_1$	Favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	$\gamma_{Qs}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

Il coefficiente parziale della precompressione si assume pari a  $\gamma_p = 1,0$ .  
Altri valori di coefficienti parziali sono da considerare in riferimento a particolari azioni specifiche.  
tab.11 coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

Il coefficiente parziale della precompressione si assume pari a  $\gamma_p = 1,0$ .

Altri valori di coefficienti parziali sono da considerare in riferimento a particolari azioni specifiche.

## 12.4 Definizione del modello di calcolo

Nel presente paragrafo vengono descritte le ipotesi principali alla base del modello strutturale a elementi finiti realizzato con il software sap2000.

a. Anzitutto è necessario preparare un file Autocad in cui vengono schematizzati gli elementi strutturali (travi e pilastri) con linee corrispondenti al loro baricentro.

b. Una volta importato lo schema in sap, in cui le linee vengono identificate come frame, si è proceduto ad assegnare i materiali e le sezioni degli elementi strutturali (fig 20,21): travi e pilastri sono stati associati i materiali decritti in precedenza (cemento Portland 42,5 e armature in acciaio FeB44K) e sono stati modellati con le sezioni effettive complete delle effettive armature a momento.

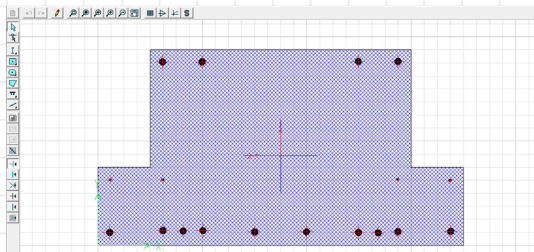


fig. 20 modellazione della sezione della trave TI di copertura con l'opzione "section designer"

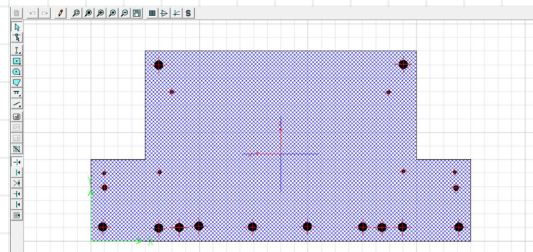


fig. 21 modellazione della sezione della trave TI interpiano con l'opzione "section designer"

c. E' stato quindi possibile modellare i solai e i muri di fondazione sotto forma di shell senza massa: si adotta questa strategia in quanto verranno poi applicati su essi G1,G2 e Q direttamente come casi di carico.

d. Una volta impostati tutti gli elementi costituenti l'edificio è stato possibile definirne i vincoli, sia esterni che interni:

- fondazione

Ai nodi alla base pilastri. avendo una fondazione su plinti, è stato considerato un vincolo ad incastro che blocchi tutte le traslazioni e tutte le rotazioni Ai nodi alla base delle pareti in cemento armato non aventi una specifica fondazione ma poste su uno zoccolo largo solo 40-50cm è stato assegnato cautelativamente un vincolo a cerniera che blocchi le sole traslazioni

- solai

Sulla base di quanto dichiarato nei documenti ufficiali di progetto e di quanto rilevato durante le indagini diagnostiche/conoscitive dal Comune di Chiari, in corrispondenza del solaio controterra e del solaio intermedio è presente un getto di completamento, motivo per cui in corrispondenza di tali orizzontamenti è stata adottata l'ipotesi di piano rigido e quindi è stato introdotto un vincolo del tipo "diaphragm". In copertura invece il collegamento tra i vari elementi di solaio è a secco e quindi la rigidezza di piano si deve solo dagli elementi prefabbricati di solaio nella direzione della loro orditura.

- travi

Le travi di piano sono semplicemente appoggiate ai pilastri in corrispondenza di mensole aggettanti predisposte sui pilastri stessi e vincolate rispetto agli spostamenti orizzontali tramite barre inghisate che garantiscono il collegamento con le coppelle. Per questo motivo è stato adottato un vincolo a cerniera all'estremità delle travi, predisponendo il rilascio dei semi-incastri in corrispondenza del loro appoggio sui pilastri (fig.22). Assumendo perciò che non vi è trasmissione di momento tra travi e pilastri,

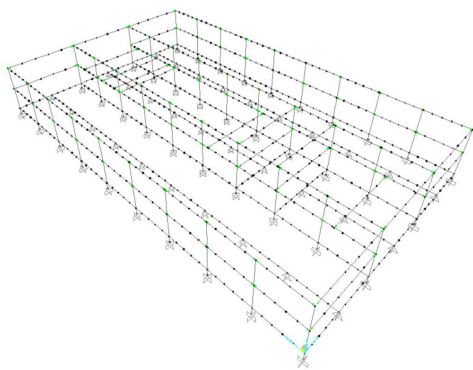


fig. 22 rilasci ai semi-incastri delle travi sui pilastri in quanto semplicemente appoggiate

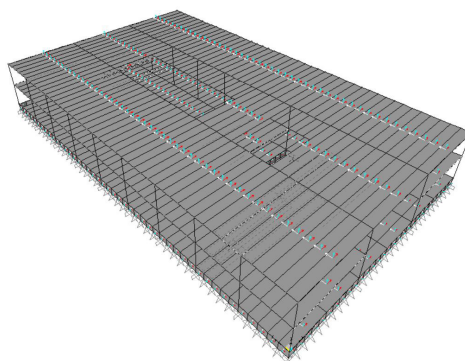


fig. 23 divisione degli elementi shell e frame per discretizzare il modello

si ipotizza un sistema strutturale sismo resistente formato da pilastri con comportamento prevalente a mensola in caso di sisma. Le travi sono state considerate nel modello per tener conto del loro effetto in termini di massa e di contributo alla rigidezza.

e. E' quindi possibile ora assegnare i carichi agli elementi shell: con l'apposito comando "load case" carichiamo i solai con i carichi G1, G2 e Q definiti nell'analisi dei carichi sopra riportata. In questa fase si procede a definire una combinazione "range Add" dei carichi variabili per generare l'involuppo che restituisce i valori massimi tra le combinazioni dei carichi variabili. E' bene precisare che gli elementi frame in questa fase non vengono caricati in quanto, oltre ad essere soggetti al peso proprio "DEAD" dovuto alla sezione modellata, subiranno i carichi derivanti dai solai.

f. Segue una fase di discretizzazione del modello in cui gli elementi frame e shell vengono suddivisi in un numero consono di elementi al fine di garantire il corretto trasferimento dei carichi sui pilastri (fig.23). Questa fase è necessaria, inoltre, per ottenere dal modello risultati in diversi punti e che quindi possano descrivere correttamente il comportamento della struttura.

g. E' necessario quindi definire i carichi sorgente massa utilizzando il comando "mass source", associando ad esso i carichi agenti. La massa sismica da considerare per la valutazione della risposta sismica allo stato limite ultimo SLV è infatti quella associata sia ai carichi gravitazionali permanenti che quelli variabili.

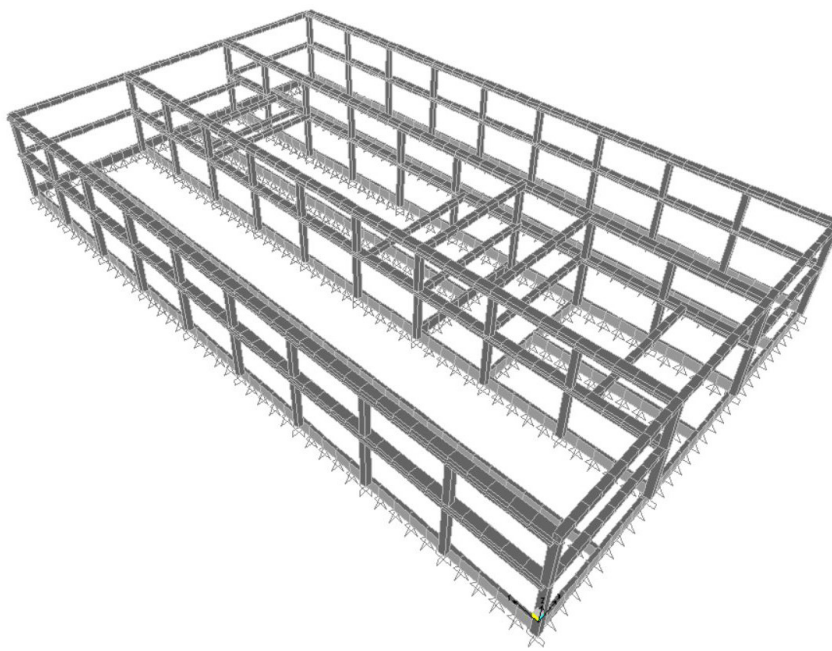


fig. 24. visualizzazione 3d del modello a elementi finiti-elementi strutturali

h. Prima di procedere alla vera e propria simulazione, è necessario definire le combinazioni di carico si intende indagare. Nel caso in esame sono state descritte le combinazioni SLU fondamentali, con neve e sovraccarichi rispettivamente analizzati come carichi prevalenti e alcune delle permutazioni possibili della combinazione sismica proposta dalla normativa (NTC2018).

Per disporre di ulteriori valori di confronto in fase di analisi dei risultati si è provveduto ad inserire come "linear add" anche gli involuppo delle combinazioni di carico sopra indicate, ottenendo così l'involuppo degli SLU e degli SLV.

i. E' possibile infine lanciare l'analisi dell'intero modello. Dal comando "mostra tabelle" sarà poi possibile accedere al database di risultati generato dal programma a seguito della simulazione ed estrarre i valori via via necessari per effettuare le verifiche.

## 12.5 Verifica degli elementi strutturali

La norma di riferimento per le successive verifiche è la NTC 2018, che indica le verifiche da eseguire agli SLU su edifici civili e industriali, quali il caso in esame (par 4.1.2.3). Nello specifico la norma prescrive di eseguire la verifica di resistenza e duttilità delle sezioni presso-inflesse e soggette a taglio. In questa sede verranno eseguite verifiche su elementi strutturali campione, scegliendo per ogni tipologia l'elemento che risulta essere il più sollecitato. Nella trattazione verranno verificate solo le caratteristiche di resistenza, tralasciando le verifiche di duttilità. Le dimensioni degli elementi strutturali e le proprietà (quantità, tipologia e posizione) dell'armature sono state dedotte dai disegni strutturali ufficiali reperiti dal Comune di Chiari riportati nell'allegato B

### 12.5.1 Premesse

Si premettono alcune considerazioni in merito alla valutazione delle resistenze a momento e taglio che in seguito verranno adottate per il calcolo

#### 12.5.1.1 Calcolo della resistenza di progetto a momento

Per il calcolo dei momenti resistenti si è utilizzato il programma Vca-slu del prof. Gelfi. La fase le modellazioni delle sezioni resistenti prevede le seguenti operazioni:

1. definizione della sezione di calcestruzzo tramite coordinate.
2. definizione dell'armatura a flessione dell'elemento, esplicitando l'area e la posizione
- 3 definizione delle proprietà meccaniche dei materiali adottati
4. Inserimento delle azioni da verificare.

In base all'azione applicata il programma restituirà il momento resistente necessario per le verifiche (oltre alle tensioni ammissibili nell'acciaio e nel calcestruzzo). Nel caso di presso-flessione, sarà possibile consultare anche il dominio M-N.

#### 12.5.1.2 Calcolo della resistenza di progetto a taglio

Secondo la normativa (par 4.1.2.3.5.2.), per elementi con armature trasversali resistenti al taglio, la resistenza di progetto a taglio VRd deve essere valutata sulla base di una adeguata schematizzazione a traliccio. Gli elementi resistenti dell'ideale traliccio sono: le armature trasversali, le armature longitudinali, il corrente compreso di calcestruzzo e i puntoni d'anima inclinati.

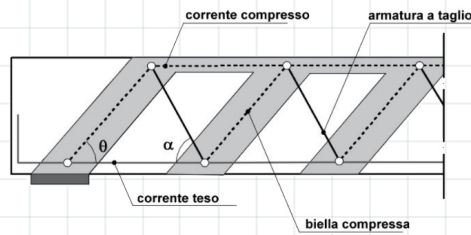


fig. 25 schema a traliccio per elementi con armatura a taglio

a. Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di progetto a "taglio trazione" si calcola con:

$$V_{Rsd} = 0,9 * d * \frac{A_{sw}}{s} * f_{yd} * (\cot\alpha + \cot\theta) * \sin\alpha$$

b. Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di progetto a "taglio compressione" si calcola con:

$$V_{Rcd} = 0,9 * d * b_w * \alpha_c * v * f_{cd} * \frac{(\cot\alpha + \cot\theta)}{1 + \cot^2\theta} * \sin\alpha$$

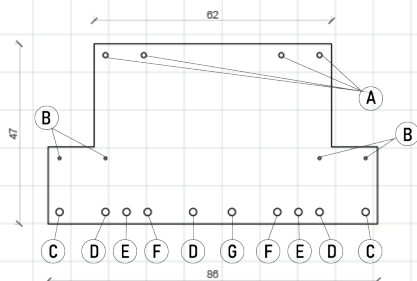
La resistenza di progetto a taglio della trave è la minore delle due sopra definite:

$$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$$

dove

- d è l'altezza utile della sezione (in mm);
- $\rho = A_{sl}/(b_w * d)$  è il rapporto geometrico di armatura longitudinale tesa ( $\geq 0,02$ ) che si estende per non meno di  $(l_{bd} + d)$  oltre la sezione considerata, dove  $l_{bd}$  è la lunghezza di ancoraggio;
- $b_w$  è la larghezza minima della sezione (in mm).
- $A_{sw}$  è l'area dell'armatura trasversale;
- s è l'interasse tra due armature trasversali consecutive;
- $\alpha$  è l'angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave;
- $\theta$  è l'angolo di inclinazione del corrente di calcestruzzo rispetto all'asse della trave
- $f_{cd}$  è la resistenza di progetto a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima
- $\alpha_c$  è il coefficiente maggiorativo pari a 1,25

## 12.5.2 Trave TI copertura



ARMATURA		
POS	N°	Φ
A	4	14
B	18	12
C	2	18
D	3	18
E	2	18
F	2	18
G	1	18

fig. 26 sezione trave TI di copertura e relativa armatura a flessione

### 12.5.2.1 Verifica della resistenza a flessione (SLU)

Secondo la normativa, la verifica della resistenza a flessione consiste nel dimostrare che, in ogni punto della struttura in esame, il momento resistente  $M_{Rd}$  sia maggiore del momento agente  $M_{Ed}$ , ottenuto



dagli involuipi allo SLU:

$$|M_{Rd}| > |M_{Ed}|$$

Si adotta il modello di diagramma sforzo-deformazione a rettangolo per il calcestruzzo (stress-block) e elastico-perfettamente plastico indefinito per l'acciaio. Per la distribuzione degli sforzi nella sezione di calcestruzzo si considera quindi quella relativa al modello stress-block, ovvero una distribuzione rettangolare di altezza  $0,8 x$ , dove  $x$  è la posizione dell'asse neutro della sezione

**Momento agente:** si ricava dal modello a elementi finiti SAP2000, ovvero il valore di momento restituito dall'involuppo degli SLU. Una volta ricavata dal programma la tabella relativa ai frame interessati la si ordina imponendo un ordine decrescente di momento (nel caso in esame M3), ricavando così il valore massimo

Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElem
Text	m	Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	Text
274	0,8	involuppo SLU	Combination	Max	-14,481	18,91	0,087	-0,3065	0,2768	430,5726	274-1
229	0,8	involuppo SLU	Combination	Max	-14,487	18,91	-0,066	0,3949	-0,2484	430,5716	229-1
244	0,4	involuppo SLU	Combination	Max	-15,831	-18,231	0,075	-8,1243	-0,8722	429,8227	244-1
289	0,4	involuppo SLU	Combination	Max	-15,814	-18,234	-0,02	8,1418	0,8826	429,8138	289-1
274	0,4	involuppo SLU	Combination	Max	-14,481	-20,237	0,087	-0,3065	0,2995	429,7422	274-1
229	0,4	involuppo SLU	Combination	Max	-14,487	-20,237	-0,066	0,3949	-0,2865	429,7412	229-1
244	0,8	involuppo SLU	Combination	Max	-15,831	21,275	0,075	-8,1243	-0,8849	429,6643	244-1
289	0,8	involuppo SLU	Combination	Max	-15,814	21,275	-0,02	8,1418	0,9055	429,6566	289-1
269	0,4	involuppo SLU	Combination	Max	-16,053	-16,716	0,129	1,4317	-0,2895	428,3038	269-1
314	0,4	involuppo SLU	Combination	Max	-16,056	-16,716	-0,107	-1,3448	0,309	428,3037	314-1

tab.12 valori estratti dall'analisi SAP con momento M3 in ordine decrescente-trave TI copertura

Nel caso in esame, essendo la struttura simmetrica, il valore massimo di momento flettente si riscontra in mezzeria delle travi speculari TI\_2\_10 e la TI\_2\_19, soggette a un  $M3=430,57 \text{ KN}\cdot\text{m}$ .

**Momento resistente:** si ricava dal modello realizzato con il programma Vca\_slu del prof. Gelfi., come si evince dall'immagine di seguito riportata

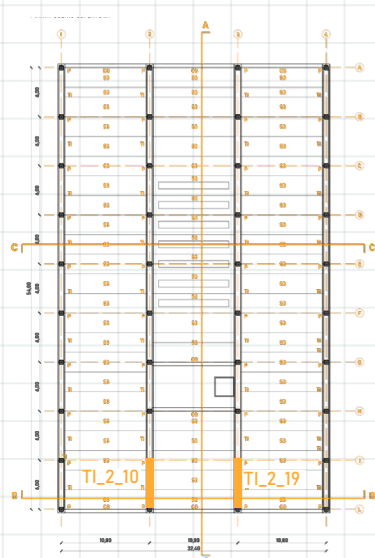


fig. 27 identificazione in pianta delle travi TI di copertura con M3 massimo

fig. 28 interfaccia programma Vca\_slu, calcolo della resistenza a flessione della trave TI di copertura

$$406,1 \text{ KN} < 430,57 \text{ KN}$$

La verifica a flessione non è soddisfatta in quanto il momento resistente è inferiore a quello agente. Si procederà di seguito ad ipotizzare un intervento di consolidamento.

### 12.5.2.2 Verifica della resistenza a taglio (SLU)

Secondo la normativa, la verifica della resistenza a taglio consiste nel dimostrare che, in ogni punto della struttura in esame, il la resistenza a taglio  $V_{Rd}$  sia maggiore del taglio agente  $V_{Ed}$ , ottenuto dagli involucchi con combinazione allo SLU:

$$V_{Rd} > V_{Ed}$$

**Taglio agente:** si ricava dal modello a elementi finiti SAP2000, ovvero il valore di taglio restituito dall'involuppo degli SLU. Una volta ricavata dal programma la tabella relativa ai frame interessati la si ordina imponendo un ordine decrescente di momento (nel caso in esame  $V_2$ ), ricavando così il valore massimo

Frame Text	Station m	OutputCase Text	CaseType Text	StepType Text	P KN	V2 KN	V3 KN	T KN-m	M2 KN-m	M3 KN-m	FrameElem Text
276	1,2	involuppo SLU	Combination	Max	-14,483	218,274	0,039	-0,5894	1,391E-14	3,823E-14	276-1
231	1,2	involuppo SLU	Combination	Max	-14,47	218,273	-0,022	0,7271	1,409E-14	3,939E-13	231-1
311	1,2	involuppo SLU	Combination	Max	-12,206	213,809	0,042	-1,047	3,231E-14	-5,64E-15	311-1
266	1,2	involuppo SLU	Combination	Max	-12,192	213,808	-0,023	1,2202	7,278E-15	3,539E-13	266-1
246	1,2	involuppo SLU	Combination	Max	-15,133	210,685	-0,00687	-8,0632	2,004E-14	2,43E-13	246-1
291	1,2	involuppo SLU	Combination	Max	-15,11	210,683	0,021	8,1199	5,996E-15	5,376E-13	291-1
270	1,2	involuppo SLU	Combination	Max	-15,951	207,888	0,066	1,6599	-0,6261	233,2487	270-1
315	1,2	involuppo SLU	Combination	Max	-15,956	207,888	-0,047	-1,5999	0,652	233,2491	315-1
235	1,2	involuppo SLU	Combination	Max	-16,153	206,841	0,027	8,6076	-0,6408	231,7191	235-1
280	1,2	involuppo SLU	Combination	Max	-16,169	206,839	-0,015	-8,4984	0,6697	231,7149	280-1

tab.13 valori estratti dall'analisi SAP con taglio  $V_2$  in ordine decrescente - trave TI copertura

Nel caso in esame, essendo la struttura simmetrica, il valore massimo di momento flettente si riscontra all'estremità delle travi speculari  $TI_{2\_10}$  e la  $TI_{2\_19}$ , soggette a un  $V_2=218,27$  KN.

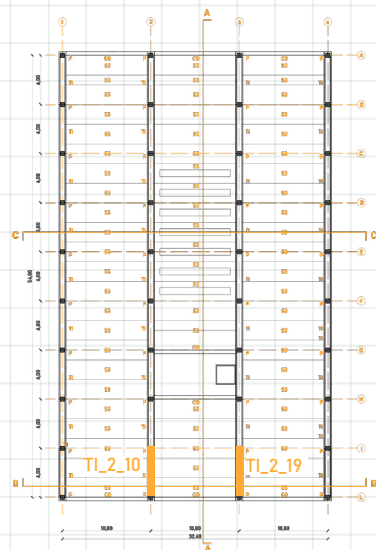


fig. 29 identificazione in pianta delle travi TI di copertura con  $V_2$  massimo

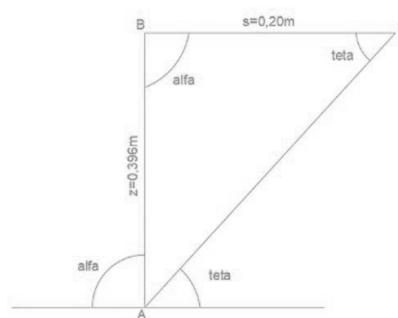


fig. 30 schema a traliccio per la trave TI di copertura

**Taglio resistente:** si ricava dal modello del traliccio ad inclinazione variabile.

Per l'impostazione di tale schema si premette che

- le armature trasversali a taglio sono verticali
- il passo delle armature trasversali è 20cm
- le armature a taglio considerate sono complessivamente  $62\phi 10$

Si calcolano quindi i parametri relativi al traliccio:

$$d=0,44m$$

$$z=0,9*0,44m=0,396m$$

$$A_{sw}=48,98cm^2=0,004898m^2$$

$s=20\text{cm}=0,2\text{m}$   
 $f_{yd}=407570\text{ KN/m}^2$   
 $\alpha=90^\circ$   
 $b_w=0,62\text{m}$   
 $\alpha_c=1,25$   
 $\gamma=0,2$   
 $f_{cd}=29350\text{ KN/m}^2$

$$AC = \sqrt{z^2 + s^2} = \sqrt{0,396^2 + 0,2^2} = 0,4436\text{m}$$

$$AB = AC * \sin\theta \rightarrow \sin\theta = \frac{AB}{AC} = \frac{0,396}{0,4436} = 0,8927 \rightarrow \theta = 63^\circ$$

Si procede quindi al calcolo della resistenza a taglio:

Resistenza taglio-trazione:

$$V_{Rsd} = 0,9 * d * \frac{A_{sw}}{s} * f_{yd} * (\cotn\alpha + \cotn\theta) * \sin\alpha = 0,9 * 0,44 * \frac{0,004898}{0,2} * 407570 * (\cotn90 + \cotn63) * \sin90 = 2013,97\text{KN}$$

Resistenza taglio-compressione:

$$V_{Rcd} = 0,9 * d * b_w * \alpha_c * v * f_{cd} * \frac{(\cotn\alpha + \cotn\theta)}{1 + \cotn^2\theta} * \sin\alpha = 0,9 * 0,44 * 0,62 * 1,25 * 0,2 * 29350 * \frac{(\cotn90 + \cotn63)}{1 + \cotn^263} = 728,72\text{KN}$$

La resistenza a trazione complessiva è la minore tra le due resistenze, ovvero  $V_{Rcd}=728,72\text{KN}$   
 $728,72 > 218,27$

La verifica a taglio è soddisfatta

## 12.5.3 Trave TI interpiano

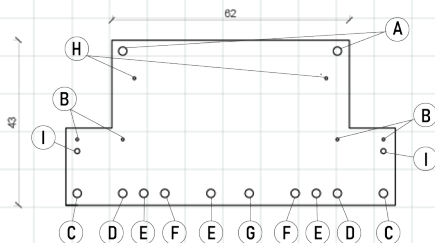


fig.31 sezione trave TI interpiano e relativa armatura a flessione

ARMATURA		
POS	N°	Φ
A	2	22
B	4	8
C	2	22
D	2	22
E	3	22
F	2	22
G	1	22
H	2	8
I	2	12

### 12.5.3.1 Verifica della resistenza a flessione (SLU)

Secondo la normativa, la verifica della resistenza a flessione consiste nel dimostrare che, in ogni punto della struttura in esame, il momento resistente  $M_{Rd}$  sia maggiore del momento agente  $M_{Ed}$ , ottenuto dagli involuppi allo SLU:

$$|M_{Rd}| > |M_{Ed}|$$

Si adotta il modello di diagramma sforzo-deformazione a rettangolo per il calcestruzzo (stress-block) e elastico-perfettamente plastico indefinito per l'acciaio. Per la distribuzione degli sforzi nella sezione di calcestruzzo si considera quindi quella relativa al modello stress-block, ovvero una distribuzione rettangolare di altezza  $0,8x$ , dove  $x$  è la posizione dell'asse neutro della sezione

**Momento agente:** si ricava dal modello a elementi finiti SAP2000, ovvero il valore di momento restituito dall'involuppo degli SLU. Una volta ricavata dal programma la tabella relativa ai frame interessati la si

ordina imponendo un ordine decrescente di momento (nel caso in esame M3), ricavando così il valore massimo

Frame Text	Station m	OutputCase Text	CaseType Text	StepType Text	P KN	V2 KN	V3 KN	T KN-m	M2 KN-m	M3 KN-m	FrameElem Text
153	0,4	involuppo SLU	Combination	Max	-0,209	-5,411	-0,038	-8,3007	-0,0495	484,9754	153-1
108	0,4	involuppo SLU	Combination	Max	4,776	-5,411	-0,001728	9,681	-0,035	484,9728	108-1
153	0,8	involuppo SLU	Combination	Max	-0,209	47,818	-0,038	-8,3007	-0,0343	478,6854	153-1
108	0,8	involuppo SLU	Combination	Max	4,776	47,817	-0,001728	9,681	-0,0331	478,6831	108-1
153	0	involuppo SLU	Combination	Max	-0,209	-47,476	-0,038	-8,3007	-0,0646	466,6647	153-1
108	0	involuppo SLU	Combination	Max	4,776	-47,477	-0,001728	9,681	-0,0362	466,6619	108-1
152	1,2	involuppo SLU	Combination	Max	-0,279	-56,871	0,04	-8,4158	0,0285	461,7798	152-1
107	1,2	involuppo SLU	Combination	Max	4,903	-56,872	0,078	9,7816	0,0259	461,777	107-1
153	1,2	involuppo SLU	Combination	Max	-0,209	109,323	-0,038	-8,3007	-0,0191	447,7933	153-1
108	1,2	involuppo SLU	Combination	Max	4,776	109,323	-0,001728	9,681	-0,0311	447,7912	108-1

tab.14 valori estratti dall'analisi SAP con momento M3 in ordine decrescente-trave TI interpiano

Nel caso in esame, essendo la struttura simmetrica, il valore massimo di momento flettente si riscontra in mezzeria delle travi speculari TI\_1\_13 e la TI\_1\_22, soggette a un M3=484,98 KN\*m.

**Momento resistente:** si ricava dal modello realizzato con il programma Vca\_slu del prof. Gelfi., come si evince dall'immagine di seguito riportata

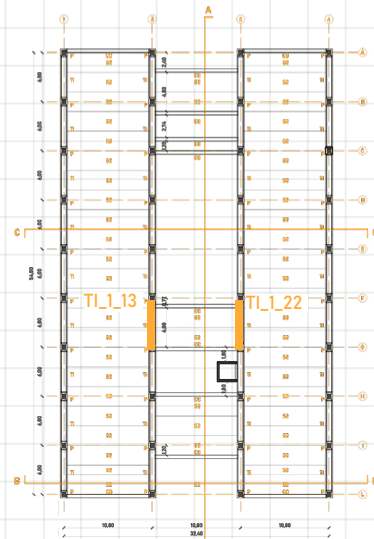


fig. 32 identificazione in pianta delle travi TI interpiano con M3 massimo

fig. 33 interfaccia programma Vca-slu, calcolo della resistenza a flessione della trave TI interpiano

$$554,80 \text{ KN} > 484,98 \text{ KN}$$

La verifica a flessione è soddisfatta.

### 12.5.3.2 Verifica della resistenza a taglio (SLU)

Secondo la normativa, la verifica della resistenza a taglio consiste nel dimostrare che, in ogni punto della struttura in esame, la resistenza a taglio VRd sia maggiore del taglio agente VEd, ottenuto dagli involuppi con combinazione allo SLU:

$$V_{Rd} > V_{Ed}$$

Taglio agente: si ricava dal modello a elementi finiti SAP2000, ovvero il valore di taglio restituito dall'involuppo degli SLU. Una volta ricavata dal programma la tabella relativa ai frame interessati la si ordina imponendo un ordine decrescente di momento (nel caso in esame V2), ricavando così il valore massimo

Frame Text	Station m	OutputCase Text	CaseType Text	StepType Text	P KN	V2 KN	V3 KN	T KN-m	M2 KN-m	M3 KN-m	FrameElem Text
154	1,2	involuppo SLU	Combination	Max	-0,14	293,422	-0,014	-8,0963	-0,0267	200,64	154-1
109	1,2	involuppo SLU	Combination	Max	4,63	293,422	0,025	9,8568	-0,0175	200,6383	109-1
144	1,2	involuppo SLU	Combination	Max	3,703E-13	278,676	6,58E-15	-0,2831	9,235E-15	188,677	144-1
99	1,2	involuppo SLU	Combination	Max	-1,92E-13	278,651	1,134E-14	0,4585	2,193E-14	188,6738	99-1
180	1,2	involuppo SLU	Combination	Max	-8,838E-14	276,149	1,13E-14	-13,8073	-2,119E-15	185,9906	180-1
134	1,2	involuppo SLU	Combination	Max	2,452E-13	276,147	-1,301E-16	16,9933	1,383E-14	185,9925	134-1
154	0,8	involuppo SLU	Combination	Max	-0,149	231,917	-0,014	-8,0963	-0,0325	305,411	154-1
109	0,8	involuppo SLU	Combination	Max	4,633	231,916	0,025	9,8568	-0,0096	305,4091	109-1
144	0,8	involuppo SLU	Combination	Max	3,703E-13	217,171	6,58E-15	-0,2831	1,187E-14	287,7946	144-1
99	0,8	involuppo SLU	Combination	Max	-1,92E-13	217,146	1,134E-14	0,4585	1,994E-14	287,7815	99-1

tab.15 valori estratti dall'analisi SAP con taglio V2 in ordine decrescente-trave TI interpiano

Nel caso in esame, essendo la struttura simmetrica, il valore massimo di momento flettente si riscontra all'estremità delle travi speculari TI\_1\_13 e la TI\_1\_22, soggette a un V2=293,42 KN.

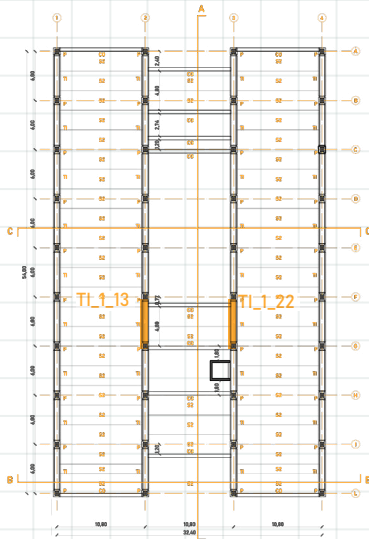


fig. 34 identificazione in pianta delle travi TI interpiano con V2 massimo

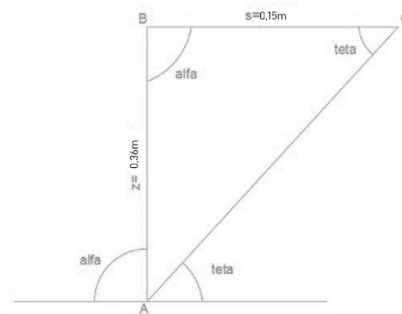


fig. 35 schema a traliccio per la trave TI interpiano

**Taglio resistente:** si ricava dal modello del traliccio ad inclinazione variabile.

Per l'impostazione di tale schema si premette che

- le armature trasversali a taglio sono verticali
- il passo delle armature trasversali è 15cm
- le armature a taglio considerate sono complessivamente 66 $\phi$ 10

Si calcolano quindi i parametri relativi al traliccio:

$$d=0,40\text{m}$$

$$z=0,9*0,4\text{m}=0,36\text{m}$$

$$A_{sw}=52,14\text{cm}^2=0,005214\text{m}^2$$

$$s=15\text{cm}=0,15\text{m}$$

$$f_{yd}=407570\text{ KN/m}^2$$

$$\alpha=90^\circ$$

$$b_w=0,62\text{m}$$

$$\alpha_c=1,25$$

$$v=0,2$$

$$f_{cd}=29350\text{ KN/m}^2$$

$$AC = \sqrt{z^2 + s^2} = \sqrt{0,36^2 + 0,15^2} = 0,39\text{m}$$

$$AB = AC * \sin\theta \rightarrow \sin\theta = \frac{AB}{AC} = \frac{0,36}{0,39} = 0,9231 \rightarrow \theta = 67^\circ$$

Si procede quindi al calcolo della resistenza a taglio:

Resistenza taglio-trazione:

$$V_{Rsd} = 0,9 * d * \frac{A_{sw}}{s} * f_{yd} * (\cotn\alpha + \cotn\theta) * \sin\alpha = 0,9 * 0,4 * \frac{0,005214}{0,2} * 407570 * (\cotn90 + \cotn67) * \sin90$$

$$= 1623,67\text{KN}$$

Resistenza taglio-compressione:

$$V_{Rcd} = 0,9 * d * b_w * \alpha_c * v * f_{cd} * \frac{(\cotn\alpha + \cotn\theta)}{1 + \cotn^2\theta} * \sin\alpha = 0,9 * 0,4 * 0,62 * 1,25 * 0,2 * 29350 * \frac{(\cotn90 + \cotn67)}{1 + \cotn^267}$$

$$= 589,04\text{KN}$$

La resistenza a trazione compressiva è la minore tra le due resistenze, ovvero  $V_{Rcd} = 589,04\text{KN}$

$$589,04 > 293,42$$

La verifica a taglio risulta soddisfatta.

## 12.5.4 Elemento prefabbricato solaio copertura (coppella K47)



fig.36 sezione coppella K47 e relativa armatura a flessione

### 12.5.4.1 Verifica della resistenza a flessione (SLU)

Secondo la normativa, la verifica della resistenza a flessione consiste nel dimostrare che, in ogni punto della struttura in esame, il momento resistente  $M_{Rd}$  sia maggiore del momento agente  $M_{Ed}$ , ottenuto dagli involucri allo SLU:

$$|M_{Rd}| > |M_{Ed}|$$

Si adotta il modello di diagramma sforzo-deformazione a rettangolo per il calcestruzzo (stress-block) e elastico-perfettamente plastico indefinito per l'acciaio. Per la distribuzione degli sforzi nella sezione di calcestruzzo si considera quindi quella relativa al modello stress-block, ovvero una distribuzione rettangolare di altezza  $0,8x$ , dove  $x$  è la posizione dell'asse neutro della sezione

#### Momento agente:

Il momento agente si ricava a partire dal calcolo dello SLU con combinazione fondamentale. Per il solaio di copertura il valore massimo agli SLU si ottiene considerando la neve come carico prevalente.

$$SLU_{\text{coppella K47, neve prev}} = \gamma_{G1} \times G1 + \gamma_{G2} \times G2 + \gamma_{Q1} \times Q_{k1} + \gamma_{Q2} \times \psi_{02} \times Q_{k2} + \gamma_{Q3} \times \psi_{03} \times Q_{k3}$$

$$= (1,3 \times 2,43) + (1,5 \times 1,86) + (1,5 \times 1,2) + (1,5 \times 0 \times 0,5) + (1,5 \times 0,6 \times 0,88) = 8,541\text{KN}$$

Ipotizzando per la coppella uno schema statico appoggio appoggio soggetta a un carico uniformemente distribuito pari a SLU, il momento agente è pari a:

$$M = \frac{q * l^2}{8} = \frac{8,541 * 10,14^2}{8} = 439,09\text{KN/m}^2$$

## Momento resistente

Il momento resistente si ricava dal modello realizzato con il programma Vca\_slu del prof. Gelfi., come si evince dall'immagine di seguito riportata

**Titolo:** COPPELLA K47

**N° Vertici:** 12 **Zoom** **N° barre:** 12 **Zoom**

N°	x [cm]	y [cm]	N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	0	0	1	0,5	56	-2
2	240	0	2	0,5	63	-2
3	240	-3,5	3	0,5	177	-2
4	187	-3,5	4	0,5	184	-2
5	187	-4,7	5	2,01	56	-40
6	174	-4,7	6	2,01	63	-40

**Sollecitazioni:** S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 439,09 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0

**P.to applicazione N:** Centro Baricentro cls  
Coord.[cm] xN 0 yN 0

**Materiali:** FeB44k C50/60

E<sub>su</sub> 67,5 ‰ E<sub>c2</sub> 2 ‰  
f<sub>yd</sub> 373,9 N/mm² E<sub>cu</sub> 3,5 ‰  
E<sub>s</sub> 200.000 N/mm² f<sub>cd</sub> 28,33 ‰  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0,8 ‰  
E<sub>syd</sub> 1,87 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 17,25  
σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 1  
τ<sub>c1</sub> 2,686

**M<sub>xRd</sub>** 249,9 kNm

σ<sub>c</sub> -28,33 N/mm²  
σ<sub>s</sub> 373,9 N/mm²  
ε<sub>c</sub> 2,139 ‰  
ε<sub>s</sub> 67,5 ‰  
d 44 cm  
x 1,352 x/d 0,03072  
δ 0,7

**Metodo di calcolo:** S.L.U. + S.L.U. - Metodo n  
**Tipo flessione:** Fletta Deviata  
N° rett. 100  
Calcola MRd Dominio M-N  
L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello  
Precompresso

fig. 37 interfaccia programma Vca-slu, calcolo della resistenza a flessione della coppella K47

$$249,9 \text{ KN} < 439,09 \text{ KN}$$

La verifica a flessione non è soddisfatta in quanto il momento resistente è inferiore a quello agente. Si procederà di seguito ad ipotizzare un intervento di consolidamento.

## 12.5.5 Elemento prefabbricato solaio interpiano (coppella K50)

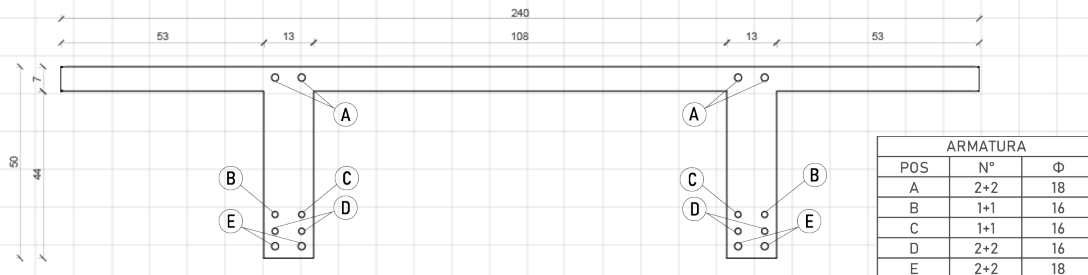


fig.38 sezione coppella K50 e relativa armatura a flessione

### 12.5.5.1 Verifica della resistenza a flessione (SLU)

Secondo la normativa, la verifica della resistenza a flessione consiste nel dimostrare che, in ogni punto della struttura in esame, il momento resistente  $M_{Rd}$  sia maggiore del momento agente  $M_{Ed}$ , ottenuto dagli involucri allo SLU:

$$|M_{Rd}| > |M_{Ed}|$$

Si adotta il modello di diagramma sforzo-deformazione a rettangolo per il calcestruzzo (stress-block) e elastico-perfettamente plastico indefinito per l'acciaio. Per la distribuzione degli sforzi nella sezione di calcestruzzo si considera quindi quella relativa al modello stress-block, ovvero una distribuzione rettangolare di altezza  $0,8 x$ , dove  $x$  è la posizione dell'asse neutro della sezione

### Momento agente:

Il momento agente si ricava a partire dal calcolo dello SLU con combinazione fondamentale. Per il solaio di copertura il valore massimo agli SLU si ottiene considerando la neve come carico prevalente.

$$SLU_{\text{coppella K50}} = \gamma_{G1} \times G1 + \gamma_{G2} \times G2 + \gamma_{Q1} \times Q_{k1} = (1,3 \times 3,14) + (1,5 \times 1,74) + (1,5 \times 3) = 11,192 \text{ KN}$$

Ipotizzando per la coppella uno schema statico appoggio appoggio soggetta a un carico uniformemente distribuito pari a SLU, il momento agente è pari a:

$$M = \frac{q \times l^2}{8} = \frac{11,192 \times 10,14^2}{8} = 575,38 \text{ KN/m}^2$$

### Momento resistente

Il momento resistente si ricava dal modello realizzato con il programma Vca\_slu del prof. Gelfi., come si evince dall'immagine di seguito riportata

**Titolo:** COPPELLA K50

**N° Vertici:** 12 **N° barre:** 16

N°	x [cm]	y [cm]	N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	0	0	1	2,54	56	-3
2	240	0	2	2,54	63	-3
3	240	-6,5	3	2,54	177	-3
4	187	-6,5	4	2,54	184	-3
5	187	-50	5	2,01	56	-39
6	174	-50	6	2,01	63	-39

**Sollecitazioni:** S.L.U. Metodo n

**N<sub>Ed</sub>:** 0 kN  
**M<sub>xEd</sub>:** 575,38 kNm  
**M<sub>yEd</sub>:** 0 kNm

**Materiali:** FeB44k, C50/60

Proprietà	Valore	Unità
$\epsilon_{su}$	67,5	%
$f_{yd}$	373,9	N/mm²
$E_s$	200.000	N/mm²
$E_s/E_c$	15	
$\epsilon_{syd}$	1,87	%
$G_{s,adm}$	255	N/mm²
$\epsilon_{c2}$	2	%
$\epsilon_{cu}$	3,5	%
$f_{cd}$	28,33	
$f_{cc}/f_{cd}$	0,8	
$G_{c,adm}$	17,25	
$\tau_{co}$	1	
$\tau_{c1}$	2,686	

**Calcolo risultati:**

**M<sub>xRd</sub>:** 420,8 kNm

**$\sigma_c$ :** 28,33 N/mm²

**$\sigma_s$ :** 373,9 N/mm²

**$\epsilon_c$ :** 3,351 %

**$\epsilon_s$ :** 67,5 %

**d:** 47 cm

**x:** 2,223 **x/d:** 0,04729

**$\delta$ :** 0,7

**Metodo di calcolo:** S.L.U.+, Metodo n

**Tipo flessione:** Retta

**N° rett.:** 100

**Calcola MRd** **Dominio M-N**

**L<sub>0</sub>:** 0 cm **Col. modello**

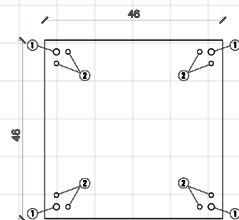
Precompresso

fig. 39 interfaccia programma Vca-slu, calcolo della resistenza a flessione della coppella K50

$$420,80 \text{ KN} < 575,38 \text{ KN}$$

La verifica a flessione non è soddisfatta in quanto il momento resistente è inferiore a quello agente. Si procederà di seguito ad ipotizzare un intervento di consolidamento.

## 12.5.6 Pilastro



ARMATURA		
POS	N°	Φ
1	4	16
2	8	12

fig.40 sezione pilastro e relativa armatura a flessione

### 12.5.6.1 Verifica di resistenza a presso-flessione

Si adotta uno schema statico a mensola incastrata al piede. Si verifica di seguito che le coppie di azioni M-N agenti rientrino nel dominio di resistenza del pilastro

Azioni agenti: si ricavano dal modello a elementi finiti SAP2000, considerando le coppie di valori più



sfavorite. Nello specifico indagheremo i seguenti casi:

- caso 1: azione assiale massima al piede, e relativo valore di momento
- caso 2: momento massimo in x e relativa azione assiale
- caso 3: momento massimo in y e relativa azione assiale

Per individuare tali valori si considerano i risultati sia delle combinazioni SLU che le diverse combinazioni SLE. Una volta ricavata dal programma la tabella relativa ai frame interessati, si procede ad ordinarla come già illustrato in precedenza. I dati ottenuti sono:

caso 1:  $N=1770,08$  kN;  $M=13,06$  kN\*m

caso 2:  $N=524,80$  kN;  $M=401,80$  kN\*m

caso 3:  $N=849,72$  kN;  $M=358,91$  kN\*m

Momento resistente: si ricava dal modello realizzato con il programma Vca\_slu del prof. Gelfi., come si evince dalle immagini di seguito riportate

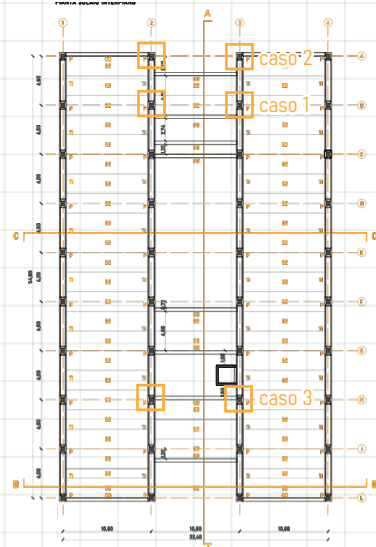


fig.41 identificazione dei tre casi in pianta

**Titolo: PILASTRO - caso 1**

N° Vertici: 4 Zoom N° barre: 12 Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	0
2	46	0
3	46	-46
4	0	-46

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	2,01	3	-3
2	2,01	43	-3
3	2,01	43	-43
4	2,01	3	-43
5	1,13	3	-6
6	1,13	6	-3

Materiali: FeB44k, C50/60

Proprietà materiali:  $\epsilon_{su}$  67,5‰,  $\epsilon_{c2}$  2‰,  $f_{yd}$  373,9 N/mm²,  $\epsilon_{cu}$  3,5‰,  $E_s$  200.000 N/mm²,  $f_{cd}$  28,33,  $E_s/E_c$  15,  $f_{cc}/f_{cd}$  0,8,  $\epsilon_{syd}$  1,87‰,  $\sigma_{c,adm}$  17,25,  $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²,  $\tau_{co}$  1,  $\tau_{c1}$  2,686

Carichi:  $N_{Ed}$  1770 kN,  $M_{xEd}$  13,06 kNm,  $M_{yEd}$  0

Materiali: FeB44k, C50/60

Proprietà materiali:  $\epsilon_{su}$  67,5‰,  $\epsilon_{c2}$  2‰,  $f_{yd}$  373,9 N/mm²,  $\epsilon_{cu}$  3,5‰,  $E_s$  200.000 N/mm²,  $f_{cd}$  28,33,  $E_s/E_c$  15,  $f_{cc}/f_{cd}$  0,8,  $\epsilon_{syd}$  1,87‰,  $\sigma_{c,adm}$  17,25,  $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²,  $\tau_{co}$  1,  $\tau_{c1}$  2,686

Carichi:  $N_{Ed}$  1770 kN,  $M_{xEd}$  13,06 kNm,  $M_{yEd}$  0

Materiali: FeB44k, C50/60

Proprietà materiali:  $\epsilon_{su}$  67,5‰,  $\epsilon_{c2}$  2‰,  $f_{yd}$  373,9 N/mm²,  $\epsilon_{cu}$  3,5‰,  $E_s$  200.000 N/mm²,  $f_{cd}$  28,33,  $E_s/E_c$  15,  $f_{cc}/f_{cd}$  0,8,  $\epsilon_{syd}$  1,87‰,  $\sigma_{c,adm}$  17,25,  $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²,  $\tau_{co}$  1,  $\tau_{c1}$  2,686

Carichi:  $N_{Ed}$  1770 kN,  $M_{xEd}$  13,06 kNm,  $M_{yEd}$  0

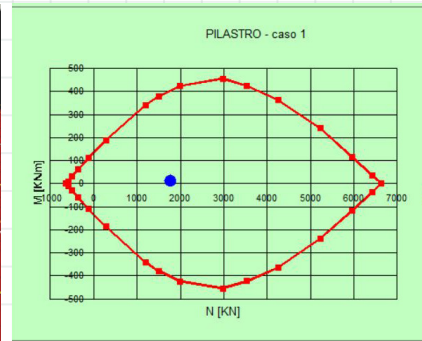


fig.42 interfaccia programma Vca-slu, calcolo della resistenza a presso-flessione del pilastro e relativo dominio N-M, caso 1

**Titolo: PILASTRO - caso 2**

N° Vertici: 4 Zoom N° barre: 12 Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	0
2	46	0
3	46	-46
4	0	-46

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	2,01	3	-3
2	2,01	43	-3
3	2,01	43	-43
4	2,01	3	-43
5	1,13	3	-6
6	1,13	6	-3

Materiali: FeB44k, C50/60

Proprietà materiali:  $\epsilon_{su}$  67,5‰,  $\epsilon_{c2}$  2‰,  $f_{yd}$  373,9 N/mm²,  $\epsilon_{cu}$  3,5‰,  $E_s$  200.000 N/mm²,  $f_{cd}$  28,33,  $E_s/E_c$  15,  $f_{cc}/f_{cd}$  0,8,  $\epsilon_{syd}$  1,87‰,  $\sigma_{c,adm}$  17,25,  $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²,  $\tau_{co}$  1,  $\tau_{c1}$  2,686

Carichi:  $N_{Ed}$  524,80 kN,  $M_{xEd}$  401,80 kNm,  $M_{yEd}$  0

Materiali: FeB44k, C50/60

Proprietà materiali:  $\epsilon_{su}$  67,5‰,  $\epsilon_{c2}$  2‰,  $f_{yd}$  373,9 N/mm²,  $\epsilon_{cu}$  3,5‰,  $E_s$  200.000 N/mm²,  $f_{cd}$  28,33,  $E_s/E_c$  15,  $f_{cc}/f_{cd}$  0,8,  $\epsilon_{syd}$  1,87‰,  $\sigma_{c,adm}$  17,25,  $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²,  $\tau_{co}$  1,  $\tau_{c1}$  2,686

Carichi:  $N_{Ed}$  524,80 kN,  $M_{xEd}$  401,80 kNm,  $M_{yEd}$  0

Materiali: FeB44k, C50/60

Proprietà materiali:  $\epsilon_{su}$  67,5‰,  $\epsilon_{c2}$  2‰,  $f_{yd}$  373,9 N/mm²,  $\epsilon_{cu}$  3,5‰,  $E_s$  200.000 N/mm²,  $f_{cd}$  28,33,  $E_s/E_c$  15,  $f_{cc}/f_{cd}$  0,8,  $\epsilon_{syd}$  1,87‰,  $\sigma_{c,adm}$  17,25,  $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²,  $\tau_{co}$  1,  $\tau_{c1}$  2,686

Carichi:  $N_{Ed}$  524,80 kN,  $M_{xEd}$  401,80 kNm,  $M_{yEd}$  0

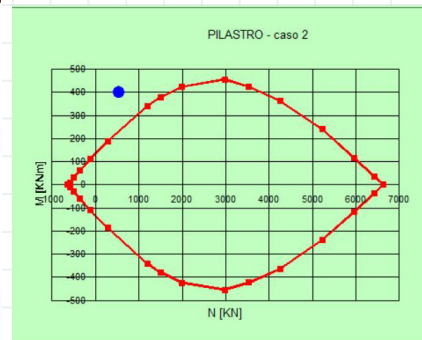
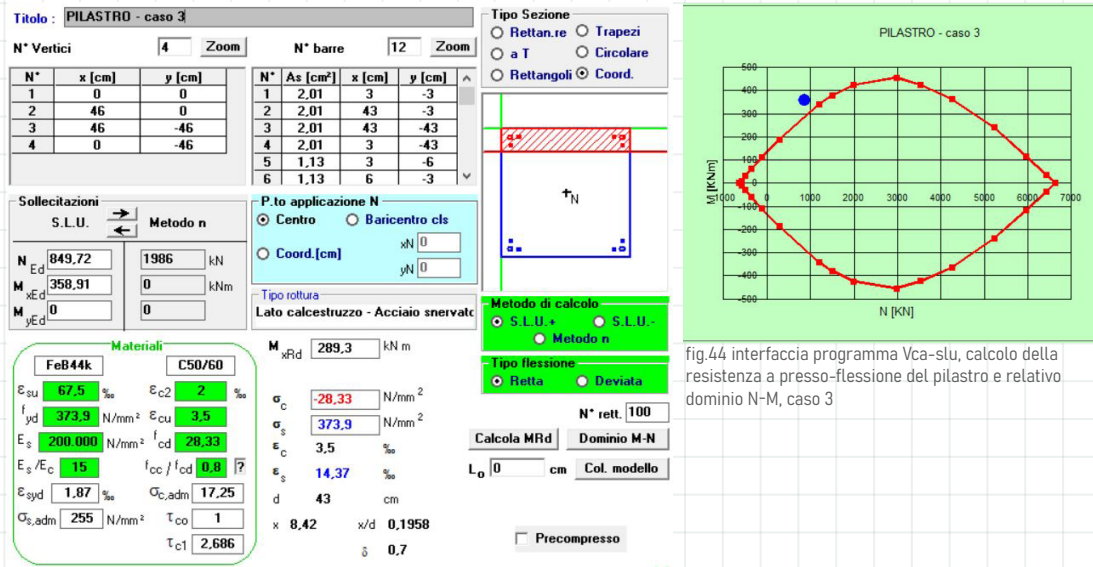


fig.43 interfaccia programma Vca-slu, calcolo della resistenza a presso-flessione del pilastro e relativo dominio N-M, caso 2



La verifica a presso-flessione complessivamente non risulta soddisfatta in quanto in alcuni dei casi analizzati la coppia di azioni N-M non rientra nel dominio di resistenza. Si procederà di seguito ad ipotizzare un intervento di consolidamento.

## 12.5.7 Plinto di fondazione a bicchiere

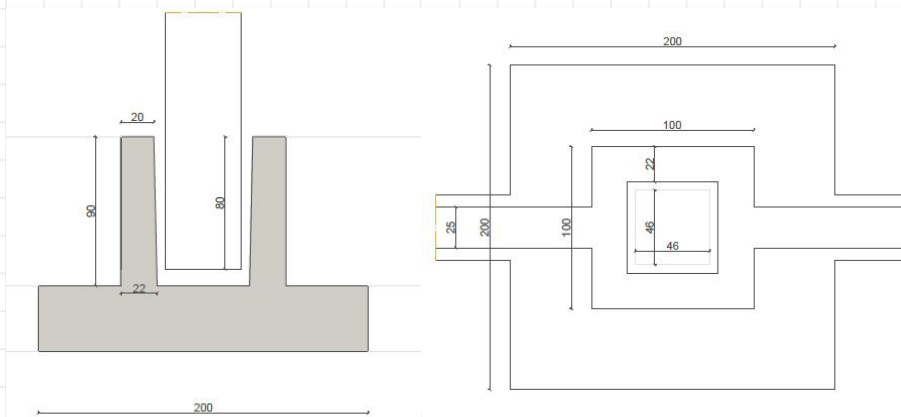


fig.45 sezione verticale e pianta del plinto a bicchiere e innesto del muro di fondazione

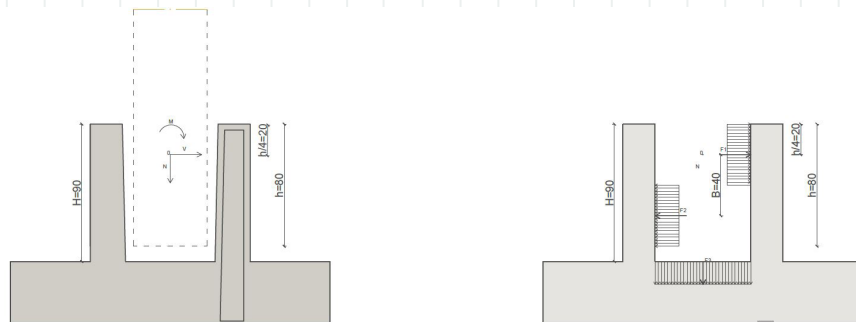


fig.46 sezioni verticali che illustrano le forze agenti sul plinto e la loro distribuzioni sulle superfici del bicchiere

### 12.5.7.1 Verifica a flessione della parete del bicchiere

Di seguito si esegue la verifica a flessione della parete del bicchiere, utilizzando come azione agente il momento al piede del pilastro

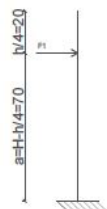


fig.47 schema statico adottato per studiare la parete del pinto a bicchiere

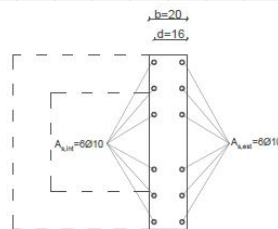


fig.48 tipologia e disposizione delle armature nella parete del pinto a bicchiere

**Momento agente:** si ricava dal modello a elementi finiti SAP2000, ovvero il valore di momento massimo al piede dei pilastri. Una volta ricavata dal programma la tabella relativa ai frame interessati la si ordina imponendo un ordine decrescente di momento (nel caso in esame M3), ricavando così il valore massimo.

Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElem
Text	m	Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	Text
421	0,9	SLV 3_ -1x +0,3y	Combination	Min	-282,111	-192,878	-57,959	-1,5744	-36,1986	-187,1851	421-1
421	0,9	SLV L_ +1x +0,3y	Combination	Min	-282,111	-192,878	-57,959	-1,5744	-36,1986	-187,1851	421-1
421	0,9	SLV 2_ +1x -0,3y	Combination	Min	-282,111	-192,878	-57,959	-1,5744	-36,1986	-187,1851	421-1
421	0,9	SLV 4_ -1x -0,3y	Combination	Min	-282,111	-192,878	-57,959	-1,5744	-36,1986	-187,1851	421-1
421	0,45	SLV L_ +1x +0,3y	Combination	Min	-284,446	-192,878	-57,959	-1,5744	-16,1542	-98,0463	421-1
421	0,45	SLV 2_ +1x -0,3y	Combination	Min	-284,446	-192,878	-57,959	-1,5744	-16,1542	-98,0463	421-1
421	0,45	SLV 3_ -1x +0,3y	Combination	Min	-284,446	-192,878	-57,959	-1,5744	-16,1542	-98,0463	421-1
421	0,45	SLV 4_ -1x -0,3y	Combination	Min	-284,446	-192,878	-57,959	-1,5744	-16,1542	-98,0463	421-1
421	0,9	SLV 7_ -0,3x +1y	Combination	Min	-345,824	-63,087	-158,865	-0,6266	-122,197	-64,4215	421-1
421	0,9	SLV 8_ -0,3x -1y	Combination	Min	-345,824	-63,087	-158,865	-0,6266	-122,197	-64,4215	421-1

tab.16 valori estratti dall'analisi SAP con taglio M3 in ordine decrescente-pilastro

I pilastri che presentano queste valore sono quelli di testata a nord già analizzati in precedenza, ovvero dove si verificava il caso 2 della presso-flessione. Considerando lo schema di distribuzione delle forze sopra riportato si evince che la risultante F1 agente sulla parete del bicchiere è pari a

$$F_1 = \frac{M}{B} = \frac{187,19}{0,4} = 467,98 \text{ KN}$$

Analizziamo ora separatamente la parete del bicchiere. Questa può essere schematizzata come una mensola incastrata, con una forza agente applicata a h/4 dall'estremità libera. Calcoliamo il momento agente alla base della mensola (parete del bicchiere):

$$M_{Ed,parete\ bicch} = F_1 * a = 467,98 * 0,7 = 327,58 \text{ KN} * \text{m}$$

**Momento resistente:** con riferimento all'armatura interna della parete del bicchiere (6Ø10) si calcola il momento resistente della parete del bicchiere

$$M_{Rd,parete\ bicch} = A_{s,int} * f_{yd} * (0,9 * d) = 0,000474 * 407570 * 0,9 * 0,16 = 27,82 \text{ KN} * \text{m}$$

Nel caso in esame si ha:

$$A_{s,int} = 4,74 \text{ cm}^2 = 0,000474 \text{ m}^2$$

$$f_{yd} = 407,57 \text{ N/mm}^2 = 407570 \text{ KN/m}^2$$

$$d = 16 \text{ cm} = 0,16 \text{ m}$$

La verifica a flessione della parete del bicchiere non è soddisfatta. Si procederà di seguito ad ipotizzare

un intervento di consolidamento.

Per avvalorare tale risultato si esegue una modellazione della parete del plinto a bicchiere con il programma Vca\_slu,, da cui si evince che, entro un margine di errore, il valore desunto dai calcoli si può ritenere corretto.

**Titolo : PARETE PLINTO BICCHIERE**

N° Vertici: 4 Zoom N° barre: 12 Zoom

N°	x [cm]	y [cm]	N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	-50	10	1	0,79	-46	-6
2	50	10	2	0,79	-26	-6
3	50	-10	3	0,79	-6	-6
4	-50	-10	4	0,79	6	-6
			5	0,79	26	-6
			6	0,79	46	-6

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 327,58 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 kNm

P.to applicazione N: Centro Baricentro cls  
Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipi rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub> 33,16 kNm

Materiali: FeB44k C50/60

$\epsilon_{su}$  67,5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  373,9 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$  3,5 ‰  
 $E_s$  200.000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$  28,33 N/mm<sup>2</sup>  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0,8  
 $\epsilon_{syd}$  1,87 ‰  $\sigma_{c,adm}$  17,25 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$  1  
 $\tau_{c1}$  2,686

$\sigma_c$  -28,33 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$  373,9 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$  3,5 ‰  
 $\epsilon_s$  32,84 ‰  
d 16 cm  
x 1,541 x/d 0,09632  
 $\delta$  0,7

Metodo di calcolo: S.L.U.+ S.L.U.- Metodo n  
Tipo flessione: Retta Deviata  
N° rett. 100  
Calcola MRd Dominio M-N  
L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello  
 Precompresso

fig. 49 interfaccia programma Vca-slu, calcolo della resistenza a flessione della parete del plinto di fondazione

Data la presenza di muri di fondazione che forniscono un contributo di confinamento alle azioni di momento, si esegue una modellazione con il programma di Vca\_slu per valutare il momento resistente qualora si considerasse l'azione di una porzione di muro di fondazione di 1m.

**Titolo : PARETE PLINTO BICCHIERE**

N° Vertici: 8 Zoom N° barre: 22 Zoom

N°	x [cm]	y [cm]	N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
4	10	110	18	0,79	6	100
5	10	10	19	0,79	6	80
6	50	10	20	0,79	6	60
7	50	-10	21	0,79	6	40
8	-50	-10	22	0,79	6	20

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 327,58 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 kNm

P.to applicazione N: Centro Baricentro cls  
Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipi rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub> 500,1 kNm

Materiali: FeB44k C50/60

$\epsilon_{su}$  67,5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  373,9 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$  3,5 ‰  
 $E_s$  200.000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$  28,33 N/mm<sup>2</sup>  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0,8  
 $\epsilon_{syd}$  1,87 ‰  $\sigma_{c,adm}$  17,25 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$  1  
 $\tau_{c1}$  2,686

$\sigma_c$  -28,33 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$  373,9 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$  3,5 ‰  
 $\epsilon_s$  29,26 ‰  
d 116 cm  
x 12,39 x/d 0,1068  
 $\delta$  0,7

Metodo di calcolo: S.L.U.+ S.L.U.- Metodo n  
Tipo flessione: Retta Deviata  
N° rett. 100  
Calcola MRd Dominio M-N  
L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello  
 Precompresso

fig. 50 interfaccia programma Vca-slu, calcolo della resistenza a flessione della parete del plinto di fondazione con il contributo del muro di fondazione

Si evince che l'apporto fornito dai muri di fondazione è considerevole, e con queste considerazioni la verifica può ritenersi soddisfatta

### 12.5.7.2 Verifica a punzonamento della base del bicchiere

Nonostante si tratti di un plinto a bicchiere, per la verifica a punzonamento dovuta all'azione del pilastro si adotta la seguente schematizzazione della distribuzione delle forze.

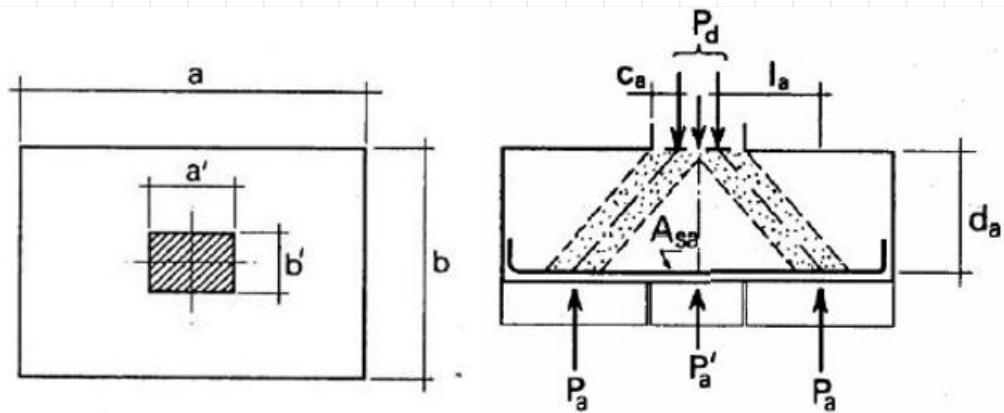


fig. 51 schematizzazione della distribuzione delle forze sulla base della fondazione a plinto

La verifica a punzonamento si effettua quando una piastra è sottoposta ad un'azione localizzata su una porzione ridotta. Si tratta di un problema di flessione bidirezionale che può portare alla rottura per perforazione della piastra dovuta al fatto che il suo spessore risulta piccolo in rapporto all'azione e alle ridotte dimensioni dell'impronta su cui essa è distribuita. Il problema di punzonamento qui analizzato è rappresentato dal sistema pilastro-plinto, con cui assimila il comportamento del plinto a quello di una piastra di dimensioni ridotte.

Per la verifica a punzonamento è necessario che sia soddisfatta la seguente disuguaglianza:

$$P_r > (P_d - P_0)$$

dove:

$P_r$  è l'azione resistente del plinto

$P_d$  è l'azione assiale di progetto proveniente dal pilastro

$P_0$  è l'azione diretta alla base del plinto

con

$$P_r = \min \{P_r'; P_r''\}$$

Nel caso in esame si verifica un plinto tipo, e come azione assiale si adotta il valore massimo agente al piede dei pilastri.

$$a = b = 2\text{m} = 2000\text{mm}$$

$$a' = b' = 0,46\text{m} = 460\text{mm}$$

$$P_d = N_{\text{max}} = 1770,08 \text{ KN}$$

$$P_a = P_d \cdot (a'^2/a^2) = 1770,08 \cdot (0,462/2)^2 = 93,64 \text{ KN}$$

$P_r'$  è calcolata in corrispondenza del perimetro critico (cioè quello che delimita la superficie di rottura) per determinare la resistenza massima che il plinto è in grado di opporre all'azione assiale di progetto senza l'ausilio di armatura trasversale a taglio

$$P_r' = 0,25 \cdot u \cdot d \cdot f_{ctd} \cdot k \cdot (1 + 50 \cdot \rho_s) = 0,25 \cdot 5327,17 \cdot 370 \cdot 1,33 \cdot 1,2 \cdot (1 + 50 \cdot 0,00431) = 955930,11\text{N} \\ = 955,93 \text{ KN}$$

dove:

$u$  è il perimetro critico, calcolato come:  $u = 4a' + 3\pi d$

$d$  è l'altezza utile del plinto

$f_{ctd}$  è la resistenza di progetto a trazione del calcestruzzo  
 $k$  è l'effetto dell'ingranamento degli inerti, calcolato come:  $k = 1,6 - d$   
 $\rho_s$  è il rapporto geometrico di armatura, pari a  $\rho_s = A_s / A_c$

Nel caso in esame si ha:

$$d = 0,37m = 370mm$$

$$u = (4 * a') + (3 * \pi * d) = (4 * 460) + (3 * 3,14 * 370) = 5327,17mm$$

$$f_{ctd} = 1,33 \text{ N/mm}^2$$

$$k = 1,6 - 0,37 = 1,23$$

$A_s = 34,47 \text{ cm}^2 = 3447 \text{ mm}^2$  si considerano i ferri posizionati sulla base del bicchiere, ovvero

$$13 \text{ } \varnothing 12 \text{ (D)} + 12 \text{ } \varnothing 10 \text{ (E)} + 4 \text{ } \varnothing 16 \text{ (F)} + 2 \text{ } \varnothing 12 \text{ (G)}$$

$$A_c = 2 * 0,4 * 0,8m^2 = 800000 \text{ mm}^2$$

$$\rho_s = A_s / A_c = 3447 / 800000 = 0,00431 \text{ mm}^2$$

$P''_r$  è calcolata in corrispondenza del perimetro del pilastro, per verificare che i puntoni non risultino troppo compressi.

$$P''_r = 0,4 * u_0 * d * f_{cd} * \frac{1}{1 + \lambda^2} = 0,4 * 1840 * 370 * 29,35 * \frac{1}{1 + 1^2} = 3996296 \text{ N} = 3996,30 \text{ KN}$$

dove:

$u_0$  è il perimetro del pilastro

$d$  è l'altezza utile del plinto

$f_{cd}$  è la resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo

$\lambda$  è l'inclinazione delle compressioni trasversali d'anima, pari alla cotangente dell'angolo di rottura del calcestruzzo  $\alpha$

Nel caso in esame si ha:

$$u_0 = 4 * 460 \text{ mm} = 1840 \text{ mm}$$

$$d = 0,37m = 370 \text{ mm}$$

$$f_{cd} = 29,35 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda = \cotan \alpha = \cotan 45 = 1$$

L'azione resistente del plinto è  $P_r = P'_r = 955,93 \text{ KN}$ : tale valore non soddisfa la disuguaglianza di verifica in quanto:

$$P_r = 955,93 \text{ kN}$$

$$P_d - P_0 = 1770,08 - 93,64 = 1676,44 \text{ kN}$$

$$955,93 \text{ KN} < 1676,44 \text{ KN}$$

La verifica a punzonamento non è soddisfatta. Si procederà di seguito ad ipotizzare un intervento di consolidamento.

## 12.6 Ipotesi di interventi di consolidamento

Sulla base delle analisi appena compiute e del quadro conoscitivo emerso dalle indagini diagnostiche del Comune abbiamo provveduto ad ipotizzare gli interventi di consolidamento che possano migliorare la risposta strutturale alle azioni esterne. In questa sede, non essendo questo tema oggetto principale di questa tesi, ci si limita a una trattazione generica consapevole del fatto che tali ipotesi debbano essere supportate da adeguate verifiche per essere definite adeguate.

### 12.6.1 Travi TI copertura

Le verifiche evidenziano un'insufficiente resistenza a flessione. Per sopperire a tale carenza si ipotizza un intervento di rinforzo strutturale con il sistema FRCM (Fiber Reinforced Cementitious Matrix) con matrice inorganica tipo PBO-MESH 70/18 di Ruregol. Questo sistema si compone di una fibra in PBO a elevate prestazioni e di una matrice inorganica con la funzione di adesivo, che sostituisce le resine epossidiche dei sistemi FRP (Fiber Reinforced Polymers) tradizionali. Questa matrice inorganica è preferibile in quanto è più compatibile con il sottofondo e assicura un'efficace adesione sia alle fibre strutturali della rete sia ai materiali che costituiscono il sottofondo, garantendo così una elevata affidabilità del rinforzo strutturale. Questi sistemi vengono messi in opera applicando uno strato di matrice di spessore 3/5mm con un frattazzo metallico. Di seguito deve essere fatta annegare la rete nella malta, esercitando con lo stesso frattazzo una pressione sufficiente alla fuoriuscita della matrice dai fori della rete. Infine applicare un secondo strato di matrice inorganica con uno spessore di 3mm in modo da coprire completamente la rete. Nel caso in esame si ipotizza un'applicazione longitudinale sull'intradosso teso della trave, semmai con delle fasciature trasversali in corrispondenza degli appoggi.



fig. 52 applicazione longitudinale del sistema FRCM



fig. 53 applicazione trasversale del sistema FRCM

### 12.6.2 Elementi prefabbricati solaio (coppelle K47-K50)

La verifica a momento non è soddisfatta per nessuno dei due impalcati: questo risultato per le coppelle in copertura è facilmente giustificabile dato il montaggio a secco di tale solaio. Nel solaio interpiano con buona probabilità questa verifica non risulta soddisfatta in quanto non è stata considerata ai fini del calcolo il contributo della cappa ad oggi presente. In entrambi i solai si prevede la posa di uno strato di

irrigidimento fibrorinforzato collaborante, e nel caso del solaio interpiano tale operazione dovrà essere eseguita previa rimozione dell'attuale cappa. Tale scelta è giustificata dalla necessità di rimuovere in ogni caso gli strati superiori ovvero la pavimentazione e il massetto per fini impiantistici, motivo per cui si ritiene opportuno rimuovere cautelativamente la cappa esistente e sostituirla con un nuovo strato con prestazioni note. La necessità di collegare gli impalcati alla struttura verticale e parallelamente quella di minimizzare gli spessori (si ricorda che l'altezza netta interna per gli spazi didattici nelle scuole da norma è 3m, che può essere ridotta 10cm in caso di edificio esistente con impianto di riscaldamento radiante) ci hanno fatto preferire PBO-MESH 70/18 protendere per una soluzione quanto più possibile sottile e che garantisca una buona connessione al fine di ricreare un comportamento scatolare della struttura. Si ipotizza di adottare un microcalcestruzzo fibrorinforzato FRC ad elevate prestazioni, tipo MICRO Calcestruzzo Centro Storico Leca, da posare previa stesura di "Connettore Chimico" e del "Primer centro storico" per incrementare le prestazioni in termini di adesione al supporto,



fig. 54 applicazione del connettore chimico



fig. 55 applicazione del microcalcestruzzo

### 12.6.3 Pilastro

Le verifiche evidenziano come, nei casi in cui non sia presente una rilevante forza assiale stabilizzante, la verifica a presso-flessione non risulta soddisfatta a causa del momento ribaltante. Non risulta in questo caso ottimale l'utilizzo di controventi in quanto la struttura è arretrata rispetto ai muri perimetrali, motivo per cui l'intervento rimarrebbe a vista, con evidenti difficoltà nell'utilizzo dello spazio. Per questo motivo si propone una fasciatura dei pilastri sottoposti a coppie M-N più critiche con il sistema di rinforzo FRCM già ipotizzato per le travi (PBO-MESH 70/18). Questa tipologia infatti, impiegando una rete in PBO bidirezionale, risulta essere utile anche per incrementare la resistenza a presso-flessione dei pilastri in calcestruzzo. Il metodo d'applicazione è assimilabile a quello illustrato per la trave, salvo che per i pilastri la fasciatura è trasversale e interessa l'intera lunghezza dell'elemento.



fig. 56 applicazione del sistema FRCM sui pilastri

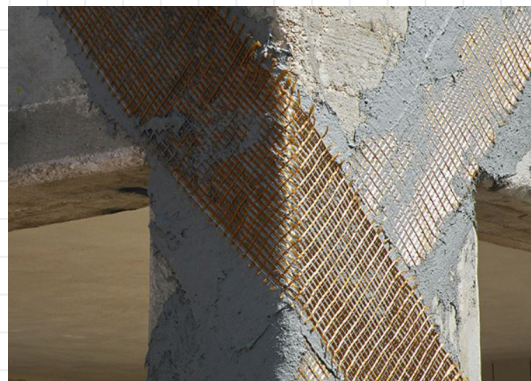


fig. 57 applicazione del sistema FRCM sui nodi pilastro-trave



## 12.6.4 Fondazione

Il rinforzo strutturale delle fondazioni, che di certo è l'intervento più invasivo tra quelli proposti, nasce dalle carenze dell'attuale fondazione individuate dalle verifiche appena eseguite. Le principali problematiche sono dovute a due fattori: anzitutto la ridotta dimensione dei plinti isolati, motivo per cui il carico al piede del pilastro viene scaricato su una superficie molto ridotta; in secondo luogo la presenza di muri di fondazione solo nella direzione longitudinale, e non trasversale, che causa una minore resistenza all'azione sismica in x. Per questi motivi si prevede un rinforzo del plinto a bicchiere, che si articola in 3 fasi:

### fase 1 - rinforzo del piede del pilastro

questa fase prevede anzitutto la demolizione della pavimentazione e del sottofondo, con scavo fino all'estradosso del bicchiere. Dopo una fase di pulizia delle superfici del pilastro può essere realizzata l'incamiciatura del pilastro tramite confinamento con microcalcestruzzo HPFRCC (High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composites).

### fase 2 - rinforzo del colletto del plinto coltetto

una volta effettuate le operazioni sul pilastro è possibile procedere con un'ulteriore fase di scavo, fino alla base del plinto. Si posiziona l'armatura della nuova porzione di plinto e si inghisano nelle pareti del bicchiere opportuni ferri per garantire la connessione tra l'elemento preesistente e il nuovo getto. Una volta eseguite queste operazioni si è pronti a gettare calcestruzzo, meglio se ad alta resistenza, fino all'imposta della pavimentazione

### fase 3 - rinforzo del terreno

Grazie all'impiego di appositi ugelli devono essere eseguite delle iniezioni con miscele cementizie a bassa pressione nel terreno circostante la fondazione al fine di consolidarlo.



fig. 58 rinforzo delle fondazioni con ampliamento dei plinti



fig. 59 rinforzo del terreno tramite iniezioni cementizie

## 12.6.5 Pannelli di tamponamento

Nonostante il cinematismo di questi elementi non strutturali non sia stato verificato, si ipotizza che essi possano essere soggetti a ribaltamento intorno all'asse del loro fissaggio, che in questo caso è baricentrico. Si ipotizza di adottare il presidio antiribaltamento FRMC tipo PBO-MESH 10/10 di Ruregold, costituito da una rete bidirezionale in PBO e una matrice inorganica. Questo sistema infatti riduce il rischio di innesco di meccanismi locali, di collasso, di ribaltamento dei tamponamenti esterni. Il vantaggio di questo intervento è che non incrementa le masse partecipanti e non modifica le rigidità della struttura. Il caso in esame si ipotizza un'applicazione in corrispondenza delle estremità del pannello, dove l'effetto del ribaltamento è maggiormente percepibile.



fig. 60 rete bidirezionale per il rinforzo antiribaltamento



fig. 61 applicazione del sistema FRM sulle pareti

## 12.6.6 Nodi trave-coppella e trave-pilastro

Sulla base delle criticità già analizzate in merito alle connessioni trave-coppella e trave-pilastro, sono stati previsti dissipatori sismici che evitino spostamenti reciproci tra tali elementi strutturali in caso di azione sismica, che potrebbe addirittura produrre un crollo dell'intera struttura.

collegamento trave – coppella

Si adotta un dispositivo antisismico di ritenuta tegolo-trave tipo EDIL TT-N di Edilmatic. L'utilizzo consente di impedire la perdita di appoggio dell'elemento prefabbricato di solaio dalla trave, modificando lo schema di vincolo esistente. L'impiego del sistema EDIL TT-N limita gli spostamenti tra gli elementi stessi, realizzando anche un collegamento di tipo meccanico. L'inclinazione dell'elemento può essere cambiata in base alla geometria degli elementi da collegare e nel caso in esame risulta essere quasi orizzontale. Dopo l'installazione la connessione risulta facilmente ispezionabile e accessibile per eventuali operazioni di manutenzione.

collegamento trave – pilastro

Si adotta un dispositivo antisismico di ritenuta trave-pilastro tipo EDIL TP-N di Edilmatic

La finalità del sistema è quella di garantire un appoggio bilatero tra le estremità delle travi e la sommità dei pilastri modificando lo schema di vincolo. Il sistema costruttivo è identico a quello della connessione EDIL TT-N con tubi di acciaio opportunamente assemblati e con fori per i fissaggi, ricavati alle estremità. Le dimensioni sono maggiorate rispetto all'EDIL T.T. poiché le masse sismiche degli elementi da collegare sono maggiori. Anche in questo caso si tratta di un connettore elastico, avente un modulo di rigidità più alto ottenuto sfruttando la geometria del connettore. In questo caso, data la posizione degli elementi da collegare, l'elemento potrà essere disposto a 45°.



fig. 60 installazione del dispositivo antisismico EDIL TP



fig. 61 installazione del dispositivo antisismico EDIL TT



# 13

## Il progetto energetico

---

---

---

13.1 Parametri prestazionali di verifica

---

13.2 Modellazione Termolog

---

13.3 Confronto dei risultati ottenuti

---

13.4 Conclusioni (considerazioni sulla reiterabilità dell'intervento)

---



# Parametri prestazionali dell'involucro 13.1

Il D.Lgs 48/2020 prescrive che, a partire dal 1° gennaio 2021, tutti gli edifici (pubblici e non) devono essere obbligatoriamente NZEB; tale obbligo è valido per tutti i nuovi edifici, per gli interventi che prevedono una demolizione e una successiva ricostruzione nonché per gli edifici soggetti a ristrutturazione importante.

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)”

In termini di verifiche, per il DM 26.06.2015 sono “edifici a energia quasi zero” gli edifici per cui sono contemporaneamente rispettate:

- le verifiche dei parametri  $H'_T$ ,  $A_{sol,est}/A_{sup\ utile}$ , gli indici di prestazione energetica  $EP_{H,nd}$ ,  $EP_{C,nd}$ ,  $EP_{gl,tot}$ , i rendimenti  $\eta_H$ ,  $\eta_W$ ,  $\eta_C$
- gli obblighi minimi di integrazione delle fonti rinnovabili (Allegato 3 del D.Lgs 03.03.2011, n. 28)

Tali verifiche, recepite dalla Regione Lombardia con il Decreto 6480, sono riassunte nello schema riportato di seguito.

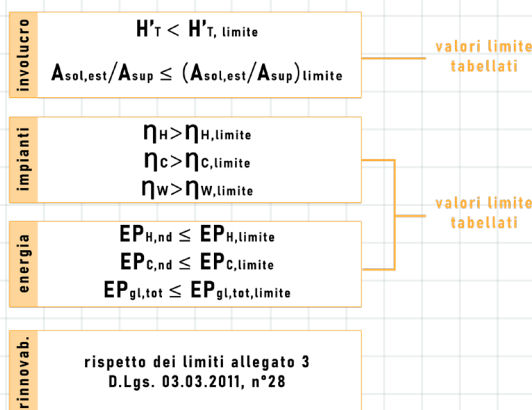


fig. 1 schema parametri edificio Nzeb per edifici sottoposti a ristrutturazione importante di I livello

Relativamente all'edificio oggetto del nostro studio, in questa sede ci si limiterà alla sola verifica dei requisiti nZEB relativi all'involucro edilizio

Prima di passare ad indagare il caso studio si illustrano brevemente le ipotesi adottate, nonché l'intervallo di valori che dovranno essere rispettati.

Anzitutto, secondo la suddetta normativa (DM 26.06.2015) l'intervento proposto rientra nella casistica “ristrutturazioni importanti di primo livello” in quanto, oltre a interessare l'involucro edilizio con un'incidenza superiore al 50 per cento della superficie disperdente lorda complessiva dell'edificio, comprende anche la ristrutturazione dell'impianto termico per il servizio di climatizzazione invernale e/o estiva asservito all'intero edificio.” Per questo tipo di interventi i requisiti di prestazione energetica:

- si determinano con l'utilizzo dell'edificio di riferimento
- si applicano all'intero edificio e si riferiscono alla sua prestazione energetica relativa ai servizi interessati.

Gli indici di prestazione energetica EPH,nd, EPC,nd, EPgltot così come le efficienze  $\square H$ ,  $\square W$ ,  $\square C$  non hanno infatti degli standard da rispettare, bensì il loro valore deve risultare rispettivamente inferiore e superiore ai valori limite calcolati per l'edificio di riferimento.

In aggiunta a tali parametri, gli impianti di climatizzazione invernale devono essere dotati di sistemi per la regolazione automatica della temperatura ambientale nei singoli locali o nelle singole zone termiche al fine di non determinare sovra riscaldamento per effetto degli apporti solari e degli apporti gratuiti interni. Tali sistemi devono essere assistiti da compensazione climatica; questa può essere omessa ove la tecnologia impiantistica preveda sistemi di controllo equivalenti o di maggiore efficienza o qualora non sia tecnicamente realizzabile.

Inoltre, trattandosi di un edificio ad uso non residenziale è necessario:

- garantire un livello minimo di automazione per il controllo, la regolazione e la gestione delle tecnologie dell'edificio e degli impianti termici (BACS), corrispondente alla Classe B.
- includere il fabbisogno relativo all'illuminazione nei calcoli al fine del calcolo della prestazione energetica.

Per definire la classe energetica complessiva dell'edificio si usa l'indice di prestazione energetica globale espresso in energia primaria non rinnovabile, Epgl,nren ottenuto applicando il fattore di conversione in energia primaria non rinnovabile.

### 13.1.1 Coefficiente medio globale di scambio termico $H'_T$

Il DM26.06.2015 richiede di contenere le dispersioni globali dell'edificio valutando il parametro  $H'_T$  che rappresenta lo scambio termico medio dell'edificio. (Nel caso di ristrutturazione rilevante di I livello questo coefficiente deve essere valutato considerando l'intero involucro). Tale parametro 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:

$$H'_T = \frac{H_{tr,adj}}{\sum_k A_k}$$

dove:

$A_k$  è la superficie lorda del k-esimo componente (opaco o trasparente) costituente l'involucro, al netto dei serramenti e al lordo dei ponti termici.

$H_{tr,adj}$  è il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione dell'involucro definito dalla UNI/TS 11300-1, espresso in W/K:  $H_{tr,adj} = H_D + H_g + H_U + H_A$

dove:

$H_D$  è il coefficiente di scambio termico diretto per trasmissione verso l'ambiente esterno;

$H_g$  è il coefficiente di scambio termico stazionario per trasmissione verso il terreno;

$H_U$  è il coefficiente di scambio termico per trasmissione attraverso gli ambienti non climatizzati;

$H_A$  è il coefficiente di scambio termico per trasmissione attraverso gli ambienti climatizzati a temp. diversa.

Il valore di  $H'_T$  deve essere inferiore al valore massimo ammissibile riportato in funzione della zona climatica e del rapporto S/V. Nel caso in esame, Chiari è collocata in zona climatica E e l'edificio oggetto di studio ha un rapporto S/V=0,41, per cui si deve verificare  $H'_T < 0,55$

Numero Riga	RAPPORTO DI FORMA (S/V)	Zona climatica				
		A e B	C	D	E	F
1	$S/V \geq 0,7$	0,58	0,55	0,53	0,50	0,48
2	$0,7 > S/V \geq 0,4$	0,63	0,60	0,58	0,55	0,53
3	$0,4 > S/V$	0,80	0,80	0,80	0,75	0,70

Numero Riga	TIPOLOGIA DI INTERVENTO	Zona climatica				
		A e B	C	D	E	F
4	Ampliamenti e Ristrutturazioni importanti di secondo livello per tutte le tipologie edilizie	0,73	0,70	0,68	0,65	0,62

tab 1 valore massimo ammissibile del coefficiente globale di scambio termico  $H'_g$

### 13.1.2 Area solare equivalente estiva

Per valutare l'indice di prestazione dell'involucro nel periodo estivo il suddetto decreto prescrive la verifica del parametro  $A_{sol,est}/A_{sup}$ , ovvero il rapporto tra l'area solare equivalente estiva dei componenti finestrati e l'area della superficie utile.

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

$$A_{sol,est} = \sum F_{sh} * g_{sh+gl,b} * (1 - F_F) * A_{w,p} * F_{sol,est}$$

Dove:

- $F_{sh}$  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;
- $g_{sh+gl}$  è la trasmittanza di energia solare totale della finestra calcolata nel mese di luglio, quando la schermatura solare è utilizzata, secondo i criteri indicati dalla norma UNIEN13363-1;
- $F_F$  è la frazione di area relativa al telaio;
- $A_{w,p}$  è l'area proiettata totale del componente vetrato (area del vano finestra);
- $F_{sol,est}$  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.

Il rapporto  $A_{sol,est}/A_{sup}$  deve essere inferiore al valore massimo ammissibile riportato nella seguente tabella in base alla categoria dell'edificio

#	Categoria edificio	Tutte le zone climatiche
1	Categoria E.1 fatta eccezione per collegi, conventi, case di pena, caserme nonché per la categoria E.1(3)	$\leq 0,030$
2	Tutti gli altri edifici	$\leq 0,040$

tab 2 valore massimo ammissibile del rapporto tra area solare equivalente estiva dei componenti finestrati e la superficie utile

Nel caso in esame tale parametro deve rispettare il limite  $A_{sol,est}/A_{sup} \leq 0,04$

In aggiunta a questa verifica, per limitare i fabbisogni energetici per la climatizzazione estiva e di contenere la temperatura interna degli ambienti la normativa richiede la verifica nella massa superficiale  $m_s$  (per le pareti a sud, ovest, est), il valore di trasmittanza termica periodica  $Y_{ie}$ , e valutare inoltre l'adozione di sistemi schermanti sulle superfici vetrate. Queste valutazioni sono già state trattate nei capitoli precedenti, motivo per cui non verranno trattati in questa sede.



## 13.2 Modellazione Termolog

Per questa fase di analisi energetica ci si è serviti di Termolog, un software BIM professionale che permette una valutazione energetica approfondita delle prestazioni energetiche di un edificio. Per questo lavoro di tesi si è tentato di utilizzare tale programma in maniera più ampia possibile, sfruttando molte delle potenzialità offerte dal motore di calcolo. Il programma presenta una interfaccia intuitiva ma allo stesso tempo completa di un gran numero di opzioni per poter definire una grande quantità di aspetti dell'edificio. Per poter gestire al meglio un elemento così complesso sono richieste dunque competenze piuttosto sviluppate in materia, nonché una familiarità con alcuni parametri relativi alle condizioni al contorno e di funzionamento generale del sistema edificio-impianto. Nel caso in esame, conscie della possibilità di un margine di errore dovuto proprio all'inesperienza, abbiamo ritenuto comunque importante eseguire tali verifiche per accertare l'efficienza del pacchetto di facciata proposto, nonché definire le prestazioni energetiche complessive dell'edificio.

Ciò che verrà illustrato e verificato in questo capitolo è l'intervento a 360° che si intende adottare per l'edificio oggetto di studio. Oltre alle strategie già illustrate relative all'involucro opaco e trasparente, verranno indagate le modifiche che si intende adottare sull'impianto, nonché le integrazioni con fonti rinnovabili per rispondere alle richieste della vigente normativa. Le nostre conoscenze sul programma sono state apprese tramite tutti gli strumenti messi a disposizione dalla casa produttrice (webinar gratuiti e manuale), nonché il confronto costruttivo con alcuni colleghi.

Data la differenza a livello architettonico degli spazi interni tra la scuola di progetto da quella dello stato di fatto, si è provveduto alla modellazione di due edifici distinti, che ben rappresentassero le condizioni dell'edificio pre e post-intervento. Dai risultati ottenuti singolarmente verranno poi eseguite le considerazioni di confronto, che ci permetteranno di visualizzare quanto davvero gli interventi proposti contribuiscano a migliorare le prestazioni complessive dell'involucro.

### 13.2.1 Scheda relazione

Iniziando un nuovo progetto ci si imbatte in una schermata che permette di inserire i dati generali dell'edificio e i parametri al contorno la localizzazione, la destinazione d'uso prevalente, la normativa secondo la quale effettuare le verifiche e le opzioni di calcolo. E' necessario settare tali parametri per permettere al programma di associare i rispettivi valori tabellari ed eventuali coefficienti correttivi. Nella banda delle icone in alto è necessario specificare i servizi impiantistici attivi e, per ognuno di essi, specificare se si tratta di impianti centralizzati o autonomi. L'obiettivo che ci proponiamo è quello di realizzare a tutti gli effetti una diagnosi energetica dello stato di fatto e, in seguito, dello stato di progetto.

Si riportano di seguito alcune precisazioni adottate in questa scheda per il progetto in esame:

- localizzazione: nonostante l'edificio oggetto di studio sia collocato a Chiari in provincia di Brescia, disponendo di una versione academy del software Termolog, ai fini del calcolo dell'intero involucro è stato necessario impostare la localizzazione nel capoluogo di regione, ovvero Milano. L'individuazione della località di progetto permette al programma di associare i relativi dati climatici (temperature di progetto e irradianza), nonché includere nelle verifiche eventuali Regolamenti edilizi locali.
- intervento: si tratta di una ristrutturazione importante di I livello, e per quanto riguarda l'uso prevalente ricade nella categoria E7 – attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili

- impostazioni: le verifiche verranno eseguite con riferimento alla Legge Nazionale L90 del 2013 e, trattandosi di un intervento su un edificio di cui sono note le stratigrafie, verrà adottato per il calcolo il metodo analitico.

- servizi attivi: si fa riferimento alle impostazioni adottate per le singole modellazioni, che andremo di seguito ad illustrare.

**Edificio stato di fatto:**

- impianto riscaldamento e ACS: centralizzato per l'intero edificio
- impianto raffrescamento: centralizzato ed attivo solo nei locali destinati ai docenti.
- impianto ventilazione: assente
- illuminazione: presente
- trasporto di persone o cose: presente
- sistema di controllo e automazione degli edifici (BASC): assente

**Edificio di progetto:**

- impianto riscaldamento e raffrescamento: un unico impianto reversibile autonomo per ogni ZT
- impianto ACS: centralizzato ma attivo solo nelle zone termiche che contengono i servizi igienici
- impianto ventilazione: presente
- illuminazione: presente
- trasporto di persone o cose: presente
- sistema di controllo e automazione degli edifici (BASC): presente

Strumenti: Superbonus, Comune, TERMOTAB, Centralizzato Autonomo Assente, Centralizzato Autonomo Assente, Centralizzato Autonomo Assente, Presente Assente, Presente Assente, Presente Assente, Presente Assente

Senza Compila i dati generali

**Indirizzo**

Comune: Milano 20121 MI

Indirizzo: n°

Coordinate GIS: 45.450000 9.183333 \*\*\*

**Intervento**

Normativa: Normativa NAZIONALE: L 90/2013 - D.M. Requisiti Minimi

Pratica per:  ex Legge 10  Diagnosi  Tabella millesimi

Tipo di Intervento: Ristrutturazione importante di primo livello

Ristrutturazione rilevante (D.Lgs 28/2011)

Uso prevalente: E.7. - attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili

**Autorizzazioni edilizie**

Richiesta titolo edilizio: 13/07/2021 n. titolo

Permesso di costruire: n. permesso

Variante permesso: n. variante

**Dati aggiuntivi per la compilazione dell'APE e AQE**

Motivazione: Ristrutturazione importante

Comune catastale: F205

Tecnico: In qualità di Ente/Organismo pubbl.

Rilasciato il: 13/07/2021

Caratteristiche:

Copertura: Piana

Tip. costruttiva: Struttura in cemento armato (con c)

Tipo di edificio: Edificio in linea

**Geometria**

2 unità immobiliari termoautonome

Unità immobiliare	Sup disp	V lordo H	V lordo C
unità immobiliare P1	2.325,25	6.561,80	6.206,99
unità immobiliare PT	2.865,52	7.925,03	7.483,02

fig. 2 scheda relazione - modellazione edificio di progetto

## 13.2.2 Scheda zone

Nella seconda scheda è possibile suddividere l'edificio in unità immobiliari (UI) e, all'interno di queste, definire le zone termiche (ZT) rispetto alle quali verranno eseguite le verifiche. Una zona termica è una porzione dell'edificio di cui si vuole controllare il comportamento termico in maniera uniforme e che contiene al suo interno un numero variabile di locali. Occorre chiarire che, a differenza delle zone termiche, che devono essere definite in questa scheda, i locali verranno identificati nella scheda involucro e quindi associate alle relative zone termiche. Da questa scheda è possibile visualizzare il resoconto di UI, ZT e Locali e verificare le relazioni di appartenenza imposte su esse.

Poiché si opta per la modellazione grafica dell'involucro, le dimensioni geometriche di ZT e dei locali necessarie al calcolo verranno ricavate direttamente dall'input grafico.

Per ogni zona termica è possibile stabilire da questa scheda i profili d'uso, i servizi attivi e i parametri relativi alla illuminazione. In questa fase viene calcolato in automatico il fabbisogno di illuminazione a partire dalla morfologia degli spazi e della destinazione d'uso dell'edificio. Il programma calcola in automatico la potenza totale installata per illuminazione artificiale,  $W_n$  [W]: ovvero la potenza elettrica installata degli apparecchi luminosi secondo la formula:

$$W_n = w_n \times S_u$$

dove

$W_n$  è potenza installata per unità di superficie utile, che nel caso di edifici scolastici è fisato convenzionalmente a  $20 \text{ W/m}^2$ .

$S_u$  è la superficie utile del locale, considerato con caratteristiche illuminotecniche omogenee.

Rimanendo all'interno della scheda zone, selezionando singolarmente i locali è possibile definire le caratteristiche dei sistemi di ventilazione, scegliendo tra naturale e artificiale. In questa sezione è infine possibile definire il numero di persone presenti e il periodo di permanenza per il calcolo degli apporti gratuiti interni. In questa scheda è inoltre possibile definire il salto termico all'interno dell'edificio nei periodi di spegnimento dell'impianto (>12ore) e il relativo tempo di ripresa, dati con i quali il programma calcola in automatico il dispendio energetico per la riattivazione dell'impianto.

Nel caso in esame si tratta di un edificio pubblico di intera proprietà comunale, e quindi non vi sono distinzioni tra proprietà differenti per la contabilizzazione delle spese. Per facilitare la lettura dei risultati si è optato per individuare due unità immobiliari, corrispondenti ai due piani della scuola, sia per la modellazione dello stato di fatto che quella di progetto. I parametri relativi a temperature e umidità interne sono quelle prescritte da normativa per la tipologia edilizia considerata.

Poiché proponiamo in questa sede un importante cambiamento impiantistico dall'esistente allo stato di progetto, per quanto concerne la suddivisione in zone termiche è necessario illustrare separatamente le scelte compiute sulle due modellazioni.

### **Edificio stato di fatto:**

La ventilazione dell'edificio esistente è naturale, per cui non è necessario indicare ulteriori parametri; l'illuminazione è a led senza alcun sistema di controllo, e i vetri delle finestre sono singoli.

Edificio di progetto:

La ventilazione dell'edificio di progetto è di tipo meccanico controllato con recuperatori di calore. In questo caso è stato necessario specificare, per ogni locale e per ognuna delle tre "stagioni" considerate dal software (riscaldamento raffrescamento, ventilazione) le portate in ingresso, in uscita e i rendimenti dei macchinari scelti. Collocandoci in zona termica E, in base alle prescrizioni relative al periodo di accensione dell'impinto di riscaldamento riportate dalla normativa si ha:

- periodo di riscaldamento: dal 15 ottobre al 15 aprile
- periodo di raffrescamento: dal 1° giugno al 31 luglio
- periodo di ventilazione (definito dal programma come l'intervallo di tempo compreso tra le stagioni di riscaldamento e raffrescamento): dal 16 aprile al 31 maggio

Per l'impianto di VMC della nuova scuola si adottano recuperatori singoli per ogni ambiente precedentemente definito. Questo perché gli impalcati sono costituiti da elementi prefabbricati in calcestruzzo (coppelle) che sarebbe critico forare per realizzare un impianto integrato con UTA in copertura e sistema di distribuzione interno. La portata necessaria per ogni ambiente è stata calcolata secondo i criteri definiti da normativa e di conseguenza sono stati scelti gli apparecchi adatti a soddisfare tali portate. Per le aule si impiegheranno recuperatori tipo Vortice, con rendimenti pari al 90, 75 e 80% rispettivamente nelle stagioni di riscaldamento, raffrescamento e ventilazione.

L'illuminazione è a led ma di ultima generazione, con un UGR adatto alla destinazione d'uso e con sistemi di controllo con sensori di presenza. Come già descritto in precedenza, il nuovo serramento è dotato di triplo vetro con trattamento basso emissivo.

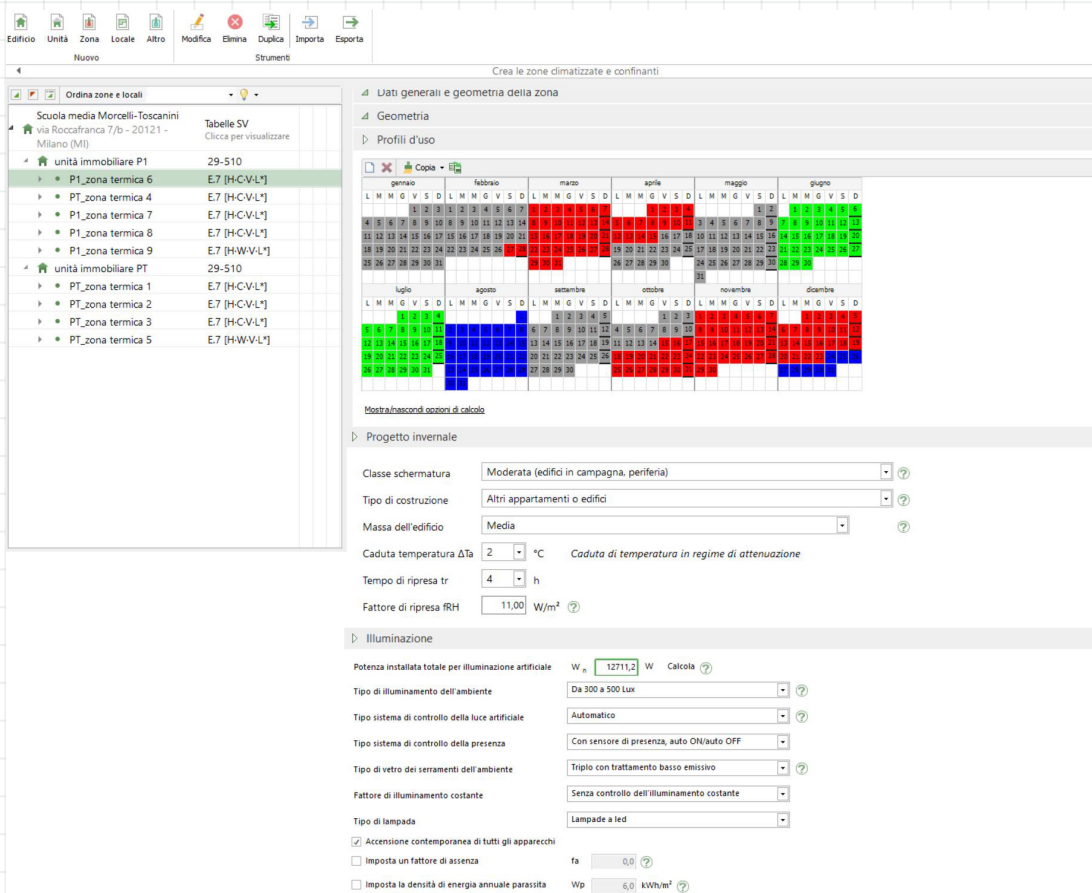


fig. 3 scheda zone - modellazione edificio di progetto

### 13.2.3 Scheda strutture

Nella seguente sezione è possibile modellare le stratigrafie che comporranno l'edificio, nonché definire i serramenti e disegnare i ponti termici presenti nell'involucro. Spieghiamo nel dettaglio di seguito come sono state realizzate tali modellazioni:

- stratigrafie: grazie al posizionamento di adduttanza interna ed esterna formulato dal programma si procede alla verifica dei requisiti prescritti dal DM 26.06.2015, quali trasmittanza termica, trasmittanza termica periodica, sfasamento, massa superficiale (per le pareti perimetrali), fattore di attenuazione e la presenza di muffa.

- serramenti: si definisce anzitutto il tipo di vetro e il tipo di serramento adottati, i parametri geometrici, i parametri termici e infine si associano i ponti termici in corrispondenza del suo perimetro

- ponti termici: è stato necessario modellare e verificare i ponti termici con l'applicativo FEM. A partire dai ponti termici preimpostati proposti dal programma è stato possibile modificare dimensioni e materiali impiegati. Prima di lanciare il calcolo per verificare l'efficienza della modellazione è necessario impostare le linee di calcolo per la valutazione della trasmittanza lineica del ponte termico, specificandone le relative lunghezze di calcolo.

Nella modellazione delle stratigrafie e di conseguenza dei ponti termici è possibile avvalersi di un ampio database di materiali messi a disposizione da Termolog. Qualora un materiale non si ritrovi della libreria è possibile inserirne uno da zero definendo i parametri necessari per il calcolo.

Struttura	Codice	Tipo	Verso	S	A	U/p	C	Uso	U	YIE	RRI	HT
<b>Pareti</b>												
4P_CV01_paret...	PAR001	Parete	Esterno	38.0	-	0.167	84.084	1.229.58	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6P_partizione s...	PAR63...	Parete	Interno	15.3	-	0.347	24.978	1.531.61	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7P_partizione a...	PAR63...	Parete	Interno	30.3	-	0.116	25.005	77.25	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8P_devisioio a...	PAR64...	Parete	Interno	5.0	-	0.458	0.000	743.71	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Pavimenti</b>												
1P_CO01_solaio...	PAV63...	Pavimento	Terreno	42.5	-	0.061	68.715	2.109.17	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5P_PO01_solaio...	PAV63...	Pavimento	Interno	66.5	-	0.053	68.715	1.548.06	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Soffitti</b>												
5P_PO01_solaio...	PAV63...	Soffitto Orizzontale	Interno	66.0	-	0.053	105.644	1.548.88	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Coperture</b>												
2P_CO02_solaio...	COP6...	Soffitto/Copertura	Esterno	90.8	-	0.036	6.428	1.648.35	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3P_CO03_solaio...	COP6...	Soffitto/Copertura	Esterno	88.7	-	0.037	3.596	-	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Vetri</b>												
Vetro 4-12-4-1...	VET64...	Vetro	Esterno	3.6	-	1.132	11.636	-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Vetro 4-12-4-1...	VET64...	Vetro	Esterno	3.6	-	0.862	11.012	-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Serramenti</b>												
facciata continu...	SER001	Tripla vetro BE	Esterno	-	28.22	0.716	-	112.90	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
finestra 1.6x1.5m	SER001	Tripla vetro BE	Esterno	-	2.40	0.827	-	2.40	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
finestra 3.1x1.5m	SER001	Tripla vetro BE	Esterno	-	4.65	0.863	-	9.30	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
finestra 3.8x1.5m	SER001	Tripla vetro BE	Esterno	-	5.70	0.839	-	5.70	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
finestra 4.1x1.5m	SER001	Tripla vetro BE	Esterno	-	6.15	0.831	-	12.30	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

fig. 4 scheda strutture- modellazione edificio di progetto

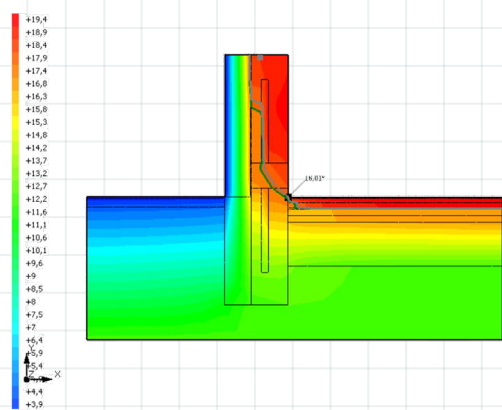


fig. 5 ponte termico di progetto parete-solaio controterra

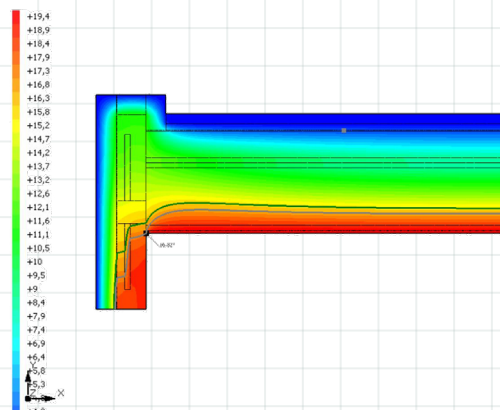


fig. 6 ponte termico di progetto parete-solaio copertura

## 13.2.4 Scheda involucro

In questa scheda si procede alla modellazione vera e propria dell'edificio. La barra delle icone contiene tutti gli strumenti di modellazione, ovvero gli elementi e componenti tecnologici modellati nella scheda strutture e che andranno a comporre il modello dell'involucro.

Realizzare il modello è un'operazione piuttosto semplice in quanto i comandi sono piuttosto intuitivi e richiede sommariamente le seguenti fasi operative:

- anzitutto occorre creare i livelli di progetto in modo che il software possa in seguito associare gli elementi modellati al piano corretto
- si procede poi alla modellazione vera e propria: sia per i componenti d'involucro che per i serramenti verrà chiesto di definire il verso di dispersione in modo da simulare correttamente il comportamento dell'edificio. E' bene sottolineare come il software permette la realizzazione di ombreggiamenti, sia sotto forma di volumi (in modo da simulare gli edifici del contesto) sia delle superfici. In questo modo è possibile tenere in considerazione la presenza di eventuali ostruzioni presenti nell'immediato intorno che possono influenzare il comportamento dell'edificio in esame. Per facilitare la fase di modellazione è possibile usare una vista 3d per una visione d'insieme del modello. Inoltre, la possibilità di interfacciarsi con Autocad e Revit, ci permette di importare nell'input grafico le piante di progetto direttamente al livello desiderato, e quindi semplificando di molto la fase di modellazione.
- una volta definito l'involucro edilizio è necessario associare ad esso i ponti termici modellati in precedenza, avendo cura di posizzarli alla quota corretta.

- per completare questa fase è necessario individuare i locali interni: l'applicativo mette a disposizione una opzione molto utile che riconosce un locale a partire da un punto interno.

Grazie a queste opzioni automatiche il programma procede alla compilazione dei dati geometrici degli ambienti, da cui deduce i coefficienti necessari al calcolo del comportamento energetico dell'edificio stesso.

Nella scheda involucro è possibile, inoltre, calcolare già alcuni parametri di verifica quali H'T, FLDm, RAI, nonché eseguire il calcolo del fabbisogno di energia termica per il riscaldamento e il raffrescamento, secondo la normativa UNI/TS 13100-1. Durante la fase di modellazione si può ricorrere all'opzione "analizza", con cui il programma esegue un'analisi preventiva per verificare che non vi siano elementi non associati a locali o altri errori, così da poterli correggere preliminarmente

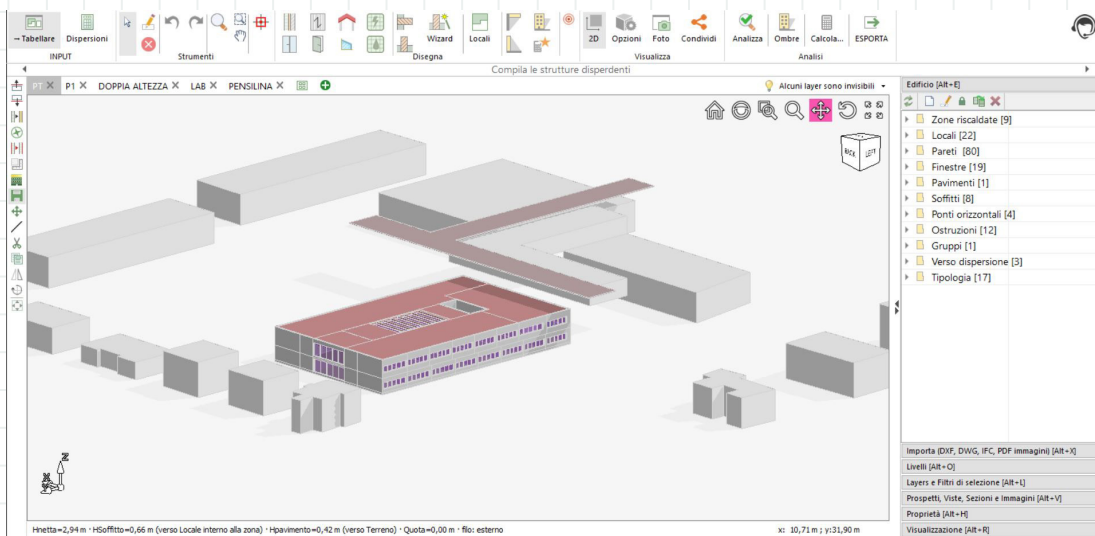


fig. 7 scheda involucro- modellazione edificio di progetto

### 13.2.5 Schede climatizzazione invernale/estiva/ACS

Conclusa la parte di modellazione dell'edificio, che resta modificabile anche in un secondo momento, si passa alla progettazione del sistema impiantistico delle varie zone. Selezionando l'opzione "nuovo" dalla scheda "climatizzazione invernale" compare una finestra di dialogo che permette di creare un nuovo impianto, definendone le principali caratteristiche utili alla diagnosi energetica.

Grazie al wizard fornito dal programma è quindi possibile generare ed assegnare impianti di riscaldamento/raffrescamento alle varie zone tramite la definizione di alcune semplici caratteristiche richieste dal software. Con la procedura guidata infatti verrà chiesto, per ogni sistema impiantistico (H+C+W) di scegliere una tipologia di terminale e associare un generatore.

Una volta impostati i sistemi impiantistici per ogni zona termica è necessario definire più nel dettaglio il sistema di emissione e di regolazione, compilando gli appositi campi in merito a potenze e rendimenti. Da questa schermata è possibile attribuire al sistema impiantistico selezionato un ordine di priorità rispetto agli altri SI presenti. Si specifica infine che i rendimenti da inserire di volta in volta per i sottosistemi di emissione e regolazione sono quelli reperiti dalla norma UNITS11300-2/3.

Data la differenza sostanziale dei sistemi impiantistici tra le condizioni dello stato di fatto e di progetto, si procede ad illustrarli separatamente.

#### **Edificio stato di fatto:**

Dalla documentazione fotografica fornita dal Comune di Chiari si evince che il riscaldamento dell'edificio scolastico nello stato di fatto è composto da un sistema idronico con radiatori in ghisa posti sulle pareti interne. Si tratta di un sistema impiantistico che funziona ad alta temperatura, motivo per cui risulta particolarmente energivoro. Per quanto riguarda la produzione di ACS l'APE di cui disponiamo indica una generazione separata con un apposito generatore a gas ad accumulo per la sola produzione di acqua calda sanitaria.

#### **Edificio di progetto:**

Per la "nuova" scuola Morcelli-Toscanini si prevede una sostituzione integrale dell'impianto esistente a favore di un sistema impiantistico idronico a bassa inerzia, che quindi permette l'utilizzo di acqua a temperature nettamente inferiori rispetto a quelle richieste dal sistema precedente. La scelta è ricaduta su pannelli radianti a pavimento in quanto, oltre a ridurre nettamente i consumi dovuti al suo funzionamento, garantisce parallelamente l'uniformità di riscaldamento/raffrescamento, e quindi un alto grado di confort interno. In merito ai terminali si specifica che, al fine di ridurre il più possibile lo spessore della stratigrafia complessiva, è stato adottato un sistema costituito da pannelli in EPS preaccoppiato con uno strato termodiffusore in alluminio con scanalature atte all'alloggiamento della tubazione e una lastra sintetica molto sottile (4mm) che funge da ripartitore dei carichi. Tale sistema è reversibile in quanto può essere utilizzato sia per il riscaldamento invernale che per il raffrescamento estivo. Per l'acqua calda sanitaria si considera un sistema integrato, che sfrutta gli stessi generatori degli impianti di riscaldamento e raffrescamento.

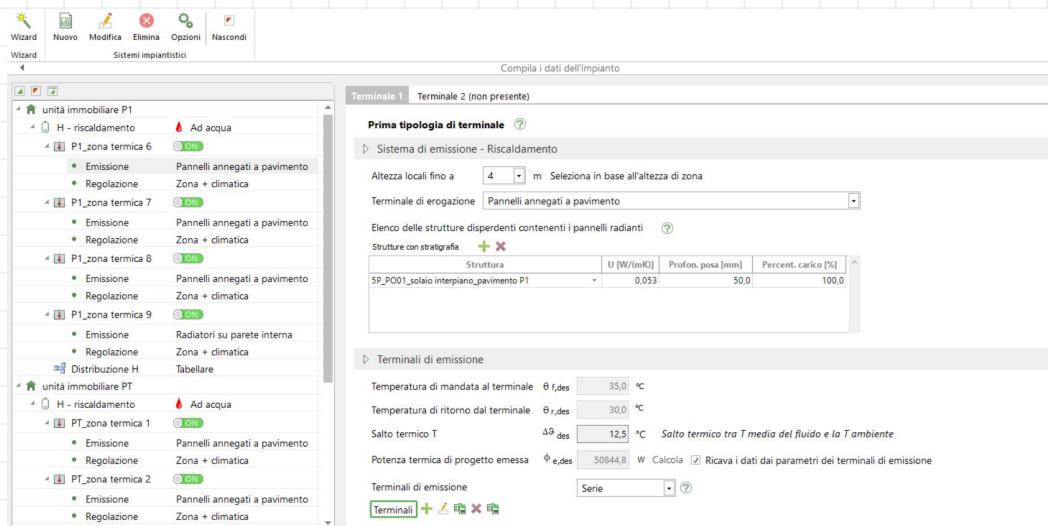


fig. 8 scheda climatizzazione invernale- modellazione edificio di progetto

## 13.2.5 Scheda generatori

In quest'ultima scheda di modellazione degli impianti è possibile scegliere i generatori da associare all'impianto per la climatizzazione invernale, estiva e per la produzione di acqua calda sanitaria. Da questa scheda si ha una panoramica complessiva del sistema impiantistico impostato fin ora, e offre numerose opzioni per la composizione della centrale termica di generazione. Infatti dalla barra delle icone in alto è possibile inserire un nuovo generatore, un serbatoio di accumulo, un sistema solare (termico o fotovoltaico) o una UTA. Il programma fornisce una vasta gamma di prodotti ma è comunque possibile cambiare i parametri delle macchine scelte dalla relativa scheda. In fase di inserimento, per ogni generatore viene richiesto di specificare il servizio impiantistico a cui è collegato e, in caso di sistema ibrido, viene richiesto di inserire la caldaia di backup che entra in funzione quando viene superata la temperatura di cut-off.

I fattori di conversione sono direttamente forniti dal software, che si basa sulla UNI TS 11300-2 e che in automatico calcola il fabbisogno di energia primaria per ogni vettore energetico modellato.

### Edificio stato di fatto:

Per l'edificio esistente, sulla base dell'APE reperito, è stato modellato un sistema di generazione con caldaie a condensazione e pompe di calore per il sistema di raffreddamento della sola porzione destinata al personale docente. Non essendo riportata nel suddetto documento, non è stata modellata l'UTA presente sulla copertura che si ipotizza sia impiegata per la ventilazione del teatrino. Le macchine previste sono collocate nella centrale termica esistente, posizionata di fronte alla scuola.

### Edificio di progetto:

Anche il sistema di generazione ha subito una variazione: si ipotizza un sistema ibrido con pompe di calore reversibili con caldaie di backup collegato al sistema idronico creato in precedenza. La novità sta nell'implementazione del sistema con un impianto solare in copertura che, come richiesto da normativa, permette di soddisfare una parte dei fabbisogni con energia rinnovabile.

Da normativa (DM26.06.2015) "è consentito tenere conto dell'energia da fonte rinnovabile o da cogenerazione prodotta nell'ambito del confine del sistema (in situ) solo per contribuire ai fabbisogni del medesimo vettore energetico (elettricità con elettricità, energia termica con energia termica)". Per questo



motivo si è pensato di adottare un sistema misto: un sistema solare termico per i fabbisogni di acqua calda sanitaria il per l'impianto di riscaldamento radiante a pavimento; un impianto solare fotovoltaico per rispondere ai fabbisogni di energia elettrica per l'illuminazione e per il funzionamento dei recuperatori di calore. (e, in piccola parte, per gli ausiliari delle macchine frigorifere e le caldaie).

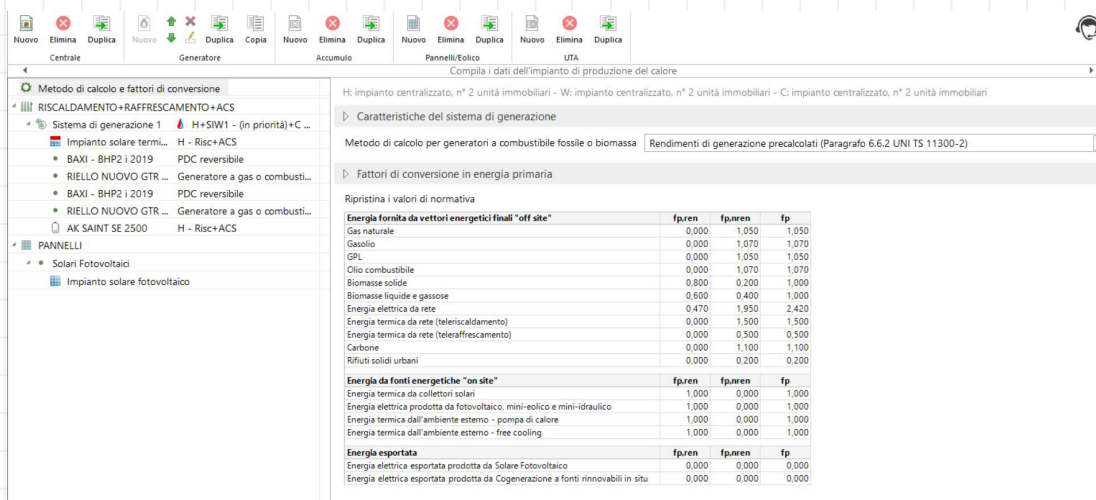


fig. 9 scheda generatori- modellazione edificio di progetto

### 13.2.6 Scheda "calcolo e diagnosi"

Conclusa la parte di modellazione dell'involucro e degli impianti si può finalmente procedere con il calcolo del fabbisogno energetico dell'edificio. Qualora il programma riscontri delle anomalie nella modellazione dell'involucro o degli impianti, in questa scheda queste vengono segnalate e descritte, così da poterle individuare facilmente e correggere.

Oltre al calcolo del fabbisogno totale e della classe energetica, è possibile prendere visione dei contributi suddivisi per vettore energetico: ciò risulta particolarmente utile per avere consapevolezza dell'efficienza del sistema edificio-impianto modellato, prendendo visione altresì degli aspetti in cui siano necessarie delle modifiche.

Il programma prevede altresì due funzioni aggiuntive, anch'esse utili per una valutazione complessiva di quanto modellato:

1. il calcolo dinamico orario: il programma determina la temperatura interna dell'edificio, la potenza di lavoro degli impianti e il consumo di energia per ogni ora del giorno. Questa opzione è utile per valutare il livello di confort interno (in base alla temperatura interna presente), e verificare il dimensionamento dell'impianto presente (in base alla potenza a cui lavorano). Un funzionamento ottimale degli impianti si ottiene quando essi lavorano tra il 50% e il 75% della loro potenza massima; in base a questa informazione è possibile scegliere il generatore con la potenza più adeguata.
2. le verifiche NZeb: il programma esegue in automatico tutte le verifiche spiegate in precedenza, evidenziando sia il valore di progetto, sia il valore dell'edificio di riferimento.

#### Edificio stato di fatto:

I valori di fabbisogno mettono in luce come la principale fonte di consumo sia l'impianto di riscaldamento: questo dato è facilmente prevedibile in quanto un sistema ad alta temperatura come quello presente nell'edificio allo stato di fatto provoca un elevato consumo di energia. Dallo specchio inerente i

fabbisogni di energia primaria si evince come, non essendo presente un impianto che preveda l'utilizzo di fonti rinnovabili, l'intero fabbisogno ricada su fonti non rinnovabili, con evidenti conseguenze sulla classe energetica.

#### Fabbisogni di energia termica utile

	EPH,nd	163,82 kWh/m <sup>2</sup>	Durata	183 giorni
	EPC,nd	20,23 kWh/m <sup>2</sup>	Durata	133 giorni
	EPW,nd	0,10 kWh/m <sup>2</sup>		
	EPL,nd	45,70 kWh/m <sup>2</sup>		
	EPT,nd	0,78 kWh/m <sup>2</sup>		

tab. 3 scheda confronta - fabbisogno di energia termica utile- modellazione edificio stato di fatto

#### Fabbisogni di energia primaria

	EPH,ren	0,00 kWh/m <sup>2</sup>	EPH,nren	219,82 kWh/m <sup>2</sup>	EPH,tot	219,82 kWh/m <sup>2</sup>	ηH	0,745
	EPC,ren	0,00 kWh/m <sup>2</sup>	EPC,nren	6,02 kWh/m <sup>2</sup>	EPC,tot	6,02 kWh/m <sup>2</sup>	ηC	1,552
	EPW,ren	0,00 kWh/m <sup>2</sup>	EPW,nren	5,79 kWh/m <sup>2</sup>	EPW,tot	5,79 kWh/m <sup>2</sup>	ηW	0,017
	EPL,ren	0,00 kWh/m <sup>2</sup>	EPL,nren	99,63 kWh/m <sup>2</sup>	EPL,tot	99,63 kWh/m <sup>2</sup>	ηL	0,459
	EPT,ren	0,00 kWh/m <sup>2</sup>	EPT,nren	1,70 kWh/m <sup>2</sup>	EPT,tot	1,70 kWh/m <sup>2</sup>	ηT	0,459
	EPgl,ren	0,00 kWh/m <sup>2</sup>	EPgl,nren	332,95 kWh/m <sup>2</sup>	EPgl,tot	332,95 kWh/m <sup>2</sup>		

tab. 4 scheda confronta - fabbisogno di energia primaria- modellazione edificio stato di fatto

#### Edificio di progetto:

Gli indici di fabbisogno fanno emergere una grande differenza con i valori appena analizzati: in questo caso le voci che causano il maggiore consumo sono il raffrescamento e l'impianto di VMC. Una buona quota del fabbisogno è coperto dal sistema con pannelli solari e fotovoltaici, che causa una riduzione marcata dei fabbisogni di energia primaria non rinnovabile.

#### Fabbisogni di energia termica utile

	EPH,nd	5,30 kWh/m <sup>2</sup>	Durata	145 giorni
	EPC,nd	163,14 kWh/m <sup>2</sup>	Durata	220 giorni
	EPW,nd	0,34 kWh/m <sup>2</sup>		
	EPV,nd	130,62 kWh/m <sup>2</sup>		
	EPL,nd	42,07 kWh/m <sup>2</sup>		
	EPT,nd	0,70 kWh/m <sup>2</sup>		

tab. 5 scheda confronta - fabbisogno di energia termica utile- modellazione edificio progetto

#### Fabbisogni di energia primaria

	EPH,ren	6,03 kWh/m <sup>2</sup>	EPH,nren	1,66 kWh/m <sup>2</sup>	EPH,tot	7,69 kWh/m <sup>2</sup>	ηH	10,243
	EPC,ren	16,52 kWh/m <sup>2</sup>	EPC,nren	2,15 kWh/m <sup>2</sup>	EPC,tot	18,67 kWh/m <sup>2</sup>	ηC	0,989
	EPW,ren	0,63 kWh/m <sup>2</sup>	EPW,nren	0,05 kWh/m <sup>2</sup>	EPW,tot	0,68 kWh/m <sup>2</sup>	ηW	0,507
	EPV,ren	115,06 kWh/m <sup>2</sup>	EPV,nren	57,22 kWh/m <sup>2</sup>	EPV,tot	172,29 kWh/m <sup>2</sup>	ηV	0,758
	EPL,ren	32,61 kWh/m <sup>2</sup>	EPL,nren	16,22 kWh/m <sup>2</sup>	EPL,tot	48,83 kWh/m <sup>2</sup>	ηL	0,862
	EPT,ren	0,61 kWh/m <sup>2</sup>	EPT,nren	0,31 kWh/m <sup>2</sup>	EPT,tot	0,92 kWh/m <sup>2</sup>	ηT	0,758
	EPgl,ren	171,47 kWh/m <sup>2</sup>	EPgl,nren	77,62 kWh/m <sup>2</sup>	EPgl,tot	249,08 kWh/m <sup>2</sup>		

tab. 6 scheda confronta - fabbisogno di energia primaria- modellazione edificio progetto

## 13.3 Confronto dei risultati ottenuti

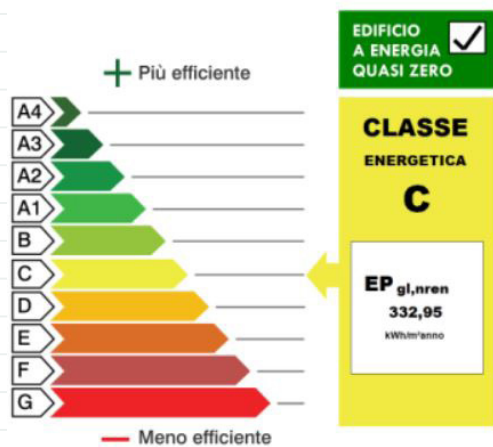


fig. 10 targa energetica edificio stato di fatto



fig. 11 targa energetica edificio di progetto

### 13.3.1 Calcolo dinamico orario

Come già accennato nel paragrafo precedente, dal confronto dei risultati ottenuti si evince non solo una riduzione del fabbisogno di energia primaria tra l'edificio allo stato di fatto e quello di progetto, ma anche un diverso comportamento del sistema edificio-impianto.

Come si evince dal grafico della simulazione in free floating, l'edificio allo stato di fatto disperde gran parte del calore interno, motivo per cui nei mesi invernali, nel caso di edificio senza impianto, si registrano temperature interne che scendono fino a 4°C. Ciò si deve alle scarse prestazioni termiche del pacchetto di tamponamento di facciata e del serramento. Sulla base di queste considerazioni si evince che non è un edificio in cui è possibile un utilizzo senza impianto.

Nelle condizioni di progetto, con involucro opaco e trasparente performante, il problema di confort interno può risultare opposto, ovvero un'eccedenza di calore interno dovuto agli apporti gratuiti solari ed interni, che deve quindi essere gestito con un impianto performante. E' probabile che ciò sia in gran parte dovuto alla mancanza di schermature solari esterne: come già descritto nel capitolo architettonico, non è stato possibile dotare le pareti di appositi sistemi schermanti perché le simulazioni compiute mostravano un netto peggioramento delle condizioni illuminotecniche interne, già non ottimali.

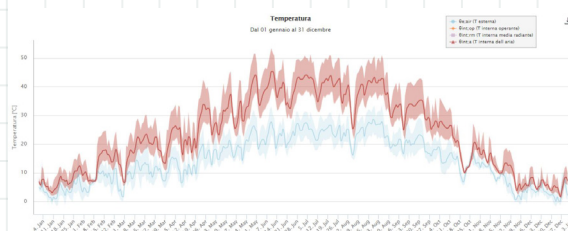


fig. 12 calcolo dinamico orario - free floating - stato di fatto

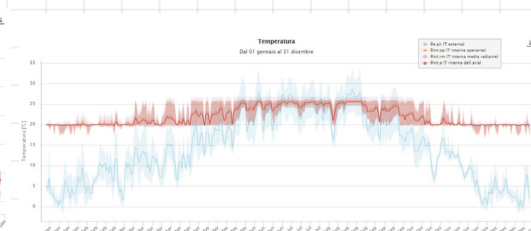


fig. 13 calcolo dinamico orario- profilo ideale - stato di progetto

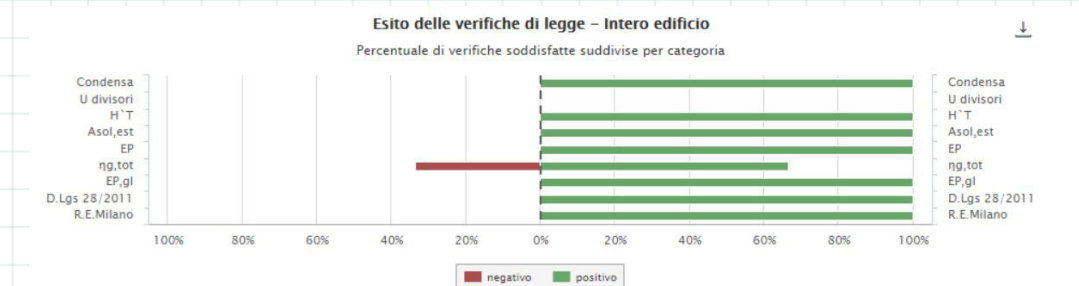
Un'ulteriore considerazione per comprendere appieno i valori ottenuti è in merito alla variazione della fascia oraria di utilizzo degli ambienti: la scuola di progetto, facendo parte del nuovo civic center, non verrà più utilizzata solo alla mattina in orario scolastico, bensì rimarrà aperta fino alle 19, 6/7 anche nei mesi estivi (ad esclusione del mese di agosto). Il cambiamento dei profili d'uso tra la modellazione dell'edificio allo stato di fatto e quello di progetto influisce nel calcolo dei fabbisogni soprattutto estivi, quando il canonico utilizzo scolastico è terminato.

Siamo consapevoli che, per un risultato ottimale, il sistema impiantistico debba essere ulteriormente ottimizzato, ma ciò necessiterebbe di esperienza nel settore che ad oggi non riteniamo avere, motivo per cui in questa trattazione ci si limita a questo risultato.

### 13.3.2 Verifiche Nzeb

Come si evince dalle tabelle di seguito riportate, le verifiche sui componenti d'involucro sono completamente soddisfatte.

Implementando l'impianto solare è stato poi possibile verificare anche i parametri sui fabbisogni di energia primaria. Per quanto riguarda gli impianti, dalla simulazione risulta che, salvo l'impianto di acqua calda sanitaria, i sistemi impiantistici proposti soddisfano il valore minimo di efficienza (calcolato con le prescrizioni della UNI/TS 11300). Quest'ultimo dovrà essere ottimizzato per far sì che l'edificio possa essere effettivamente classificato come Nzeb.



tab.6 schema riassuntivo degli esiti delle verifiche di legge

COEFFICIENTE MEDIO GLOBALE DI SCAMBIO TERMICO PER TRASMISSIONE PER UNITÀ DI SUPERFICIE DISPERDENTE				
	Valore	Limite	Um	Verificato
H'T unità immobiliare P1	0,141	0,750	W/m²K	SI
H'T unità immobiliare PT	0,190	0,750	W/m²K	SI
H'T edificio intero	0,168	0,750	W/m²K	SI

AREA SOLARE EQUIVALENTE ESTIVA PER UNITÀ DI SUPERFICIE UTILE				
	Valore	Limite	Um	Verificato
Asol,est/Asup utile unità immobiliare P1	0,027	0,040	-	SI
Asol,est/Asup utile unità immobiliare PT	0,038	0,040	-	SI
Asol,est/Asup utile edificio intero	0,033	0,040	-	SI

EFFICIENZA MEDIA STAGIONALE				
	Valore	Limite	Um	Verificato
ng,H,tot - Efficienza media stagionale dell'impianto di climatizzazione invernale	10,243	3,818	-	SI
ng,W,tot - Efficienza media stagionale dell'impianto di produzione di ACS	0,507	1,096	-	NO
ng,C,tot - Efficienza media stagionale dell'impianto di climatizzazione estiva	0,989	0,243	-	SI

tab. 7 verifiche H'T, Asol,st/Asup, efficienza degli impianti



# 14

## Il progetto ergotecnico

14.1 Il processo produttivo del pannello CASA

14.2 L'organizzazione di cantiere

14.3 Le fasi di fissaggio del pannello CASA

14.4 Dimensionamento degli ancoraggi del pannello CASA

14.5 Conclusioni sul pannello CASA

14.6 Reiterabilità dell'approccio



## Il processo produttivo del pannello CASA 14.1

Il processo produttivo che si illustra di seguito è frutto di un'analisi approfondita delle attuali tecniche di produzione di pannelli sandwich assimilabili. Appartenendo alla medesima categoria di materiali, si ipotizza infatti che la materia prima adottata, il NeoporBMBcert, possa essere lavorata esattamente come le corrispettive perle in polistirene sinterizzato,

Per indagare maggiormente le fasi di trasformazione del materiale isolante, siamo entrati in contatto con AIPE, l'associazione italiana che raggruppa i produttori di macchine che trasformano, stampano e riciclano l'EPS. Un tecnico di AIPE, oltre ad illustrare nel dettaglio le trasformazioni che subisce il materiale, ci ha fornito consigli preziosi in merito a come organizzare la linea di produzione del pannello CASA, e in genere un ipotetico stabilimento.

Si descrivono in seguito le fasi di produzione necessarie per la produzione in serie del pannello CASA. Così come per molti altri pannelli sandwich, si prevede una linea di produzione in continuo, in cui la materia prima viene processata fino al completamento dell'elemento finito tramite un sistema automatico su rullo. Il processo proposto prevede l'impiego di macchinari già impiegati per la lavorazione dell'EPS e nell'industria della produzione dei pannelli sandwich.

Si precisa che, essendo un materiale potenzialmente combustibile, lo stabilimento di produzione, i magazzini e gli ambienti di lavoro dovranno pertanto essere sufficientemente areati, in modo da evitare la formazione di miscele infiammabili aria-espandente

### 14.1.1 Fase 1- lavorazione della materia prima

Questa prima fase, che prende avvio dal materiale sfuso non espanso, prevede tre processi: pre-espansione, maturazione, sinterizzazione. Per questa prima fase verrà adottata una linea di formatura con processo continuo. In questa modalità le tre fasi avvengono in continuo nel volume delimitato superiormente ed inferiormente da nastri in movimento e lateralmente dalla struttura della macchina. Oltre a conferire un'elevata omogeneità del prodotto, questa tecnologia permette un ciclo di produzione molto veloce e consente un utilizzo efficiente degli spazi di produzione.

#### 14.1.1.1 Pre-espansione:

Con questo termine si intende il rammollimento delle particelle di materia prima sotto l'azione del calore e la loro contemporanea espansione per effetto della dilatazione dell'espandente, che genera una pressione. Le perle, a seguito della vaporizzazione dell'agente espandente, si rigonfiano fino a 50 volte il loro volume iniziale.

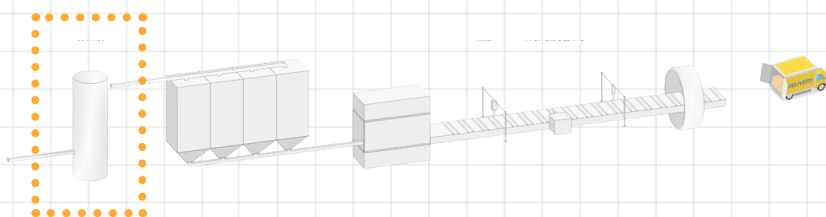


fig. 1. pre espansore e individuazione della fase nello schema del processo produttivo



Questo processo viene realizzato con l'aiuto di vapore acqueo quale fonte termica, con temperatura da 80 a 110°C. In questo processo si forma all'interno delle perle una struttura a celle chiuse fondamentale per il successivo impiego come isolamento termico. Il grado di espansione, che dipende essenzialmente dalla durata del trattamento termico nel pre-espansore, determina la massa volumica apparente dei manufatti. Per gli elementi preformati la massa volumica si attesta normalmente tra i 18 e i 30Kg/m<sup>3</sup>: all'interno di questo range si potrà quindi ottenere la densità desiderata semplicemente gestendo la durata di pre-espansione.

#### 14.1.1.2 Stagionatura

Le perle pre-espansive devono stazionare un certo tempo in silos arieggiati al fine di stabilizzare le particelle espanse, che risultano essere ancora meccanicamente instabili. All'uscita dal pre-espansore, infatti, inizia immediatamente il raffreddamento della struttura espansa: residui di espandente e vapore acqueo diffuso nella struttura espansa condensano dando origine ad una sottopressione all'interno delle celle. Ecco perché le particelle espanse appena prodotte risultano meccanicamente instabili e quindi necessitano di questa fase di maturazione. Per evitare compressioni indesiderate è inoltre importante prestare attenzione al trasporto dal pre-espansore al silos, che infatti deve avvenire preferibilmente con compressori o iniettori a pompa. (NOTA: riferimento al documento "produrre l'EPS", AIPE, p.12)

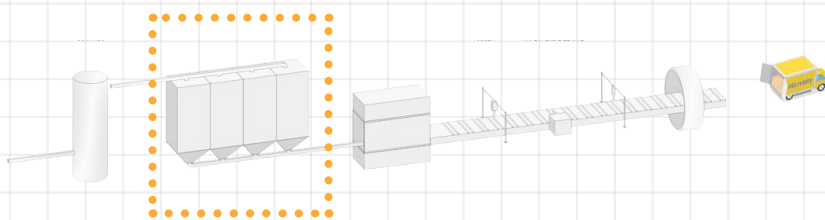


fig. 2 silos di espansione e individuazione della fase nello schema del processo produttivo

#### 1.3 Sinterizzazione (stampaggio)

In questa fase le perle sfuse vengono trasformate in blocchi o preformati. Per una seconda volta il materiale sfuso, questa volta sferico, viene invaso da un flusso di calore, che provoca il rammollimento della struttura del polimero ed aumenta contemporaneamente la pressione del vapore dell'espandente residuo. Ciò che avviene delle perle è un processo di transizione vetrosa, che ne provoca un'ulteriore espansione. Questa volta però l'espansione avviene all'interno di macchinari (blocchiere o presse da stampaggio) le cui pareti, pur lasciando filtrare il gas, sono stabili e quindi lasciano a disposizione delle perle unicamente il volume libero tra le sfere di materiale pre-espanso. Avviene quindi la sinterizzazione: le perle, aderendo tra loro, colmano tali vuoti, dando così origine a blocchi o preformati dalla struttura poliedrica.

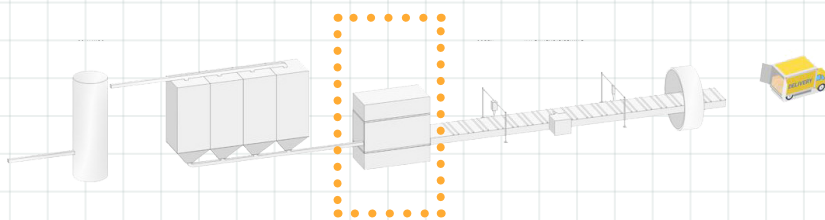


fig. 3 pressa di stampaggio e individuazione della fase nello schema del processo produttivo

Gli elementi in materiale espanso di formato diverso dalla sezione rettangolare vengono prodotti nelle presse da stampaggio. Queste si compongono di una intelaiatura fissa, nella quale sono disposte due camere di vapore. Una di queste camere di vapore è fissata al telaio, l'altra invece può essere spostata con un comando idraulico, facendola scorrere in direzione verticale od orizzontale su 2/4 traverse. Gli stampi, una volta chiusi, vengono riempiti di perle sfuse mediante iniettori ad aria compressa, sistemi a compressione o con l'aiuto del vuoto. Il Ciclo di lavoro di una pressa da stampaggio prevede anzitutto la chiusura dello stampo, il riempimento del volume dello stampo con perle sfuse e l'aspirazione (ed espulsione) dell'aria dalle camere di vapore. A questo punto è possibile aumentare la pressione nelle camere di vapore, e mantenere tale pressione per un periodo di tempo regolabile. Terminata questa fase, viene ridotta la pressione in più step, e infine viene immessa dell'aria nelle camere di vapore. Il pezzo stampato è pronto: si provvede a distaccarlo dalle pareti delle camere di vapore mediante impulsi d'aria compressa; quindi, lo stampo può essere aperto per estrarre il prodotto preformato.

### 14.1.2 Fase 2- accoppiamento con le facce

Come per tutti gli altri pannelli sandwich assimilabili, una volta prodotto il core in NeoporBMCert, questo dev'essere assemblato con le facce, che in questo caso sono i pannelli multistrato di compensato marino individuati in precedenza. Questi elementi saranno già provvisti delle pezze di feltro in corrispondenza dei fissaggi che, come già verificato, evitano il contatto diretto con il pannello in calccestruzzo. L'accoppiamento avverrà tramite incollaggio con adesivo poliuretano bicomponente (tipo Protopur 350/2C), applicata a spruzzo mediante spruzzatrice montata su carrozzone a cavallo. Una soluzione alternativa, non verificata e quindi non perseguita in questa sede, è quella di posizionare le "facce" direttamente nella pressa di stampaggio, demandando alla fase di sinterizzazione l'onere di accoppiarle con il core (che permetterebbe di evitare l'utilizzo di colle non sostenibili) Nell'ultima fase di espansione quindi, oltre a riempire tutti i vuoti rimasti, le perle di salderebbero sia tra loro che con il pannello ligneo, ma questa opzione dev'essere verificata con test sulla compatibilità dei due materiali.

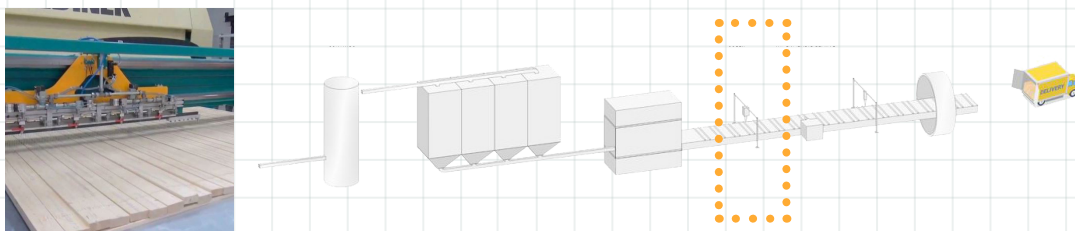


fig. 4 spruzzatrice a ponte e individuazione della fase nello schema del processo produttivo

### 14.1.3 Fase 3- impermeabilizzazione

Si ritiene che, data l'esposizione agli agenti atmosferici, alcune facce del pannello debbano essere protette. Questa fase si discosta dal processo produttivo tradizionale ma verrà realizzata in modo molto semplice: verrà predisposta una spruzzatrice con braccio meccanico a fianco della linea di movimentazione, che provvederà ad impermeabilizzare laddove necessario. Le superfici che subiranno questo trattamento sono quelle laterali battentate, in cui la maschiatura non impedisce completamente l'ipotesi di infiltrazioni, e quella inferiore.

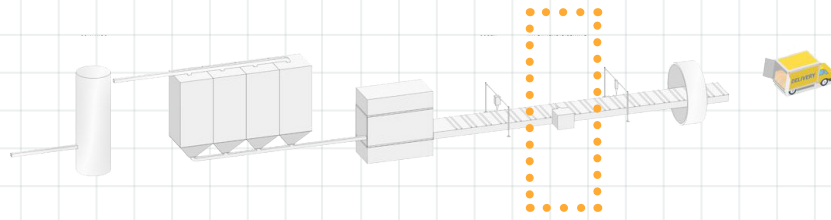
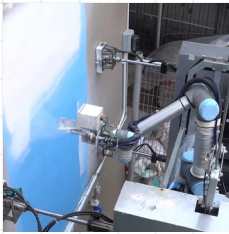


fig. 5 spruzzatrice a braccio meccanico e individuazione della fase nello schema del processo produttivo

#### 14.1.4 Fase 4- foratura

Si provvede a forare il pannello nelle posizioni desiderate, utilizzando una foratrice montata su di un carro ponte a cavallo con la linea di movimentazione. Utilizzando questo meccanismo il sistema può essere completamente automatizzato, in quanto la punta scenderà solo quando il pannello sarà arrivato in posizione, garantendo una precisione ottimale del prodotto finito.

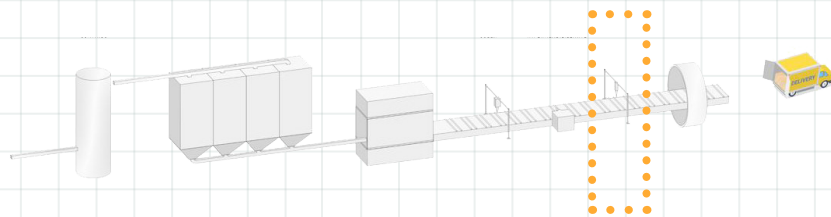


fig. 6 foratrice a ponte e individuazione della fase nello schema del processo produttivo

#### 14.1.5 Fase 5- confezionamento

Una volta concluso il vero e proprio processo produttivo, i pannelli devono essere confezionati prima di essere caricati per il loro trasporto dallo stabilimento al cantiere.

L'imballo dei pacchi di pannelli avverrà mediante il posizionamento preliminarmente listelli in polistirene sotto alla pila di pannelli, e successivo avvolgimento con stretch film. Questa soluzione è particolarmente vantaggiosa in quanto i listelli in polistirolo, rimanendo sempre asciutti, garantiscono che non si generi umidità che possa danneggiare i pannelli. Inoltre l'avvolgimento con stretch film non danneggia il listello in polistirene, per cui non servono altri accessori di protezione.

Infine l'avvolgimento con stretch film, oltre a proteggere, garantisce anche un ottimo contenimento del pacco durante le fasi di carico, trasporto e scarico dei pacchi.

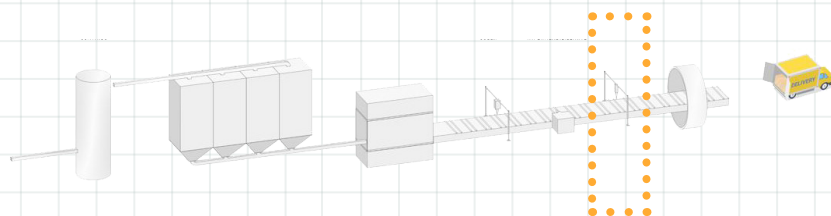


fig. 7 imballatrice e individuazione della fase nello schema del processo produttivo

I pacchi così realizzati vengono quindi caricati su idonei mezzi e trasportati dallo stabilimento al cantiere. Per i pannelli da impiegare sui prospetti est,-ovest, avendo dimensioni ridotte, saranno sufficienti autocarri a due assi; per i pannelli dei prospetti nord-sud, che superano la lunghezza di 7 metri, si dovranno impiegare autocarri a tre assi.

## L'organizzazione di cantiere 14.2

### 14.2.1 Allestimento di cantiere

In questa fase provvediamo ad analizzare l'allestimento di cantiere relativo al solo intervento di ristrutturazione dell'attuale scuola Toscanini. Si ipotizza infatti che l'edificazione del civic center possa avvenire in una fase successiva, che non verrà trattata in questa sede. L'accesso all'area di cantiere avverrà da via Roccafranca, dove verranno predisposti un cancello carrabile e uno pedonale. Come si può notare dalla tavola, è stata studiata una movimentazione dei mezzi di cantiere che tenga conto della presenza dei volumi da demolire, ovvero la centrale termica e gli spogliatoi, ma che permetta allo stesso tempo il raggiungimento di tutti i punti dell'edificio scolastico.

Per consentire una totale fruibilità dell'area sono state previsti i baraccamenti necessari a garantire i principali servizi agli operatori. Un prefabbricato è dedicato all'ufficio tecnico di direzione Lavori e al servizio di infermeria; in un secondo prefabbricato trovano invece spazio le docce e gli spogliatoi dei lavoratori. Infine, un prefabbricato è destinato allo stoccaggio dei materiali, principalmente destinato ai pannelli prefabbricati CASA. Per questi ultimi è da evitare la gestazione per lunghi periodi, studiando le tempistiche per il fissaggio dei pannelli e gestendo di conseguenza le tempistiche di trasporto. Si prevedono inoltre due cassoni per i rifiuti di cantiere, posizionati strategicamente in corrispondenza del fronte est dell'edificio.

Per la movimentazione dei materiali, dei serramenti e dei pannelli CASA è prevista l'installazione di una gru a torre con capacità di carico in punta di 1400 kg, uno sbraccio di 40 m e una altezza di 30 m. Tale scelta è stata presa considerando che tale strumentazione venga impiegata, previo spostamento in una posizione più sud del lotto, anche nella seconda fase per l'edificazione del civic center. Si prevede infine il posizionamento di un ponteggio auto sollevante elettrico per permettere le fasi di fissaggio dei pannelli alle diverse quote dell'edificio.

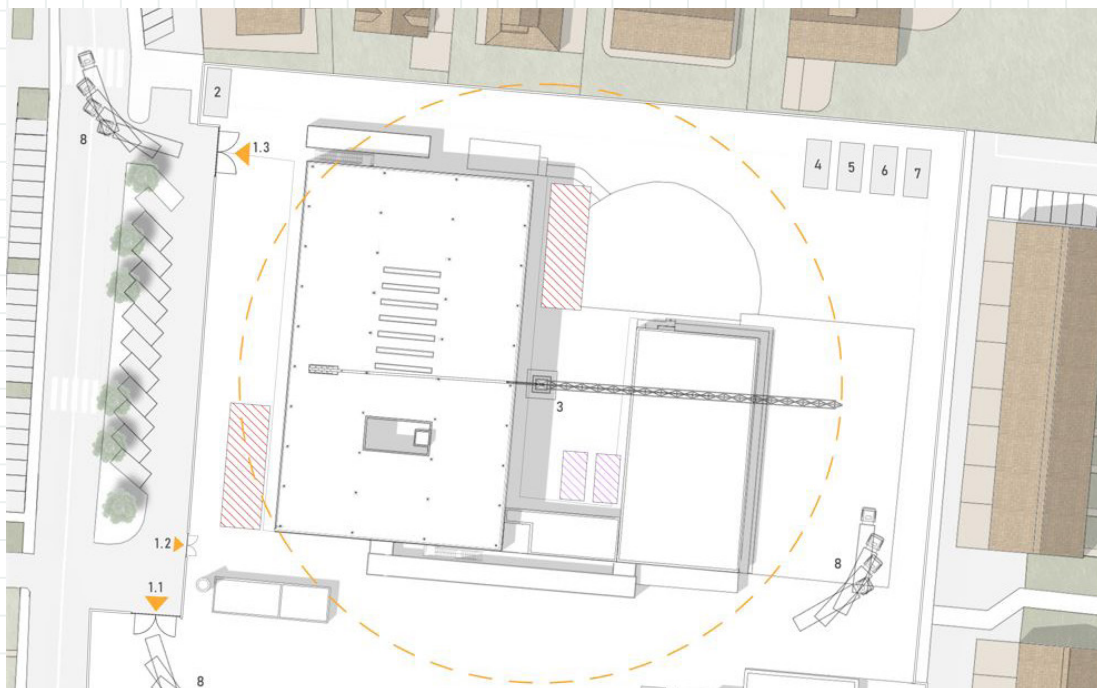


fig. 8 gestione del cantiere (tav H03)

## 14.2.2 La movimentazione dei pannelli

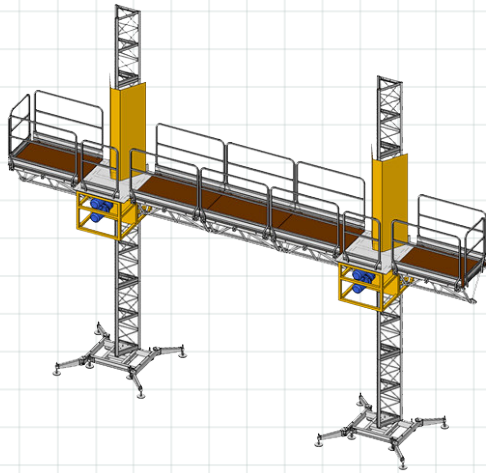


fig. 9 ponteggio autosollevante elettrico

Data il loro peso ridotto, la movimentazione dei pannelli CASA può avvenire manualmente quando si lavora a terra, ma si prevede l'impiego della gru per un trasporto agevole dei pacchi di pannelli da collocare a quote più elevate, nonché per i pannelli lunghi dei prospetti nord-sud. Dal momento dell'arrivo in cantiere, i pacchi di pannelli vengono rimossi dal mezzo di trasporto, quindi posizionati sul piano strada per effettuare un controllo preliminare per verificare l'assenza di danni arrecati ai pacchi durante il trasporto. I pacchi vengono quindi sollevati con le forche e posizionati sul ponteggio posizionato ad una quota consona. Da qui un operatore provvederà ad estrarre i pannelli dalla confezione e si potrà procedere al fissaggio.

## 14.3 Le fasi di fissaggio del pannello CASA

Il fissaggio del pannello CASA presuppone che, nel momento in cui i pannelli arrivano in cantiere e si posizionano alla quota adatta per il fissaggio, siano già avvenute le fasi di preparazione del supporto. Gli elementi che verranno impiegati per il fissaggio del pannello CASA sono:

- elemento di ancoraggio con doppia filettatura:

si tratta di un elemento composto prodotto dall'unione di due profilati standard: per una lunghezza pari alla profondità di ancoraggio nel calcestruzzo (80mm), è una barra filettata di diametro 10mm, per i restanti 160mm, che resteranno alloggiati all'interno del pannello CASA, consiste in un manicotto con filettatura interna, che permetterà l'alloggio delle viti di fissaggio.

- manicotto liscio in plastica PA con flangia:

noto anche come boccia flangiata, è un elemento con sezione cilindrica cava di diametro XXm atto ad essere alloggiato nei fori del pannello CASA; la flangia è necessaria affinché l'elemento possa bloccarsi in corrispondenza della faccia più esterna dello stesso.

- vite di chiusura a testa cilindrica:

sia adottano delle viti di chiusura cilindriche in acciaio inox dotate di guarnizione in plastica

Prima di passare a descrivere nel dettaglio le fasi di fissaggio dei pannelli si specifica che, essendo necessaria un grado di precisione elevato per poter garantire un risultato ottimale, le fasi proposte riguarderanno il fissaggio di un solo pannello. Quindi si intende che le fasi debbano essere ripetute per tutti i pannelli successivi, posizionando un solo pannello alla volta. Si possono quindi individuare le seguenti fasi

I giorni precedenti all'arrivo dei pannelli CASA in cantiere è necessario eseguire le seguenti operazioni preliminari sull'edificio esistente in modo che sia pronto per il successivo montaggio dei pannelli.

### 14.3.1 Fase 0 – Controllo visivo delle superfici host

Si procede a verificare la planarità della superficie del pannello in calcestruzzo con l'aiuto di un livello laser. Questi strumenti sono generalmente dotati di due sorgenti luminose che proiettano i raggi su prismi disposti perpendicolarmente; ciò consente di ottenere due piani visibili che si intersecano con una certa angolazione.

Dopo aver installato e allineato il livello laser, è necessario accendere il piano verticale. Si imposta il livello del laser vicino al bordo del muro, mentre il piano laser verticale dovrebbe essere parallelo alla superficie del muro. Sul pavimento lungo l'intero muro facciamo segni che dovrebbero essere alla stessa distanza dalla superficie del muro A e B. Si sposta quindi il livello del laser dalla superficie della parete e si contrassegnano i nuovi punti A e B. Per verificare le differenze sulla superficie della parete in una sezione verticale (dalla superficie del pavimento al soffitto) si utilizza un metro di legno o di acciaio che ha una scala millimetrica.

Sulla sezione verticale selezionata di 1-2 cm, posizionare il misuratore parallelo alla superficie della parete. In questo caso, l'estremità libera del misuratore dovrebbe appoggiarsi contro il muro ad angolo retto rispetto alla superficie del muro e la linea laser dovrebbe apparire sul piano del misuratore. Pertanto, si trova il primo valore corrispondente alla distanza dal piano laser di base alla superficie della parete. Quindi nello stesso segmento verticale riorganizziamo il misuratore leggermente più in basso, determinando un nuovo valore. Misuriamo tutte le volte che è necessario. Ora è possibile confrontare le dimensioni ottenute lungo la linea verticale con i dati sul segmento verticale della superficie della parete dopo 40-50 cm, trovando così la curva della parete rispetto alla base verticale.

### 14.3.2 Fase 1 – Fissaggio chimico delle barre

Questa fase operativa presuppone il lavoro di due operatori e di essere dotati di una dima in legno del pannello CASA. Le operazioni, salvo quelle effettuate da terra, sono da effettuarsi alla quota necessaria al fissaggio, raggiunta mediante l'utilizzo di un ponteggio auto sollevante elettrico.

1.a Un operatore posiziona la dima sulla parete e ne verifica l'orizzontalità con l'aiuto del livello laser; il secondo operatore realizza dei segni sul pannello in calcestruzzo in corrispondenza dei punti in cui andranno realizzati i fissaggi. Una volta realizzati i segni la dima può essere rimossa e spostata nella seconda posizione;

1.b Si provvede a forare con un trapano i pannelli di calcestruzzo in corrispondenza dei segni realizzati precedentemente; di seguito si provvede alla pulizia del foro mediante l'utilizzo di un'apposita pompa ad aria;

1.c Con l'apposita pistola per ancoranti chimici si inietta la resina di fissaggio nei fori appena realizzati e si posiziona la barra manicottata per una profondità pari al filetto.

Il giorno dell'arrivo dei pannelli CASA in cantiere si potrà procedere al fissaggio secondo le seguenti operazioni.

### 14.3.3 Fase 2 – Posizionamento dei manicotti

Questa semplice fase preparatoria prevede l'inserimento dei manicotti lisci all'interno dei fori predisposti nei pannelli CASA. Questo elemento risponde a una duplice necessità: anzitutto funge da distanziatore, impedendo l'eventuale compressione dello strato di feltro e quindi garantendo la planarità della

facciata; in secondo luogo, protegge la faccia esterna del pannello CASA dal serraggio che dovrà essere applicato per la chiusura delle viti di fissaggio.

### 14.3.4 Fase 3 – Fissaggio dei pannelli

Il pannello CASA può essere quindi posizionato negli alloggiamenti predisposti in facciata: un operatore manualmente posiziona il pannello facendo corrispondere i 4 fori con le barre di ancoraggio già predisposte sulla facciata. Una volta in posizione, si può provvedere al fissaggio vero e proprio mediante il serraggio delle viti in acciaio inox. Si ritiene importante precisare che in questa fase il pannello verrà fissato solo con due viti, ovvero da un solo lato: il secondo lato potrà essere

In conclusione si deduce che in termini operativi, per ogni facciata per il primo pannello vengono da subito predisposti 4 ancoraggi; di seguito, per tutti gli altri pannelli si predispongono di volta in volta due ancoraggi.

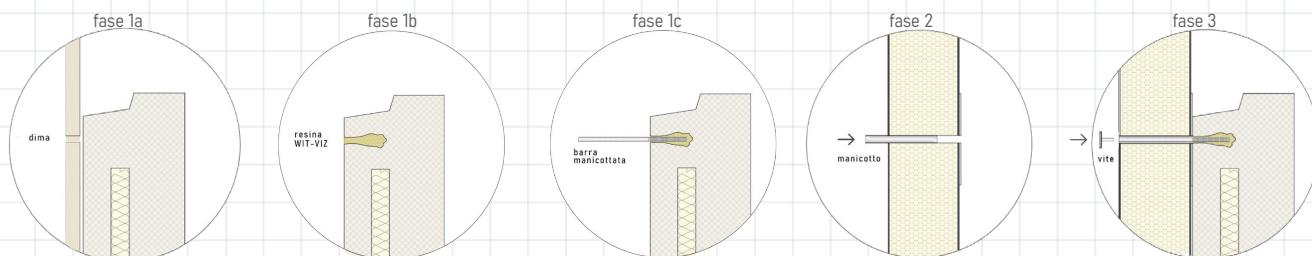


fig. 10 schemi fasi fissaggio pannello CASA

## 14.4 Dimensionamento degli ancoraggi del pannello CASA

Una volta ipotizzati gli elementi costituenti l'aggancio si procede con il dimensionamento degli stessi in base alle forze agenti. Per questa unione si ipotizza uno schema statico a mensola incastrata: il vincolo è posto in corrispondenza del nodo tra pannello esistente e nuovo pannello. Si considera per la verifica un pannello tipo posto sul lato longitudinale, della fascia intermedia: il pannello è dotato di quattro fissaggi, le sue dimensioni sono di 900x2200mm. Il peso/m<sup>2</sup> è 6,5kg/m<sup>2</sup> quindi, considerando un'area complessiva di 2,1m<sup>2</sup> il peso complessivo di un pannello è 12,1kg. Oltre all'azione dei carichi dovuti al peso del pannello, l'unione è soggetta a una forza di estrazione dovuta al sisma, che provvederemo di seguito a calcolare.

L'elemento oggetto di verifica è la barra filettata di lunghezza L=0,16m descritta nei paragrafi precedenti: questa è soggetta a carico distribuito verticale dovuto al peso proprio del pannello CASA e alla forza orizzontale di estrazione sismica quindi si considera come un'asta soggetta a taglio e a trazione.

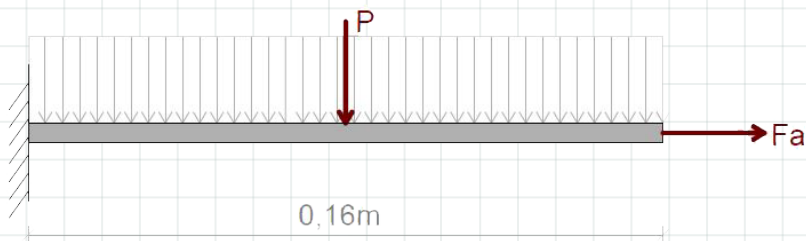


fig. 11 schema statico dell'aggancio (mensola incastrata)

## 14.4.1. Calcolo delle forze agenti sull'unione

### 14.4.1.1 Azione di taglio

L'asta è anzitutto soggetta a un carico verticale pari al peso proprio del pannello: nonostante si ipotizzi come carico distribuito, in questa sede verrà considerata la risultante applicata in mezzeria  $L/2=0,08m$ . Considerando che il peso del pannello viene ripartito su quattro fissaggi, il carico agente su ogni fissaggio risulta:

$$P = \frac{\text{massa pannello}}{\text{n}^\circ \text{ fissaggi}} * g = \frac{12,1\text{Kg}}{4} * 9,81 \frac{m}{s^2} = 29,67\text{N} = 0,30\text{KN}$$

Questa è l'azione di taglio agente sulla barra filettata che di seguito verrà dimensionata.

x

### 14.4.1.2 Forza di estrazione sismica

In questa fase si provvederà a valutare gli effetti dell'azione sismica sugli elementi non strutturali di facciata. La trattazione considera un pannello di facciata tipo collocato sulla fascia più alta dell'edificio scolastico

Per i seguenti calcoli si fa riferimento al paragrafo 7.2.3. della NTC 2018 "Criteri di progettazione di elementi strutturali secondari ed elementi costruttivi non strutturali". Il calcolo dell'accelerazione massima è stato effettuato utilizzando la formulazione semplificata per costruzioni con struttura a telaio riportata dal paragrafo C7.2.3 della circolare esplicativa della NTC 2018.

Secondo la suddetta NTC, la domanda sismica sugli elementi non strutturali può essere determinata applicando, nel baricentro degli stessi nella direzione più sfavorevole, una forza orizzontale pari a:

$$F_a = \frac{S_a * W_a}{q_a}$$

Dove:

- $F_a$  è la forza sismica orizzontale agente nel centro di massa dell'elemento non strutturale, nella direzione più sfavorevole, risultante delle forze distribuite proporzionali alla massa;
- $S_a$  è l'accelerazione massima, adimensionalizzata rispetto a quella di gravità, che l'elemento non strutturale subisce durante il sisma e corrisponde allo stato limite in esame;
- $W_a$  è il peso dell'elemento;
- $q_a$  è il fattore di comportamento dell'elemento

Il pannello oggetto di verifica è posizionato nella fascia più alta, quindi più esposta all'azione del sisma. La superficie del pannello è  $1,58m^2$ , quindi la massa complessiva dell'elemento è  $10,3kg$ , ovvero  $0,101kN$ . Si procede a definire i valori dei suddetti parametri:

1. il peso dell'elemento  $W_a$  è il peso complessivo del pannello:  $W_a=12,1 \text{ Kg} * 9,81 \text{ m/s}^2 = 118,70\text{N}=0,12 \text{ KN}$
2. il fattore di comportamento dell'elemento  $q_a$  è da scegliere tra i valori proposti da normativa. Con riferimento alla tabella di seguito riportata, trattandosi di un elemento di tramezzatura di facciata,  $q_a=2$

Elemento non strutturale	$q_a$
Parapetti o decorazioni aggettanti Insegne e pannelli pubblicitari Ciminiere, antenne e serbatoi su supporti funzionanti come mensole senza controventi per più di metà della loro altezza	1,0
Pareti interne ed esterne Tramezzatura e facciate Ciminiere, antenne e serbatoi su supporti funzionanti come mensole non controventate per meno di metà della loro altezza o connesse alla struttura in corrispondenza o al di sopra del loro centro di massa Elementi di ancoraggio per armadi e librerie permanenti direttamente poggiati sul pavimento Elementi di ancoraggio per controsoffitti e corpi illuminanti	2,0

tab. 1 valori di  $q_a$  per elementi non strutturali



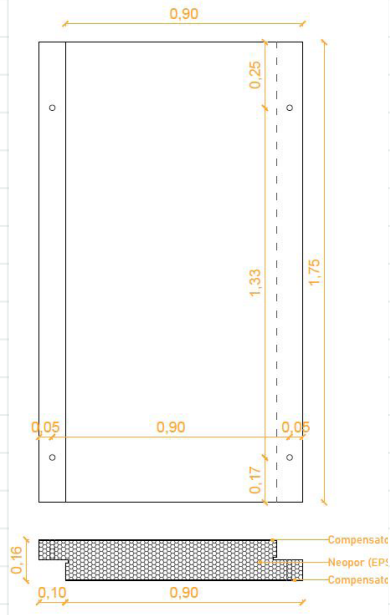


fig. 12 identificazione dei parametri del pannello CASA su cui si è eseguita la forza di estrazione sismica

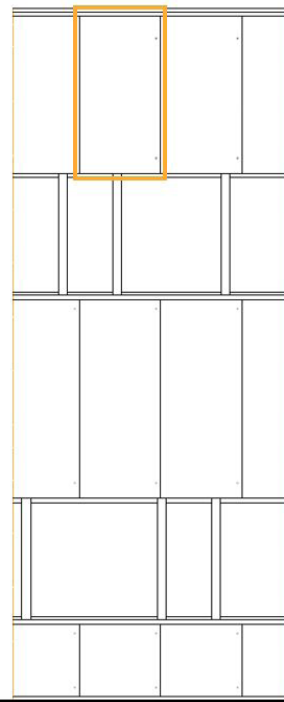


fig. 13 identificazione della fascia in cui si considera il pannello CASAda verificare

3. il rapporto tra accelerazione massima  $a_g$  e  $g$  si calcola a partire dall'accelerazione massima al suolo calcolata con lo spettro (ved. cap. 12)

$$\alpha = \frac{a_g}{g} = \frac{0,156g}{g} = 0,156$$

4. si evincono dallo spettro del sisma (ved. cap. 12) i seguenti parametri sismici:

- periodo di inizio del tratto a velocità costante  $T_c=0,279$
- fattore di amplificazione spettrale massima  $F_0=2,478$
- categoria di suolo B
- categoria di sottosuolo T1
- coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_s=1,2$
- coefficiente di amplificazione topografica  $S_c=1$
- coefficiente in funzione della categoria di sottosuolo  $C_c=1,42$

5. il periodo fondamentale di vibrazione dell'elemento si calcola ipotizzando per il pannello uno schema appoggio-appoggio.

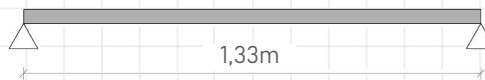


fig. 14 schema statico del pannello (appoggio-appoggio)

$$T_a = \frac{2 * L^2}{\pi} \sqrt{\frac{\rho A}{EI}} = \frac{2 * 1,33^2}{3,14} \sqrt{\frac{40,75 * 1,58}{8900000 * 0,0003072}} = 0,1728s$$

Dove:

-  $L$  è la lunghezza dell'elemento [m]

$L=0,9m/L=1,33m$ : Quello che restituisce il maggior valore di periodo fondamentale di vibrazione dell'elemento, e quindi il maggior valore di forza di estrazione sismica è  $L=1,33m$  quindi varrà adottato tale valore

-  $A$  è l'area dell'elemento[m<sup>2</sup>]

$A=1,58m^2$

- I è il momento d'inerzia [m<sup>4</sup>]  $I = (b \cdot h^3) / 12 = (0,9 \cdot 0,163) / 12 = 0,0003072 \text{ m}^4$
- ρ è la densità [kg/m<sup>3</sup>]  $\rho = m / V = 10,27 \text{ Kg} / (0,9 \cdot 1,75 \cdot 0,16) \text{ m}^3 = 40,75 \text{ Kg/m}^3$   
 $m = 6,5 \text{ Kg/m}^2 \cdot 1,58 \text{ m}^2 = 10,27 \text{ Kg}$
- E è il modulo di elasticità normale [N/m<sup>2</sup>]  $E_{\text{compensato}} = 8900 \text{ Mpa} = 8900000 \text{ N/m}^2$

6. il periodo di vibrazione della struttura in direzione considerata è il primo periodo di vibrazione restituito dall'analisi modale eseguita sull'edificio

OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad <sup>2</sup> /sec <sup>2</sup>
MODAL	Mode	1	0,853563	1,1716	7,3611	54,186
MODAL	Mode	2	0,721511	1,386	8,7084	75,836
MODAL	Mode	3	0,595664	1,6788	10,548	111,26
MODAL	Mode	4	0,22227	4,499	28,268	799,09
MODAL	Mode	5	0,219966	4,5462	28,564	815,92
MODAL	Mode	6	0,219322	4,5595	28,648	820,72
MODAL	Mode	7	0,219116	4,5638	28,675	822,27
MODAL	Mode	8	0,218842	4,5695	28,711	824,32
MODAL	Mode	9	0,218836	4,5696	28,712	824,37
MODAL	Mode	10	0,218757	4,5713	28,722	824,96
MODAL	Mode	11	0,218757	4,5713	28,722	824,97
MODAL	Mode	12	0,218353	4,5797	28,775	828,02

tab. 2 valori dei periodi dei primi 12 modi di vibrare dell'edificio

7. Parametri a,b,ap: vengono dedotti dalla tabella C7.2.11 della circolare della NTC2018 in base al valore di T1 sopra definito

	a	b	ap
T <sub>1</sub> < 0,5 s	0,8	1,4	5,0
0,5 s < T <sub>1</sub> < 1,0 s	0,3	1,2	4,0
T <sub>1</sub> > 1,0 s	0,3	1,0	2,5

tab. 3 parametria a,b e a<sub>p</sub> in accordo con il periodo di vibrazione della costruzione T1

Si deducono i seguenti valori: a=0,3 b=1,2 ap=4

8. la quota del baricentro dell'elemento e l'altezza della costruzione sono informazioni geometriche di progetto che si evincono dalle tavole.

Con il file Excel, oltre alla forza di estrazione sismica, viene calcolata l'accelerazione massima, adimensionalizzata rispetto a quella di gravità, che l'elemento strutturale subisce durante il sisma; nella combinazione sismica considerata (SLV)

$$S_a(T_a) = \begin{cases} \alpha S \left(1 + \frac{z}{H}\right) \left[ \frac{a_p}{1 + (a_p - 1) \left(1 - \frac{T_a}{aT_1}\right)^2} \right] \geq \alpha S & \text{per } T_a < aT_1 \\ \alpha S \left(1 + \frac{z}{H}\right) a_p & \text{per } aT_1 \leq T_a < bT_1 \\ \alpha S \left(1 + \frac{z}{H}\right) \left[ \frac{a_p}{1 + (a_p - 1) \left(1 - \frac{T_a}{bT_1}\right)^2} \right] \geq \alpha S & \text{per } T_a \geq bT_1 \end{cases}$$

dove:

α è il rapporto tra l'accelerazione massima del terreno ag su sottosuolo tipo A da considerare nello stato limite in esame e l'accelerazione di gravità.

S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche.

Ta è il periodo fondamentale di vibrazione dell'elemento non strutturale.

T1 è il periodo fondamentale di vibrazione della costruzione nella direzione considerata.

Z è la quota del baricentro dell'elemento non strutturale misurata a partire dal piano di fondazione.

H è l'altezza della costruzione misurata a partire dal piano di fondazione.

Il file Excel, opportunamente compilato, fornisce i seguenti valori.

Peso dell'elemento	Wa	0,101kN
Fattore di struttura dell'elemento	qa =	2,00
Rapporto tra accelerazione massima (su suolo A) ag e g	$\alpha = ag/g$	0,156
Periodo di inizio del tratto a velocità costante	Tc*	0,279
Fattore di amplificazione spettrale massima	Fo	2,478
Categoria suolo	B	▼
coef. di amplificazione stratigrafica	Ss	1,200
Coef. di amplificazione topografica	St	1,00
categoria di sottosuolo	S	1,200
coef. funzione della cat. di sottosuolo	Cc	1,420
Periodo fondamentale di vibrazione dell'elemento	Ta	0,173sec
Periodo di vibrazione della struttura in direzione considerata	T1	0,853sec
	a	0,300
	b	1,200
	ap	4,000
Quota del baricentro dell'elemento	Z	6,70m
Altezza della costruzione	H	7,60m
<b>Risultati</b>		
Accelerazione massima adimensionalizzata rispetto a g	Sa =	<b>1,070*g</b>
Forza sismica orizzontale	Fa =	<b>0,0541kN</b>

tab. 4 calcolo della forza di estrazione sismica

La forza di estrazione sismica è pari a  $F_s = 0,0541kN = 54,1N$

Questa è l'azione di trazione agente sul pannello CASA, che deve essere ripartita tra le quattro barre di fissaggio. L'azione di trazione agente su ogni barra è quindi 13,52N, sulla cui base verrà dimensionata.

## 14.4.2 Dimensionamento dell'ancoraggio

Per dimensionare adeguatamente l'aggancio è necessario anzitutto definire la categoria di prestazione sismica che l'elemento di fissaggio dovrà garantire.

Elementi non strutturali			Elementi strutturali		
Accelerazione sismica	Classe di importanza II o III	Classe di importanza IV	Accelerazione sismica	Classe di importanza II o III	Classe di importanza IV
< 0.05g	Non rilevante		< 0.05g	Non rilevante	
0.05g - 0.1g	C1	C2	0.05g - 0.1g	C2	
> 0.1g	C2		> 0.1g	C2	

Costruzioni di classe I > 0.05g richiedono C1 | Gli stati membri possono scegliere di adottare differenti raccomandazioni  
tab. 5 definizione delle categorie sismiche C1 e C2 secondo il TR045

Ai sensi dell'allegato E delle linee guida ETAG 001 e del rapporto EOTA TR 045, gli ancoranti da utilizzare in condizioni di carico sismico si dividono in due categorie: C1 e C2. Secondo queste linee guida, nella mentre nella maggior parte delle aree a rischio sismico è obbligatorio l'uso di ancoranti di categoria C2. È possibile impiegare anche la categoria sismica C1, quando l'applicazione riguarda un elemento non strutturale e senza alcuna rilevanza ai fini della sicurezza.

Secondo la NTC2018 (par2.4.2) gli edifici scolastici rientrano nella classe d'uso II/III. Inoltre, essendo l'edificio oggetto di studio localizzato a Chiari (BS), in cui l'accelerazione massima al suolo è  $ag > 0,1$  ( $ag = 0,156$ ), la categoria di prestazione sismica che l'ancoraggio deve garantire è C2.

Per la scelta dell'elemento di fissaggio si fa riferimento agli ancoranti antisismici con fissaggio chimico proposti da Wurth. Sulla base delle prescrizioni appena descritte si adotta il sistema ad iniezione con resina WIT-UH 300 con barra filettata in acciaio zincato classe 5.8

Misura della barra		M8	M10	M12	M16	M20	M24	M27	M30
Trazione [kN]	$N_{tk}$	14,1	21,2	33,2	40,9	64,9	89,1	108,8	129,9
	$N_{sd}$	9,4	14,1	22,1	27,3	43,3	59,4	72,6	86,6
Taglio [kN]	$V_{tk}$	7,7	11,9	18,2	32,9	51,8	74,2	48,3	58,8
	$V_{sd}$	6,2	9,5	14,6	26,3	41,4	59,4	38,7	47,1

tab. 6 resistenza a trazione e taglio delle barre filettate Wurth

Data la presenza di 4 ancoraggi per ogni pannello, sulla base delle azioni di trazione e taglio sopra calcolate, si adottano un sistema barre filettate M10. Questa scelta viene compiuta a favore di sicurezza, essendo le barre filettate M8 sconsigliate per un utilizzo in caso di categoria sismica C2.

In merito alla profondità di ancoraggio si precisa come, nonostante il valore minimo prescritto per questa tipologia sia di 60mm, in questa sede si assume cautelativamente una profondità di 80mm.

## Conclusioni sul pannello CASA 14.5

In conclusione abbiamo voluto verificare che il pannello proposto rispondesse agli obiettivi che ci siamo poste nella fase preliminare. Per fare questo ci avvarremmo del confronto con il pannello Isosandwich di Isosystem, che come già accennato nel capitolo 11 è stato il nostro punto di partenza per l'elaborazione della tecnologia proposta.

Come Isosandwich, la maggior parte dei prodotti commerciali attualmente presenti sul mercato è realizzato con materiali isolanti derivati del petrolio. A differenza di questi, il pannello CASA è stato pensato con un'attenzione particolare al rispetto dell'ambiente. L'impiego di materiali derivanti da fonti sostenibili contribuisce alla riduzione del consumo delle materie prime e alla riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>.

Un altro importante obiettivo era quello relativo al peso, data la natura non strutturale del pannello di tamponamento in calcestruzzo su cui il pannello CASA si sarebbe ancorato. Come già accennato, il pannello proposto da Isosystem avrebbe gravato con un peso non trascurabile sulla facciata esistente, a differenza di CASA che presenta un peso di 6,5Kg/m<sup>2</sup>.

L'impegno maggiore è stato riposto nell'elaborazione di un sistema di ancoraggio idoneo alla tipologia di supporto su cui abbiamo operato. Questo infatti è stato un grande scoglio in quanto, come Isosandwich, molti pannelli esistenti non presentano fissaggi adeguati alla tipologia in esame.

Infine, come già verificato nel capitolo energetico, l'applicazione del pannello CASA garantisce inoltre un netto miglioramento delle prestazioni energetiche delle pareti. Oltre a possedere ottime caratteri-

stiche di isolamento termico grazie ai materiali che lo compongono, la conformazione battentata e il suo posizionamento in aderenza alla facciata esistente minimizzano l'insorgere di ponti termici.

Le considerazioni fatte fin ora sono riassunte nello schema di seguito riportato. Ulteriori informazioni in merito alla reiterabilità del pannello CASA verranno illustrate nel paragrafo successivo.

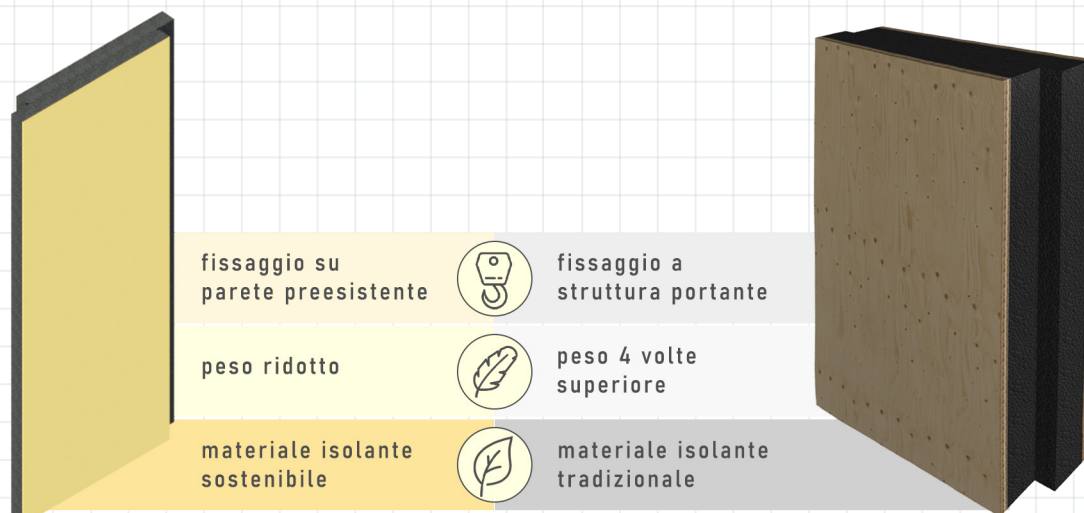


fig. 15 confronto tra CASA e Isosandwich

## 14.6 Reiterabilità dell'approccio

### 14.6.1 Schema di intervento

In linea con le missioni illustrate nel capitolo 4, gli interventi fin ora descritti sono stati impostati con l'intento di essere riproducibili sulle scuole della catalogazione, e in generale dal parco edilizio individuato nel capitolo 4, ovvero gli edifici scolastici del ventennio '60-80 con struttura a telaio prefabbricata e facciate in pannelli di tamponamento in cls prefabbricati. Sulla base della catalogazione dei pannelli prefabbricati in calcestruzzo descritta nel capitolo 2 si definisce che gli edifici su cui è possibile l'impiego del pannello CASA così come proposto in questa sede sono quelli che, all'interno del parco edilizio sopra individuato, presentano pannelli di facciata in cui sia possibile eseguire il fissaggio chimico sopra proposto, ovvero:

- pannelli monolitici: in questi casi i punti di fissaggio sono indifferenti, in quanto tutta la superficie del pannello è idonea ad ospitarlo;
- pannelli alleggeriti con cordoli di irrigidimento in calcestruzzo di almeno 150mm: in questo caso, come per la scuola Toscanini analizzata in questa tesi, il fissaggio verrà predisposto in corrispondenza dei cordoli;
- pannelli sandwich con spessore della lastra esterna non inferiore a 80mm. Se la faccia in calcestruzzo esterna ha lo spessore specificato sarà possibile il fissaggio dei pannelli CASA, adottando la profondità di ancoraggio minima di 60mm.

Fatte queste precisazioni, si è provato a riassumere il percorso compiuto tracciando delle linee guida che possano inquadrare complessivamente questo tipo di riqualificazione, e quindi essere impiegate per interventi su edifici del parco edilizio analizzato. Il risultato di questa sintesi è il seguente schema, le cui voci dovranno essere valutate caso per caso, adottando in ogni ambito il principio di minimo intervento.

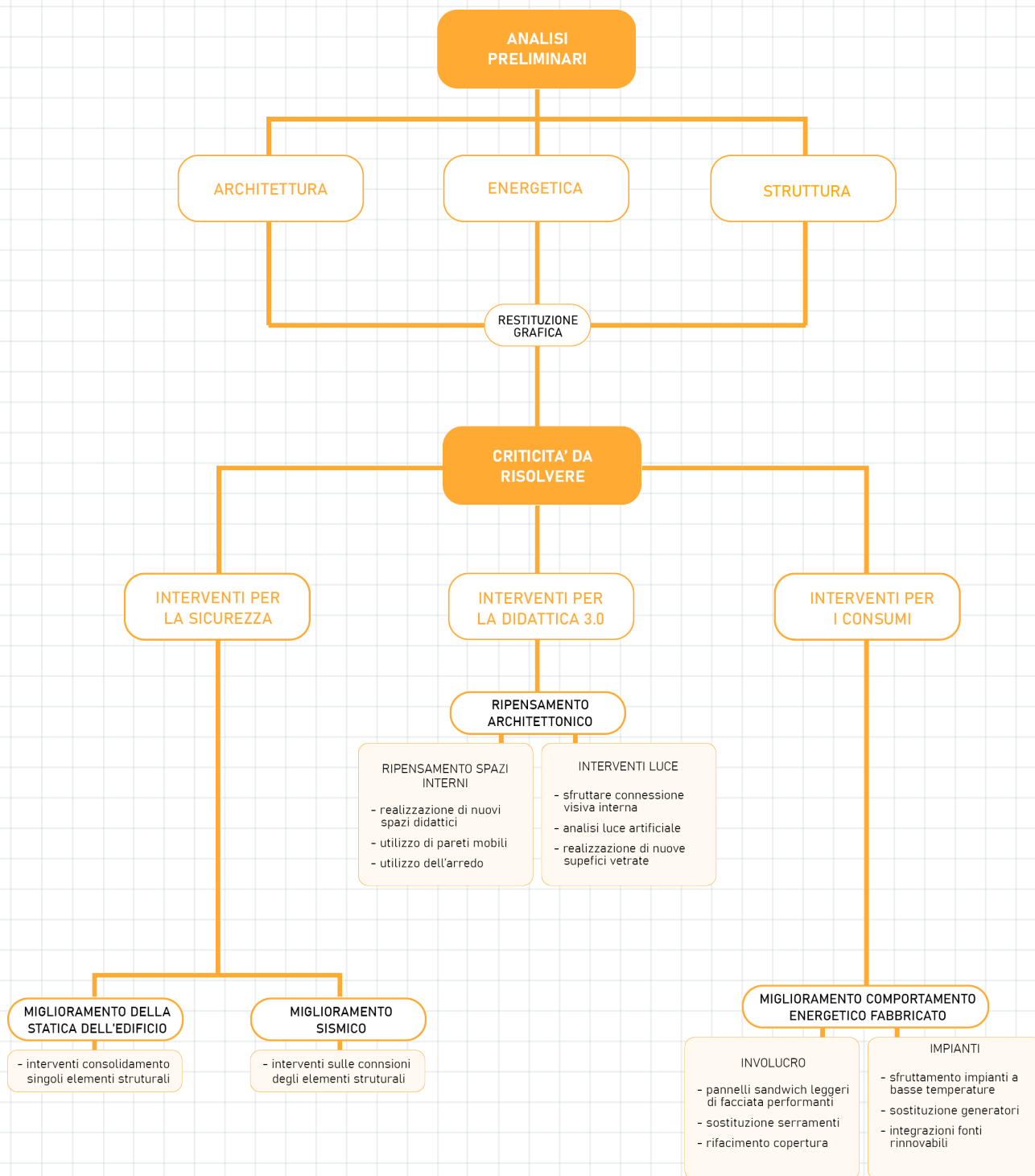


fig. 16 schema della reiterabilità dell'intervento

Il percorso descritto dall'immagine rappresenta le fasi principali di questo approccio, che verrà qui di seguito integrato per indagare gli aspetti operativi inerenti le tipologie di intervento proposto. Anzitutto, l'analisi preliminare è figlia di un'ampia ricerca multidisciplinare che prevede l'utilizzo degli strumenti urbanistici per inquadrare il territorio e il contesto del progetto, per poi passare all'analisi della documentazione ufficiale quali elaborati del progetto architettonico, strutturale e, ove presente, informazioni o atti legati all'efficienza energetica degli immobili oggetti di studio.

La fase successiva prevede il rilievo e la restituzione grafica dello stato di fatto, e quindi l'identificazione delle problematiche di cui soffre l'immobile, definendone altresì un grado di priorità a seconda del grado di criticità raggiunto. Nel caso in esame, per cause dettate dalla pandemia e della presenza del cantiere sull'area di progetto, non è stato possibile eseguire in prima persona un rilievo. Nella nostra tesi ci siamo limitate quindi a confrontare i disegni originali con il rilievo effettuato recentemente dal Comune di Chiari, proprio ai fini della relazione del progetto tutt'oggi in corso d'opera.

In base all'indagine eseguita sul campione di edifici presi in esame (catalogazione, capitolo XX) abbiamo identificato i tre principali ambiti in cui si ritiene necessario intervenire per ottenere un edificio scolastico efficiente sotto tutti i punti di vista, ovvero la sicurezza, la didattica e i consumi.

#### **14.4.1.1. interventi per la sicurezza**

Le analisi su parco edilizio hanno portato alla luce alcune criticità legate ad uno schema strutturale labile, motivo per cui un intervento di riqualificazione di tali edifici non possa prescindere da un progetto di consolidamento strutturale. Gli interventi da proporre in merito a questo tema dovranno prescindere da una modellazione a elementi finiti in grado di stabilire i cinematici e le forze in atto, essere contestualizzati. In generale è possibile distinguere tra interventi per il miglioramento della statica, e quelli che invece intervengono sul comportamento sismico della struttura. Rientrano nella prima categoria gli interventi di consolidamento realizzati sui singoli elementi strutturali a cui non è demandata la resistenza all'azione sismica; per esclusione, per interventi che mirano a consolidare il comportamento sismico si intendono gli interventi sugli elementi sismici (pilastri) e le connessioni, che favoriscono quindi un comportamento scatolare dell'intera struttura. Nel caso in esame gli interventi di consolidamento, trattati nel capitolo precedente, sono stati ipotizzati a seguito della analisi sul modello a elementi finiti.

#### **14.4.1.2 interventi per la didattica**

La rivoluzione della didattica in atto negli ultimi anni, già ampiamente trattata nel capitolo XX, presuppone inevitabili ripensamenti dell'architettonico. Dovendo operare su edifici esistenti, la metodologia di approccio che si propone prevede interventi ridotti, quali il ripensamento degli spazi interni e di ottimizzazione della luce naturale. Nella prima categoria anzitutto la realizzazione di nuovi spazi didattici atti ad ospitare nuove attività non previste nella didattica tradizionale; un altro elemento fondamentale per questo approccio è quello della flessibilità ottenuto mediante il largo impiego delle pareti mobili e dell'arredo, utilizzato sia a scopo didattico, sia come delimitazione di ambienti "fluidi". Gli interventi di ottimizzazione della luce naturale rispondono sia a richieste normative sia alla necessità di garantire alti livelli di confort interno: dovendo operare su edifici esistenti, saranno da prediligere interventi sulle nuove partizioni interne, che garantiscano per esempio la connessione visiva tra ambienti, e che migliorino di conseguenza le condizioni di illuminamento interno. Un altro fattore su cui intervenire sarà l'analisi dell'illuminazione artificiale, aspetto molto importante per garantire un alto livello di confort visivo. La realizzazione di nuove superfici vetrate, invece, dovrà essere valutata nei casi in cui sia strettamente necessario, e laddove tale operazione non implichi variazioni rilevanti nell'assetto dell'edificio, e quindi un impatto relativamente ridotto sul costo complessivo.

#### **14.4.1.3 interventi per i consumi**

Nel caso studio oggetto di questa tesi, la priorità è stata di certo legata agli interventi in grado di influenzare il comportamento energetico dell'edificio. Dalle criticità energetiche comuni, anch'esse ampiamente discusse nei capitoli precedenti, emerge che gli elementi su cui sia prioritario intervenire siano l'involucro e gli impianti. In base alle evidenze in merito alla tipologia edilizia analizzata, si può ipotizzare che i problemi di spesa legati a questi "giganti energivori" sia da imputare alla bassa efficienza degli impianti e alle caratteristiche costruttive di un involucro incapace di trattenere il calore. Involucro e impianti

sono quindi i due aspetti su cui risulta necessario operare nell'ottica di una ristrutturazione. L'azione congiunta su entrambi gli ambiti è ribadita anche a livello normativo: non solo viene citata l'importanza della definizione del sistema edificio-impianto per poter stabilire quali soluzioni impiantistiche siano ottimali per l'edificio (o porzione) da servire; tale interdipendenza risulta indispensabile per riuscire ad assolvere le stringenti richieste in termini di fabbisogni ed efficienze.

Per l'involucro opaco verticale, la nostra mission di ripetibilità ci ha spinto ad adottare una soluzione che lavorasse in affiancamento alla struttura esistente: la tecnologia scelta è il pannello sandwich CASA, prodotto integralmente in stabilimento, in modo da ridurre quanto possibile le fasi di cantiere. In merito alla copertura si devono preferire soluzioni che prevedono un montaggio semplice e veloce, magari impiegando prodotti prefabbricati che riducono considerevolmente le tempistiche di lavoro in cantiere. Infine, per quanto concerne l'involucro trasparente, i serramenti esistenti verranno integralmente sostituiti in favore di prodotti più efficienti. Costituendo un'ampia fetta delle dispersioni degli edifici, e non potendo operare azioni migliorative delle prestazioni degli elementi esistenti, si auspica un intervento simile per tutti gli edifici su cui verrà applicato tale approccio.

Gli interventi sugli impianti dovranno essere studiati ad hoc sulla base di un'analisi dello stato di fatto del singolo edificio: nonostante ciò, sulla base delle criticità emerse dall'analisi del parco edilizio, si possono individuare degli interventi tipici. Anzitutto la sostituzione dei generatori, perlopiù datati e poco efficienti, con generatori di ultima generazione ad alte prestazioni; un altro approccio da perseguire è quello di installare impianti a bassa temperatura, anch'essi di grande aiuto per la riduzione dei consumi. Infine, per verificare requisiti normativi in merito alle fonti rinnovabili, è necessario predisporre l'integrazione di queste ultime nel sistema di generazione di energia e acqua calda sanitaria.

In conclusione, nonostante ogni intervento abbia una percentuale di unicità che impone specifiche analisi, lo schema appena descritto può essere d'aiuto a velocizzare le fasi preliminari di scelta e per l'organizzazione di un lavoro multidisciplinare molte volte complesso.

## 14.6.2 Esempio di replicabilità

Sulla base del metodo appena illustrato si propone un'ipotesi di applicazione dei pannelli CASA su un edificio della catalogazione, ovvero la scuola Negrelli di Feltre

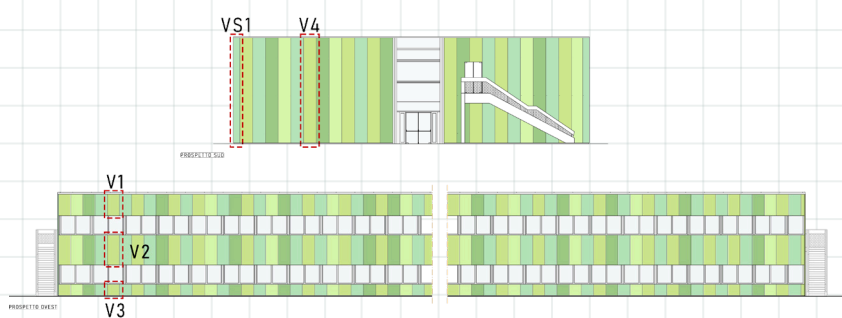


fig. 17 prospetti scuola Negrelli, Feltre

Come si evince dalla tavola sopra riportata, sono state ovviamente adottate delle varianti, quali la lunghezza dei pannelli di facciata e la loro colorazione, a prova del fatto che tale tipologia di intervento sia altamente personalizzabile, e che quindi possa fungere da motore utile per la rigenerazione di questa porzione di tessuto urbano.

La regolarità dimensionale del pannello CASA permette inoltre la variazione della posizione dei punti di ancoraggio per l'adattamento del sistema su altri casi assimilabili a quello studiato.





## Conclusioni

A chiusura del lavoro di tesi illustrato si ritiene opportuno ed interessante avanzare delle brevi considerazioni su quanto appreso.

Lo sviluppo di una tematica quale quella dell'edilizia scolastica include al suo interno una moltitudine di caratteri, alcuni dei quali non sono sempre, necessariamente, in stretta correlazione con il mondo delle costruzioni. Lo studio effettuato nella fase embrionale ci ha infatti portato più volte ad indagare i contesti socioculturali caratteristici dell'ambito in cui siamo state chiamate ad operare. La ricerca svolta sugli aspetti della didattica innovativa ci ha dato la possibilità di comprendere l'importanza della componente pedagogica, ma, ancora di più, quanto sia importante lavorare sulle interazioni sociali poiché ciascun individuo ha bisogno di instaurare delle relazioni affettive che lo facciano sentire legato in modo stabile a persone, luoghi, cose...e spazi.

Ecco che l'architettura e l'ingegneria entrano a pieno titolo in questo schema di sviluppo. Queste discipline possono rivestire un ruolo importantissimo nella costruzione di intrecci sociali in quanto, disegnando lo spazio, sono in grado di influenzare in modo considerevole la percezione dell'ambiente, che si riflette a sua volta sulla percezione che abbiamo di noi stessi, di chi ci circonda e sulle interazioni che scegliamo di crearvi. A tal proposito crediamo che la metodologia di progettazione integrata e completa trovata in questo percorso formativo ci abbia fornito degli strumenti molto utili per poterci avvicinare alla trattazione di queste tematiche. Da un punto di vista culturale, la ricerca ci ha permesso di scoprire la bellezza di Chiari, una città bresciana di grande valore paesistico, storico e ambientale e di rafforzare ulteriormente la nostra filosofia dell'importanza di tutelare il patrimonio italiano. Questo ci ha spinto verso l'esigenza di proporre un metodo di intervento reiterabile, che non fosse di aiuto solo per il caso in esame, ma più inclusivo e quindi lungimirante. All'approccio urbanistico e territoriale ha seguito quello progettuale, attraverso cui abbiamo iniziato a plasmare gli ambienti sulla base di quanto appreso dalle prime ricerche. La struttura architettonica è stata poi rivisitata per rispondere alle esigenze tecnologiche, energetiche, strutturali e prestazionali che hanno portato alla definizione di un progetto completo in ogni sua parte.

La necessità di interfacciarci con aspetti dell'ingegneria molto specifici nell'ambito della ricerca tecnologica e commerciale dei materiali, e che non avevamo avuto modo di approfondire fino a quel momento nel nostro percorso di studi, ha reso questa fase della tesi particolarmente impegnativa, e ha rappresentato per noi una vera e propria sfida. Le interazioni che abbiamo avuto con le numerose aziende, tra cui BASF Italia ed AIPE, si sono presentate come delle opportunità significative di crescita, grazie alle quali la nostra idea ha potuto prendere forma. Il confronto con questi professionisti ci ha permesso di comprendere in maniera più approfondita le caratteristiche di alcuni materiali e di operare le scelte con un tipo di approccio più critico.

Lo studio degli ancoraggi ci ha dato la possibilità, ancora una volta, di metterci in gioco nell'ideazione di un sistema che fosse adattabile alla struttura esistente e quanto più possibile coerente con la filosofia della prefabbricazione che ha guidato tutta l'elaborazione del pannello CASA.

A conclusione di questo processo di studio, guidate da una visione d'insieme che riteniamo che il progettista, in qualità di governatore dell'elaborato architettonico, sia chiamato ad avere, è stato compiuto un ulteriore sforzo per ottimizzare le prestazioni della tecnologia analizzata.

All'interno di questa esperienza formativa abbiamo maturato la consapevolezza delle complessità che un progetto può presentare in ogni sua parte e di quanto sia arduo e stimolante combinare le esigenze degli utenti, con il rispetto del contesto e delle richieste normative, unitamente ad un funzionamento ottimale degli impianti, il tutto mantenendo salda la propria identità progettista.

Attraverso questo lavoro ci piacerebbe trasmettere l'importanza del contributo che ciascuno di noi può dare nella società in quanto progettista, fornendo uno strumento che rappresenti lo stimolo ad una progettazione sempre più ampia, che includa tutti gli aspetti tecnici e umani.



# A

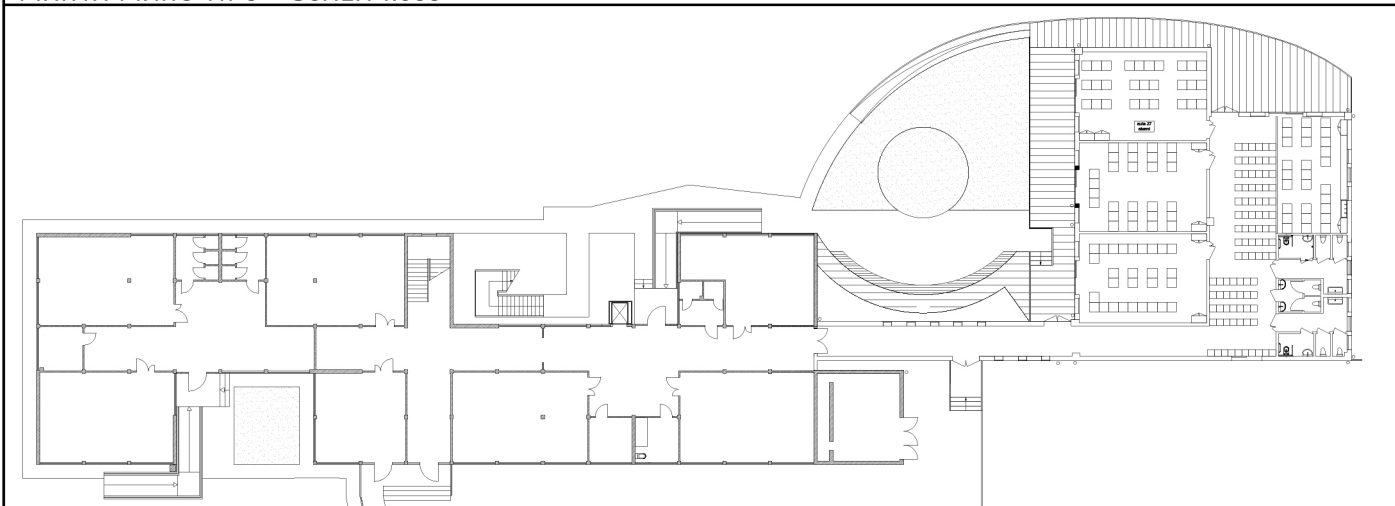
Allegato:  
schede di comparazione



# SCUOLA SECONDARIA STATALE DI 1° GRADO P. CALAMANDREI - CHIRIGNAGO (VE)



PIANTA PIANO TIPO - SCALA 1:600



## INQUADRAMENTO

### Localizzazione

Indirizzo	via dell'Edera, 33 Chirignago (VE)
Latitudine	45°28'58.1"N
Longitudine	12°11'27.7"
Altitudine s.l.m.	1 m
Zona climatica	E
Vincolo paesistico ambientale	no

### Morfologia dell'aggregato

N° edifici del complesso	3
Spazi di pertinenza all'aperto	sì
Livello di rumorosità	medio

### Evoluzione del costruito

Progettista	anonimo
Anno di costruzione	1960-1975
Interventi	-
Vincolo architettonico	no

## ANALISI DEL COSTRUITO

### Dati tecnici

Tipologia edilizia	blocco lineare
Superficie lotto	9.839 m <sup>2</sup>
Superficie coperta	1.154 m <sup>2</sup>
Superficie dell'area libera	7.166 m <sup>2</sup>
Volume lordo	8.078 m <sup>3</sup>
Volume lordo palestra	6.288 m <sup>3</sup>
N° piani fuoriterra	2
N° piani interrati/seminterrato	-
N° alunni	257

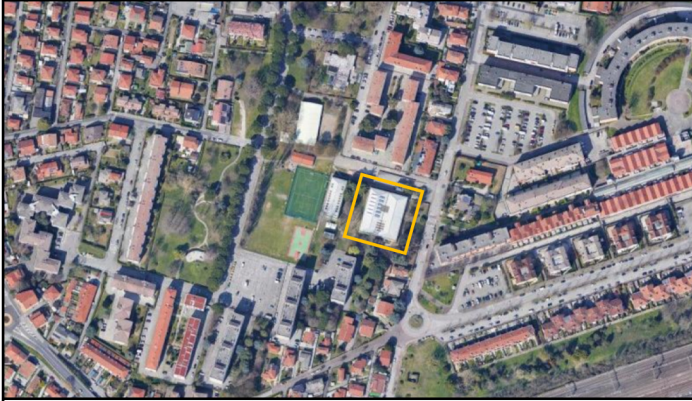
### Controlli normativi preliminari

Collaudo statico	no
Adeguamento antisismico	no
Presenza di un piano di evacuazione	sì
Presenza di due uscite antincendio per piano	sì
Presenza di almeno un corpo scale esterno o di un corpo scale antifumo	sì
Presenza di barriere architettoniche	no

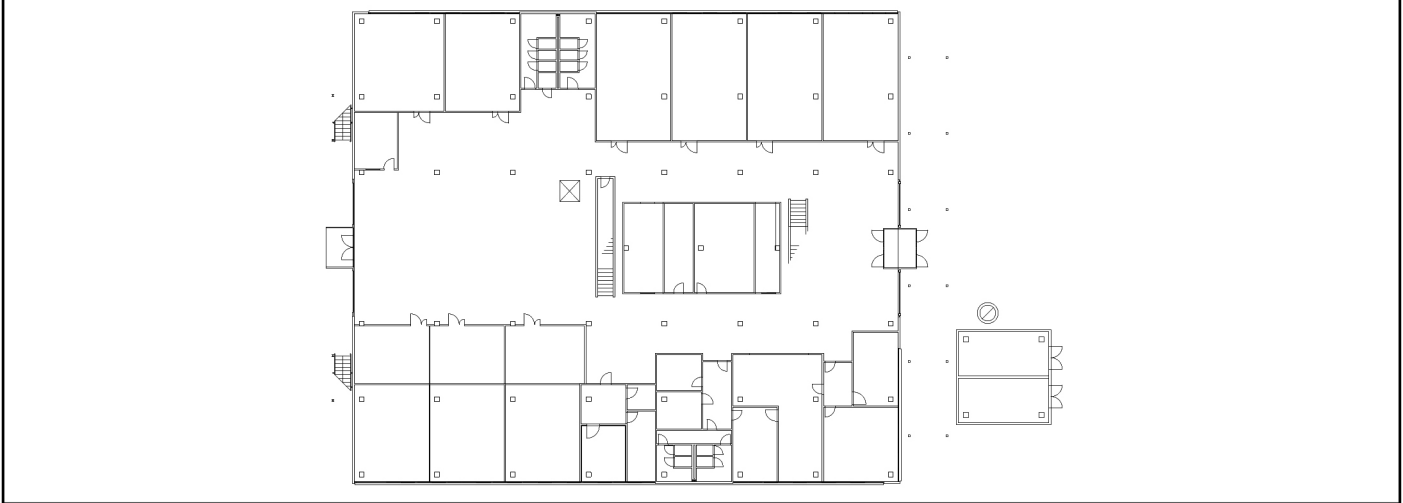
### Prestazioni energetiche

Doppi vetri	sì
Isolamento di copertura	sì
Isolamento pareti	sì
Tipologia impianto di riscaldamento:	centralizzato melano

# ISTITUTO COMPRENSIVO C. COLOMBO - CHIRIGNAGO (VE)



PIANTA PIANO TIPO - SCALA 1:600



## INQUADRAMENTO

### Localizzazione

Indirizzo	via Bosso, 28 Chirignago (VE)
Latitudine	45°28'55.6"N
Longitudine	12°11'53.8"
Altitudine s.l.m.	1 m
Zona climatica	E
Vincolo paesistico ambientale	no

### Morfologia dell'aggregato

N° edifici del complesso	2
Spazi di pertinenza all'aperto	sì
Livello di rumorosità	medio

### Evoluzione del costruito

Progettista	G.Valle-G.Macola
Anno di costruzione	1976
Interventi	-
Vincolo architettonico	no

## ANALISI DEL COSTRUITO

### Dati tecnici

Tipologia edilizia	blocco lineare
Superficie lotto	8.200 m <sup>2</sup>
Superficie coperta	2.212 m <sup>2</sup>
Superficie dell'area libera	5.988 m <sup>2</sup>
Volume lordo	12.150 m <sup>3</sup>
Volume lordo palestra	4.018 m <sup>3</sup>
N° piani fuoriterra	2
N° piani interrati/seminterrato	-
N° alunni	355

### Controlli normativi preliminari

Collaudo statico	no
Adeguamento antisismico	no
Presenza di un piano di evacuazione	sì
Presenza di due uscite antincendio per piano	sì
Presenza di almeno un corpo scale esterno o di un corpo scale antifumo	sì
Presenza di barriere architettoniche	sì

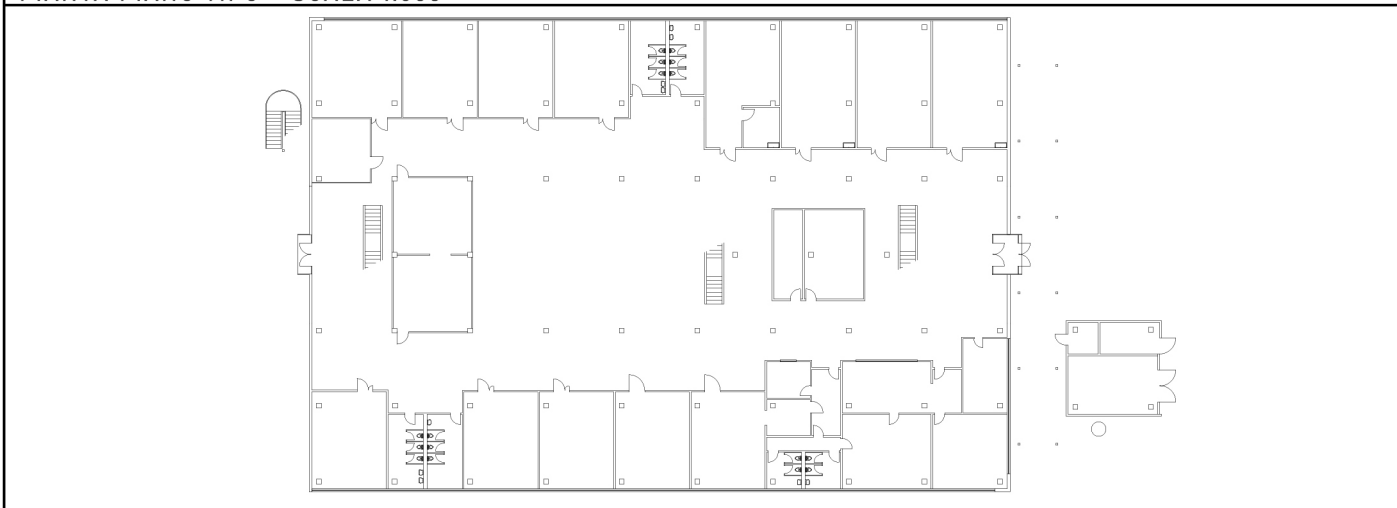
### Prestazioni energetiche

Doppi vetri	sì
Isolamento di copertura	sì
Isolamento pareti	sì
Tipologia impianto di riscaldamento:	centralizzato metano

# SCUOLA SECONDARIA STATALE DI 1° GRADO G. DI VITTORIO - MESTRE (VE)



PIANTA PIANO TIPO - SCALA 1:600



## INQUADRAMENTO

### Localizzazione

Indirizzo	via Cristoforo Colombo, 11 Feltre (BL)
Latitudine	46°01'54.0"N
Longitudine	11°54'15.2"
Altitudine s.l.m.	295 m
Zona climatica	F
Vincolo paesistico ambientale	sì

### Morfologia dell'aggregato

N° edifici del complesso	1
Spazi di pertinenza all'aperto	no
Livello di rumorosità	basso

### Evoluzione del costruito

Progettista	G.Valle-G.Macola
Anno di costruzione	1976
Interventi	no
Vincolo architettonico	edificio vetusto

## ANALISI DEL COSTRUITO

### Dati tecnici

Tipologia edilizia	blocco lineare
Superficie lotto	22.100 mq
Superficie coperta	5.429 mq
Superficie dell'area libera	7.989 mq
Volume lordo	33.555 mc
Volume lordo palestra	8.903 mc
N° piani fuoriterra	2
N° piani interrati/seminterrato	-
N° alunni	518

### Controlli normativi preliminari

Collaudo statico	sì
Adeguamento antisismico	no
Presenza di un piano di evacuazione	sì
Presenza di due uscite antincendio per piano	sì
Presenza di almeno un corpo scale esterno o di un corpo scale antifumo	sì
Presenza di barriere architettoniche	no

### Prestazioni energetiche

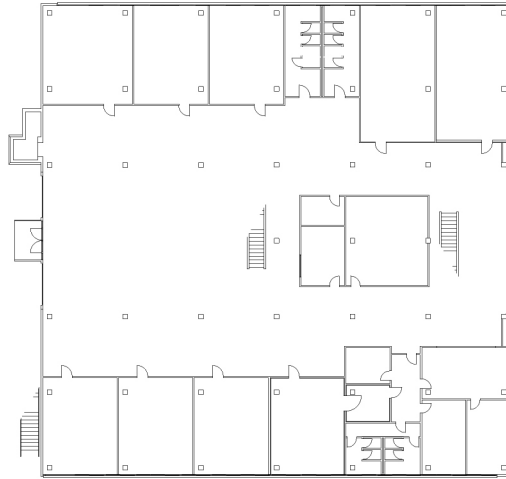
Doppi vetri	sì
Isolamento di copertura	sì
Isolamento pareti	sì
Tipologia impianto di riscaldamento:	centralizzato metano



# SCUOLA SECONDARIA STATALE DI 1° GRADO E. FERMI - VENEZIA



PIANTA PIANO TIPO - SCALA 1:600



## INQUADRAMENTO

### Localizzazione

Indirizzo	via G. B. Tiepolo, 8 Venezia (VE)
Latitudine	45°30'54.1"N
Longitudine	12°12'38.8"
Altitudine s.l.m.	2 m
Zona climatica	E
Vincolo paesistico ambientale	sì

### Morfologia dell'aggregato

N° edifici del complesso	1
Spazi di pertinenza all'aperto	sì
Livello di rumorosità	basso

### Evoluzione del costruito

Progettista	G.Valle-G.Macola
Anno di costruzione	1977
Interventi	no
Vincolo architettonico	no

## ANALISI DEL COSTRUITO

### Dati tecnici

Tipologia edilizia	blocco lineare
Superficie lotto	5.000 m <sup>2</sup>
Superficie coperta	2.038 m <sup>2</sup>
Superficie dell'area libera	2.962 m <sup>2</sup>
Volume lordo	10.723 m <sup>3</sup>
Volume lordo palestra	4.165 m <sup>3</sup>
N° piani fuoriterra	2
N° piani interrati/seminterrato	-
N° alunni	306

### Controlli normativi preliminari

Collaudo statico	no
Adeguamento antisismico	no
Presenza di un piano di evacuazione	sì
Presenza di due uscite antincendio per piano	sì
Presenza di almeno un corpo scale esterno o di un corpo scale antifumo	sì
Presenza di barriere architettoniche	no

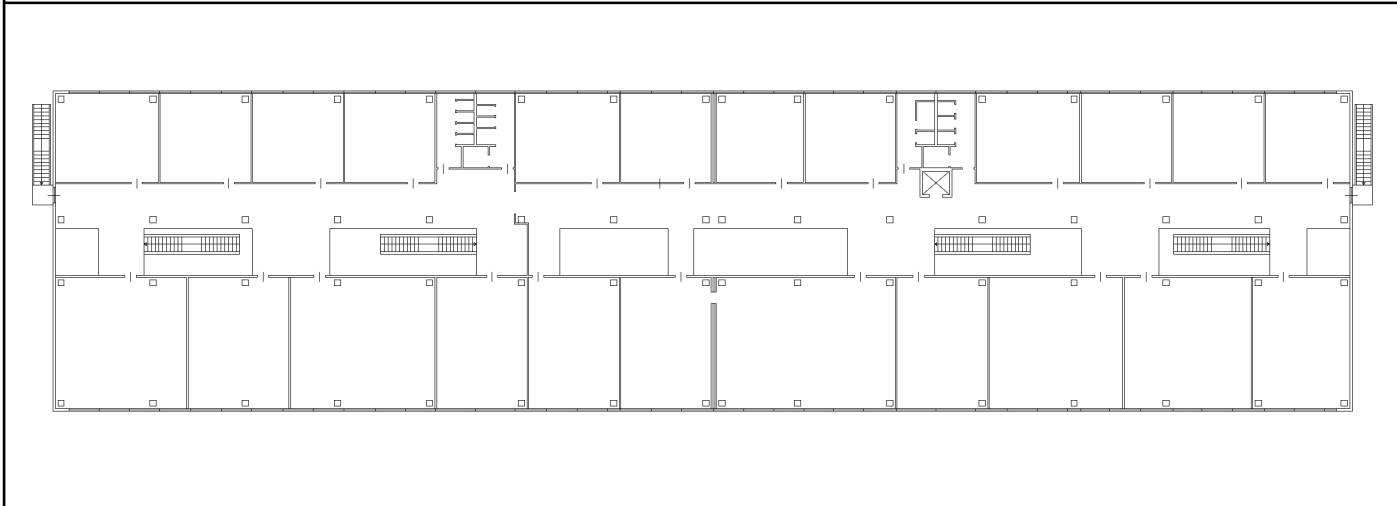
### Prestazioni energetiche

Doppi vetri	sì
Isolamento di copertura	sì
Isolamento pareti	sì
Tipologia impianto di riscaldamento:	centralizzato metano

# ITT SUPERIORE L. NEGRELLI - FELTRE (BL)



PIANTA PIANO TIPO - SCALA 1:600



## INQUADRAMENTO

### Localizzazione

Indirizzo

via Cristoforo Colombo, 11  
Feltre (BL)

Latitudine

46°01'54.0"N

Longitudine

11°54'15.2"

Altitudine s.l.m.

295 m

Zona climatica

F

Vincolo paesistico ambientale

no

### Morfologia dell'aggregato

N° edifici del complesso

1

Spazi di pertinenza all'aperto

sì

Livello di rumorosità

basso

### Evoluzione del costruito

Progettista

G.Valle-G.Macola

Anno di costruzione

1979

Interventi

no

Vincolo architettonico

no

## ANALISI DEL COSTRUITO

### Dati tecnici

Tipologia edilizia

blocco lineare

Superficie lotto

22.100 m<sup>2</sup>

Superficie coperta

5.429 m<sup>2</sup>

Superficie dell'area libera

14.676 m<sup>2</sup>

Volume lordo

33.555 m<sup>3</sup>

Volume lordo palestra

8.903 m<sup>3</sup>

N° piani fuoriterra

2

N° piani interrati/seminterrato

-

N° alunni

522

### Controlli normativi preliminari

Collaudo statico

sì

Adeguamento antisismico

no

Presenza di un piano di evacuazione

sì

Presenza di due uscite antincendio per piano

sì

Presenza di almeno un corpo scale esterno o di un corpo scale antifumo

sì

Presenza di barriere architettoniche

no

### Prestazioni energetiche

Doppi vetri

sì

Isolamento di copertura

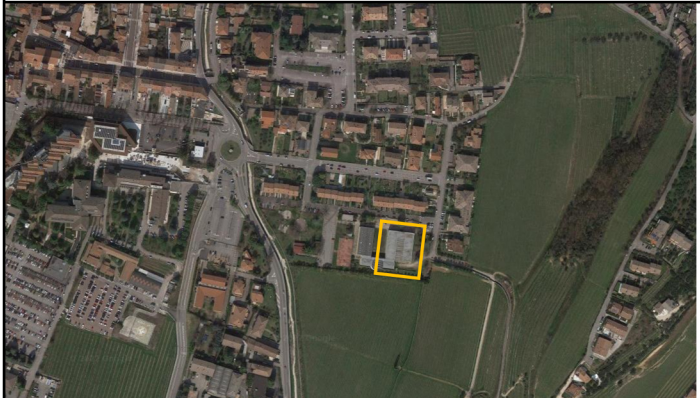
sì

Isolamento pareti

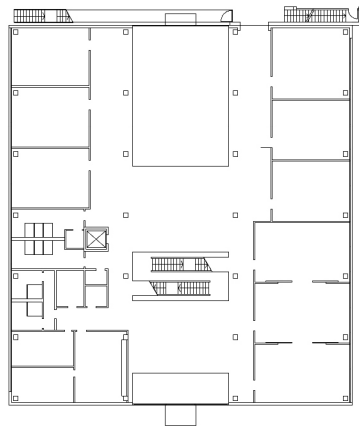
sì

Tipologia impianto di riscaldamento: centralizzato  
metano

# SCUOLA SECONDARIA DI 1° GRADO E. SALGARI- NEGRAR DI VALPOLICELLA (VR)



PIANTA PIANO TIPO - SCALA 1:600



## INQUADRAMENTO

### Localizzazione

Indirizzo	via degli Alpini, 13 Negrar di Valpolicella (VR)
Latitudine	45°31'42.9"N
Longitudine	10°56'34.3"
Altitudine s.l.m.	205 m
Zona climatica	E
Vincolo paesistico ambientale	sì

### Morfologia dell'aggregato

N° edifici del complesso	2
Spazi di pertinenza all'aperto	sì
Livello di rumorosità	basso

### Evoluzione del costruito

Progettista	G.Valle-G.Macola
Anno di costruzione	1980
Interventi	no
Vincolo architettonico	no

## ANALISI DEL COSTRUITO

### Dati tecnici

Tipologia edilizia	blocco lineare
Superficie lotto	8.580 m <sup>2</sup>
Superficie coperta	4.070 m <sup>2</sup>
Superficie dell'area libera	4.510 m <sup>2</sup>
Volume lordo	27.821 m <sup>3</sup>
Volume lordo palestra	3.150 m <sup>3</sup>
N° piani fuoriterra	2
N° piani interrati/seminterrato	1
N° alunni	325

### Controlli normativi preliminari

Collaudo statico	sì
Adeguamento antisismico	no
Presenza di un piano di evacuazione	sì
Presenza di due uscite antincendio per piano	sì
Presenza di almeno un corpo scale esterno o di un corpo scale antifumo	sì
Presenza di barriere architettoniche	sì

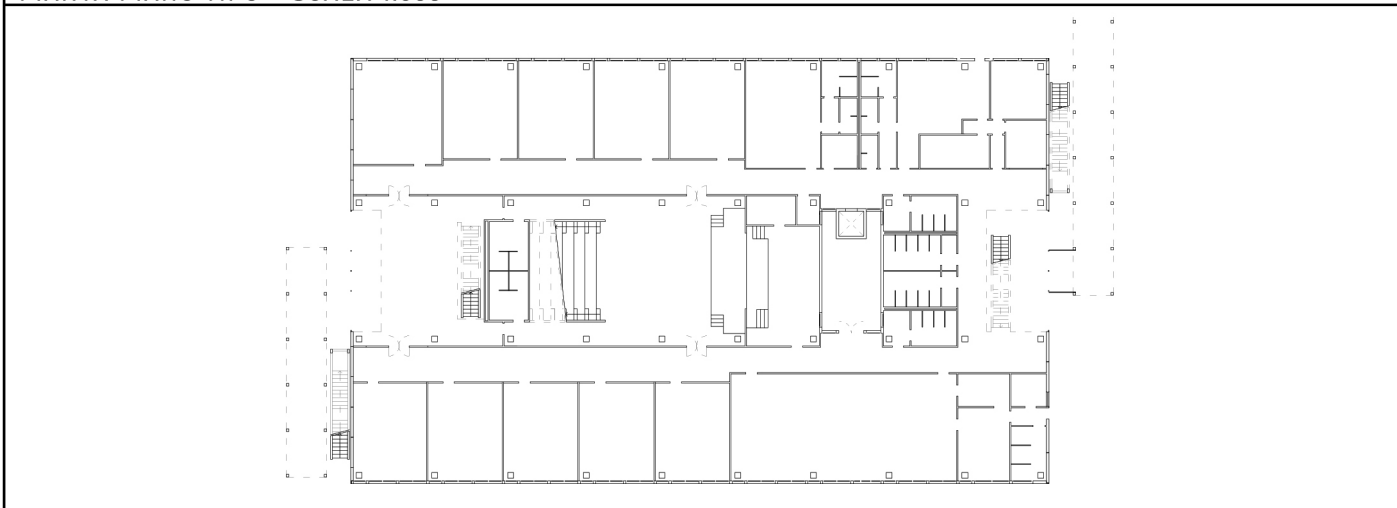
### Prestazioni energetiche

Doppi vetri	sì
Isolamento di copertura	sì
Isolamento pareti	sì
Tipologia impianto di riscaldamento:	centralizzato metano

# SCUOLA SECONDARIA DI 1° GRADO TOSCANINI MORCELLI - CHIARI (BS)



PIANTA PIANO TIPO - SCALA 1:600



## INQUADRAMENTO

### Localizzazione

Indirizzo	via Roccafranca, 7/b Chiari (BS)
Latitudine	45°31'50.9"N
Longitudine	9°55'32.1"
Altitudine s.l.m.	138 m
Zona climatica	E
Vincolo paesistico ambientale	no

### Morfologia dell'aggregato

N° edifici del complesso	2
Spazi di pertinenza all'aperto	sì
Livello di rumorosità	medio

### Evoluzione del costruito

Progettista	Gino Valle
Anno di costruzione	1961-1975
Interventi	sì
Vincolo architettonico	no

## ANALISI DEL COSTRUITO

### Dati tecnici

Tipologia edilizia	blocco lineare
Superficie lotto	8.220 mq
Superficie coperta	2.569 mq
Superficie dell'area libera	5.651 mq
Volume lordo	16.698 mc
Volume lordo palestra	4.274,55 mc
N° piani fuoriterra	2
N° piani interrati/seminterrato	-
N° alunni	561

### Controlli normativi preliminari

Collaudo statico	no
Adeguamento antisismico	no
Presenza di un piano di evacuazione	sì
Presenza di due uscite antincendio per piano	sì
Presenza di almeno un corpo scale esterno o di un corpo scale antifumo	sì
Presenza di barriere architettoniche	no

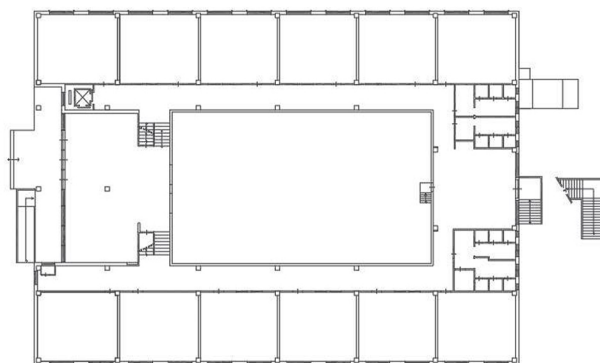
### Prestazioni energetiche

Doppi vetri	sì
Isolamento di copertura	sì
Isolamento pareti	sì
Tipologia impianto di riscaldamento:	centralizzato metano

# SCUOLA SECONDARIA DI 1° GRADO D. ZIPOLI - PRATO (PO)



PIANTA PIANO TIPO - SCALA 1:600



## INQUADRAMENTO

### Localizzazione

Indirizzo	via Mannocci, 23/6 Prato (PO)
Latitudine	43°53'06.9"N
Longitudine	11°03'17.0"
Altitudine s.l.m.	53 m
Zona climatica	D
Vincolo paesistico ambientale	no

### Morfologia dell'aggregato

N° edifici del complesso	1
Spazi di pertinenza all'aperto	sì
Livello di rumorosità	medio

### Evoluzione del costruito

Progettista	sconosciuto
Anno di costruzione	1974
Interventi	no
Vincolo architettonico	no

## ANALISI DEL COSTRUITO

### Dati tecnici

Tipologia edilizia	blocco lineare
Superficie lotto	8.497 m <sup>2</sup>
Superficie coperta	1.427 m <sup>2</sup>
Superficie dell'area libera	7.070 m <sup>2</sup>
Volume lordo	12.412 m <sup>3</sup>
Volume lordo palestra	-
N° piani fuoriterra	2
N° piani interrati/seminterrato	1
N° alunni	443

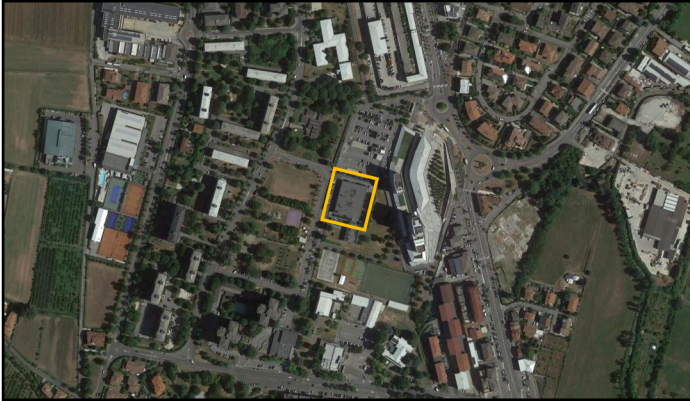
### Controlli normativi preliminari

Collaudo statico	sì
Adeguamento antisismico	no
Presenza di un piano di evacuazione	sì
Presenza di due uscite antincendio per piano	sì
Presenza di almeno un corpo scale esterno o di un corpo scale antifumo	sì
Presenza di barriere architettoniche	no

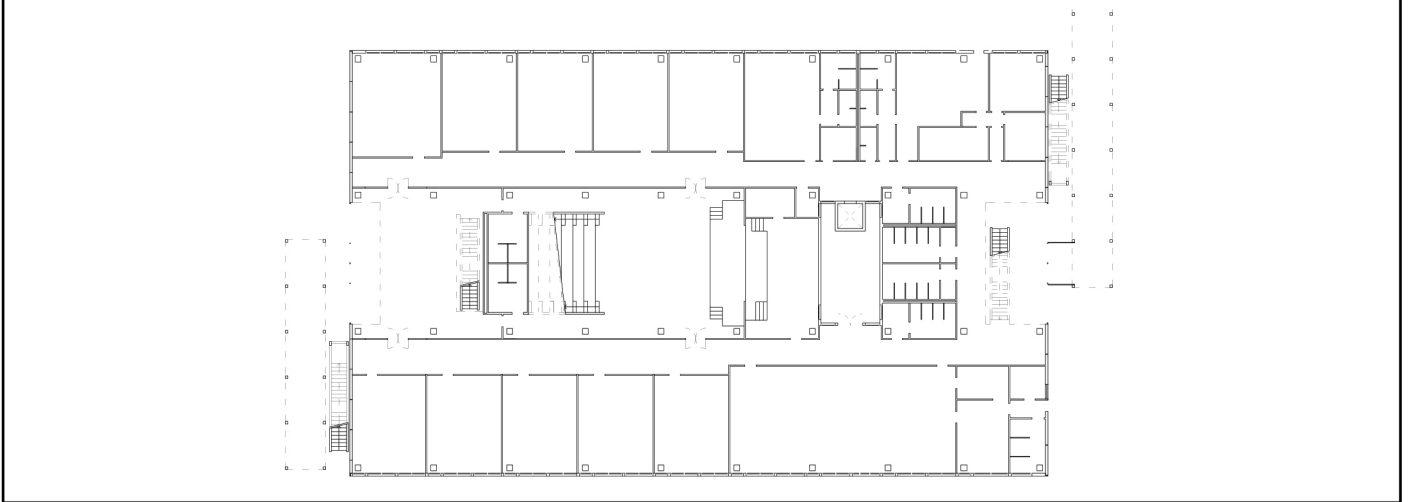
### Prestazioni energetiche

Doppi vetri	sì
Isolamento di copertura	sì
Isolamento pareti	sì
Tipologia impianto di riscaldamento:	centralizzato metano

# OK SCHOOL ACADEMY - BRESCIA



PIANTA PIANO TIPO - SCALA 1:600



## INQUADRAMENTO

### Localizzazione

Indirizzo	via Arturo Reggio, 12 Brescia
Latitudine	45°34'31"N
Longitudine	10°13'43"
Altitudine s.l.m.	170 m
Zona climatica	E
Vincolo paesistico ambientale	no

### Morfologia dell'aggregato

N° edifici del complesso	2
Spazi di pertinenza all'aperto	sì
Livello di rumorosità	basso

### Evoluzione del costruito

Progettista	Gino Valle
Anno di costruzione	1990
Interventi	sì
Vincolo architettonico	no

## ANALISI DEL COSTRUITO

### Dati tecnici

Tipologia edilizia	blocco lineare
Superficie lotto	6.076 mq
Superficie coperta	2.172 mq
Superficie dell'area libera	3.904 mq
Volume lordo	22.571 mc
Volume lordo palestra	3.206,47 mc
N° piani fuoriterra	2
N° piani interrati/seminterrato	-
N° alunni	450

### Controlli normativi preliminari

Collaudo statico	sì
Adeguamento antisismico	sì
Presenza di un piano di evacuazione	sì
Presenza di due uscite antincendio per piano	sì
Presenza di almeno un corpo scale esterno o di un corpo scale antifumo	sì
Presenza di barriere architettoniche	no

### Prestazioni energetiche

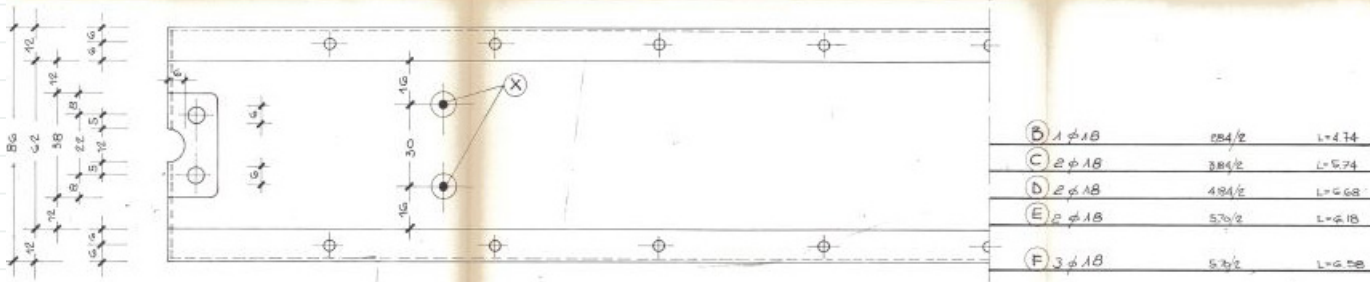
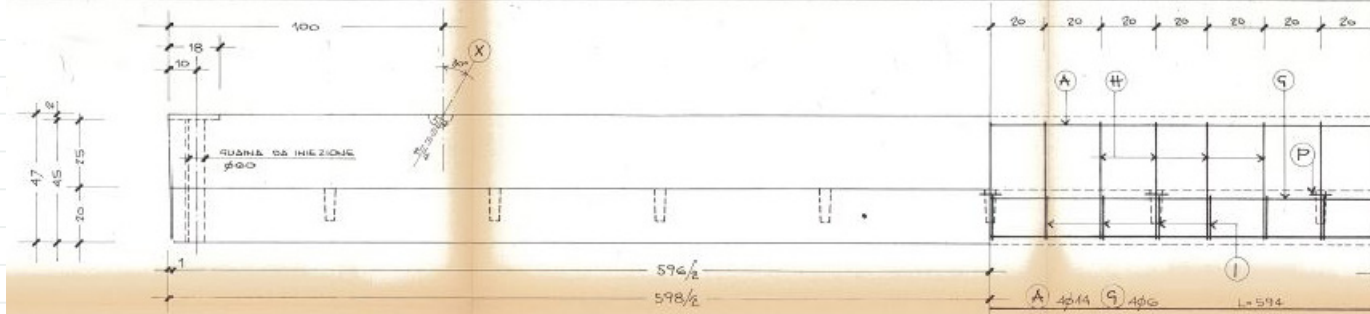
Doppi vetri	sì
Isolamento di copertura	sì
Isolamento pareti	sì
Tipologia impianto di riscaldamento: teleriscaldamento	



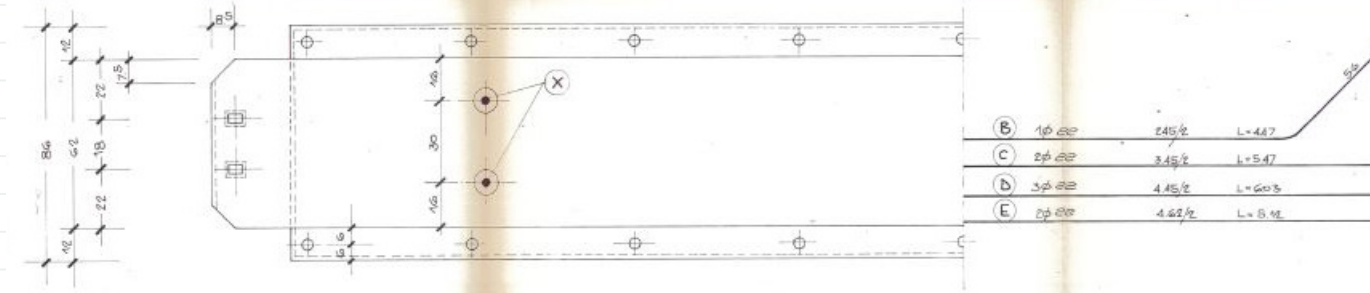
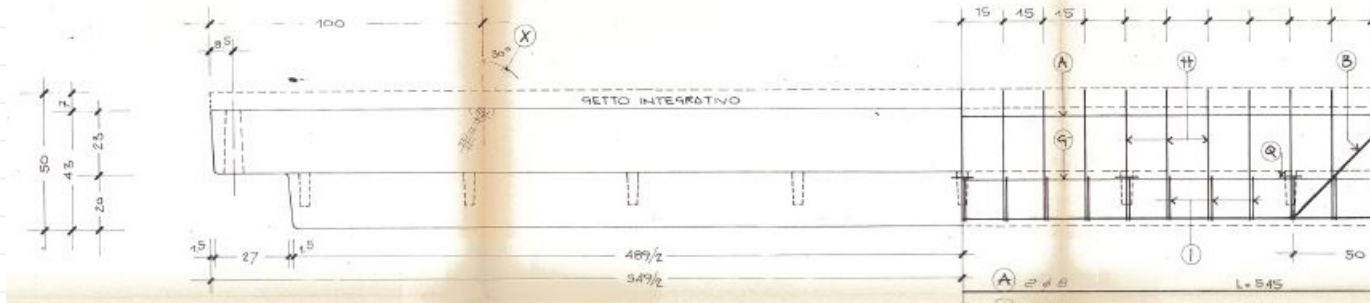
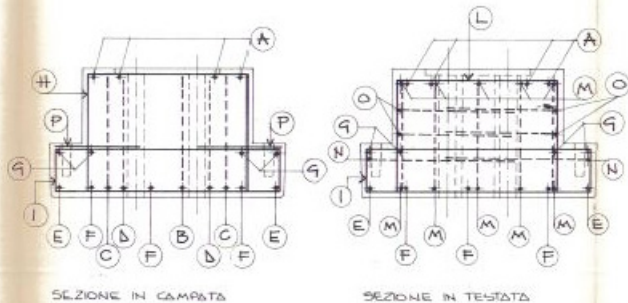
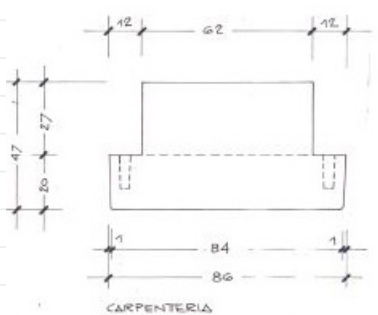
# B

Allegato:  
disegni strutturali  
ufficiali

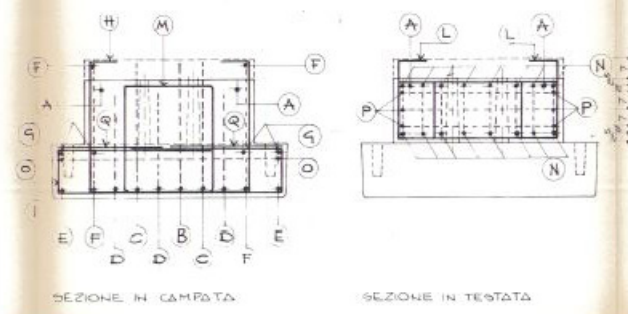
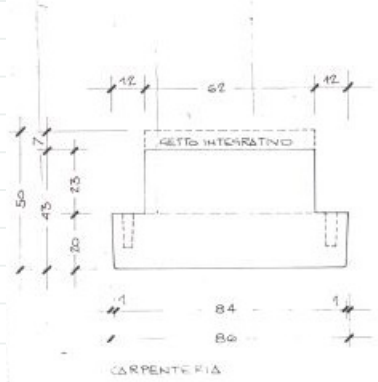


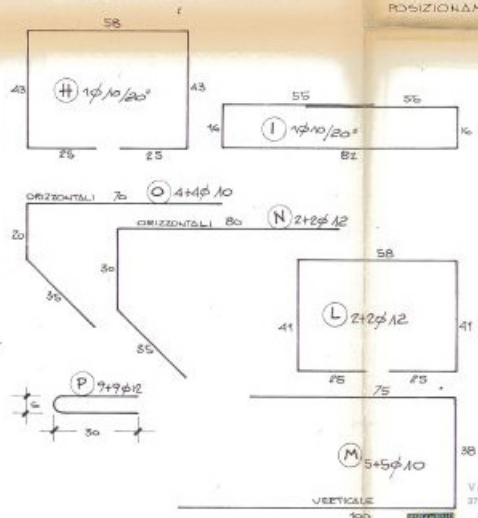
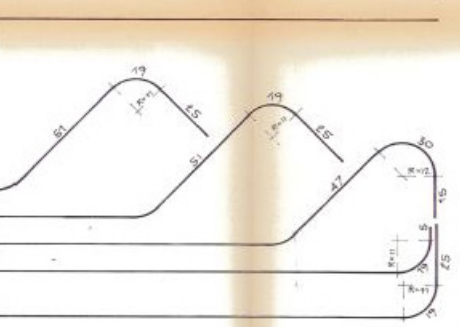
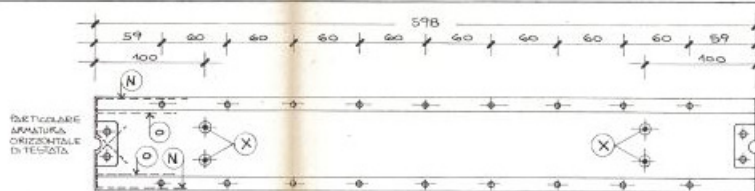
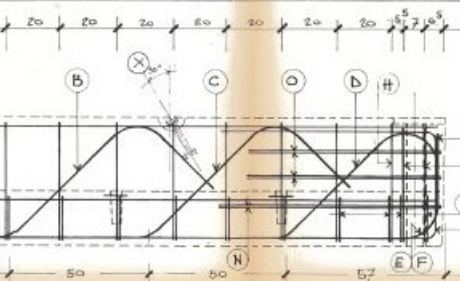


B	1 φ 18	284 1/2	L=474
C	2 φ 18	384 1/2	L=574
D	2 φ 18	484 1/2	L=674
E	2 φ 18	570 1/2	L=760
F	3 φ 18	570 1/2	L=760



A	2 φ 18	489 1/2	L=545
G	4 φ 18	489 1/2	L=545
B	1 φ 20	245 1/2	L=447
C	2 φ 20	345 1/2	L=547
D	3 φ 20	445 1/2	L=647
E	2 φ 20	445 1/2	L=647
F	2 φ 20	462 1/2	L=664





POSIZIONAMENTO FORI ED INSERTI SULLA TRAVE

ARMATURA			TRAVE	
POS.	N°	Ø	TAVOLA	PESO
A	4	14	5,94	29,70
B	1	18	4,74	3,95
C	2	18	5,74	24,11
D	2	18	4,48	29,06
E	2	18	6,48	27,95
F	3	18	6,98	44,45
G	4	6	5,94	5,72
H	27	10	1,74	35,45
I	35	10	2,24	63,62
L	4	12	1,90	7,22
M	10	10	2,13	13,42
N	4	18	4,45	5,51
O	5	10	1,25	3,30
P	18	12	0,42	11,29

ACCIAIO FeB44K TOTALE Kg. 230,70

X	ARMATURA SPERIA SOLLIEVAMENTO DA 4 IN MP4
CALCESTRUZZO R b 3 300 Kg/cm <sup>2</sup> ALLO SBANCO	
CALCESTRUZZO R b k 3 400 Kg/cm <sup>2</sup>	
VOLUME	2,93 m <sup>3</sup>
PESO	30,75 q

VALDADIGE S.p.A.  
VERONA



**valdadige**  
S.p.A. VERONA  
DIVISIONE PREFABBRICATI

COMMESSA  
TAVOLA

Proprietà riservata - A termini di legge, costituisce l'esclusiva proprietà di questo disegno, con divieto di copiarlo, riprodurlo o mostrarlo a terzi, senza nostra autorizzazione scritta.

LAVORO :

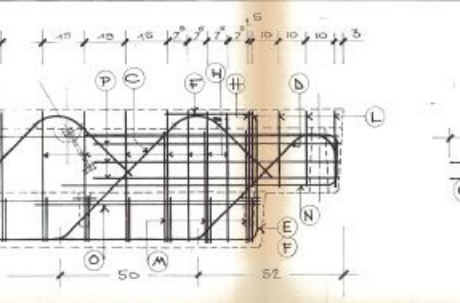
dis. *Valle* visto

OGGETTO: "TI" 600 H=47 COPERTURA  
MAGLIA 600 X 1080 COPERTURA

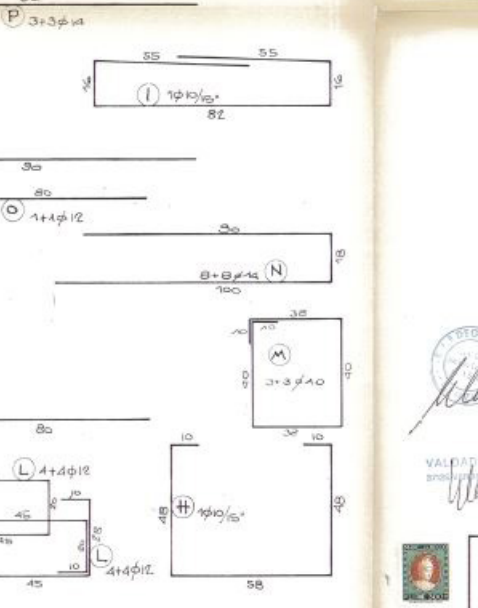
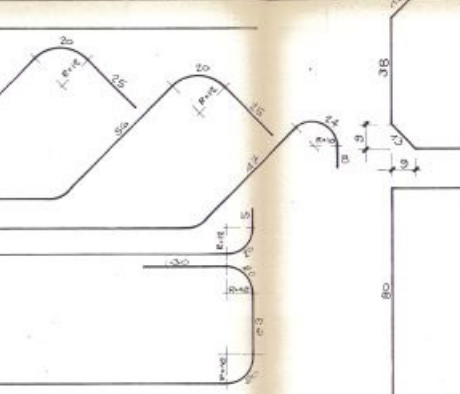
scala 0 10 20 cm data 4-79

CONTRASSEGNO N° 10

agg. agg. sostituisce sostituito da



POSIZIONAMENTO FORI ED INSERTI SULLA TRAVE



ARMATURA			TRAVE	
POS.	N°	Ø	TAVOLA	PESO
A	-2	8	5,46	4,46
B	1	22	4,47	13,30
C	2	22	5,47	34,00
D	3	22	6,03	56,59
E	2	22	5,12	34,84
F	2	22	6,48	40,31
G	4	8	4,88	8,00
H	35	10	1,74	35,92
I	35	10	2,24	49,53
L	12	12	1,78	45,95
M	10	10	1,64	6,20
N	15	14	2,03	24,65
O	2	16	2,40	4,56
P	14	14	2,44	18,30
Q	18	12	0,66	11,16

ACCIAIO FeB44K TOTALE Kg. 370,06

X	ARMATURA SPERIA SOLLIEVAMENTO DA 2 IN MP4
CALCESTRUZZO R b 3 300 Kg/cm <sup>2</sup> ALLO SBANCO	
CALCESTRUZZO R b k 3 400 Kg/cm <sup>2</sup>	
VOLUME	1,62 m <sup>3</sup>
PESO	49,50 q

VALDADIGE S.p.A.  
VERONA



**valdadige**  
S.p.A. VERONA  
DIVISIONE PREFABBRICATI

COMMESSA  
TAVOLA

Proprietà riservata - A termini di legge, costituisce l'esclusiva proprietà di questo disegno, con divieto di copiarlo, riprodurlo o mostrarlo a terzi, senza nostra autorizzazione scritta.

LAVORO :

dis. *Valle* visto

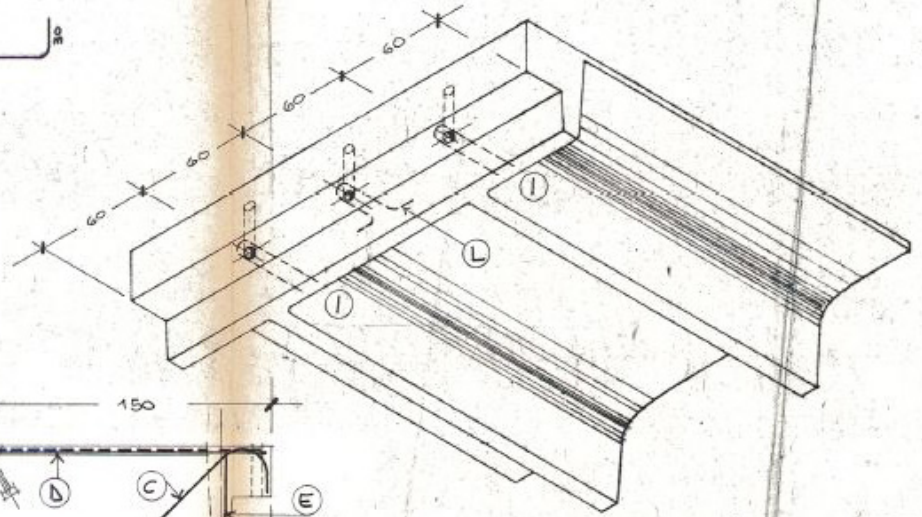
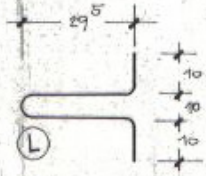
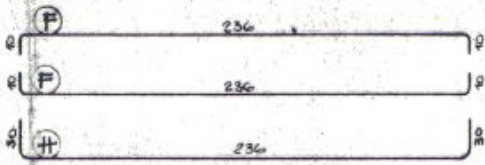
OGGETTO: "TI" 600 H=43 COPERTURA  
MAGLIA 600 X 1080 CON RETTO INTERMEDIO

scala 0 10 20 cm data 4-79

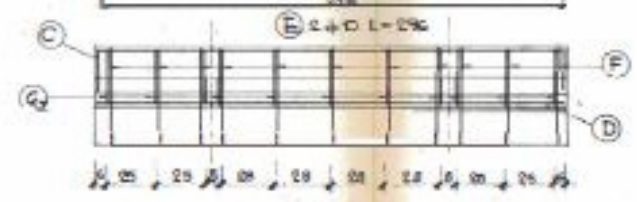
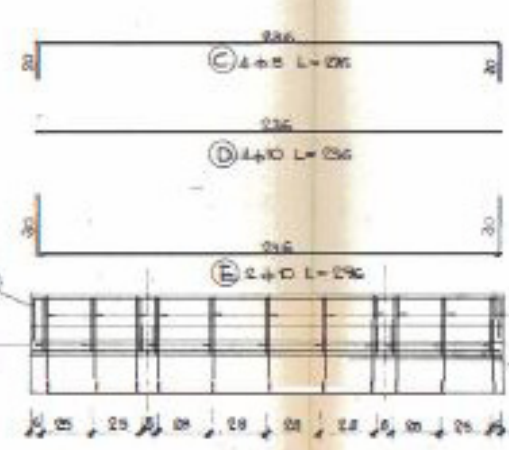
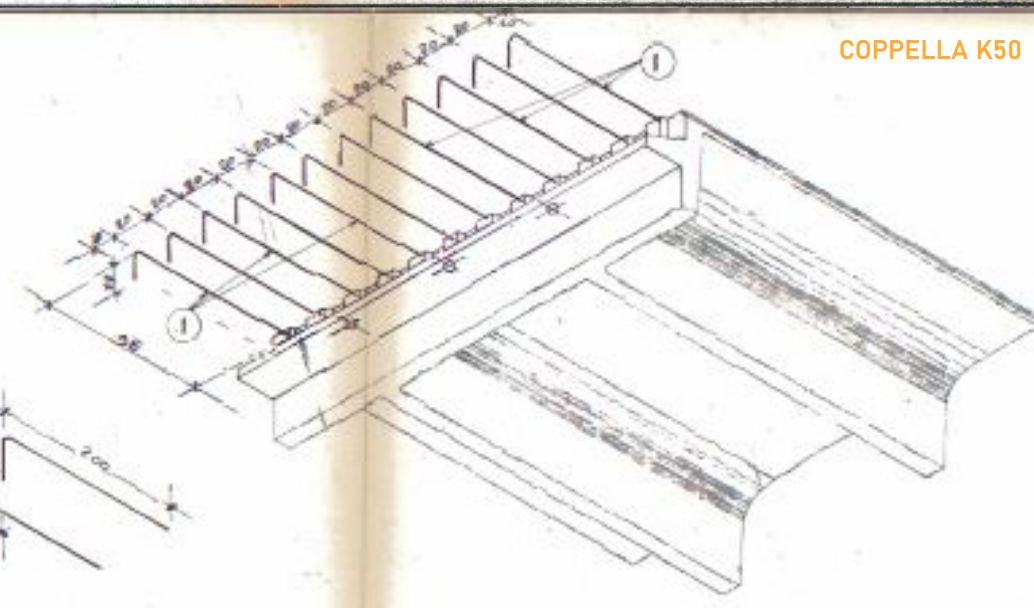
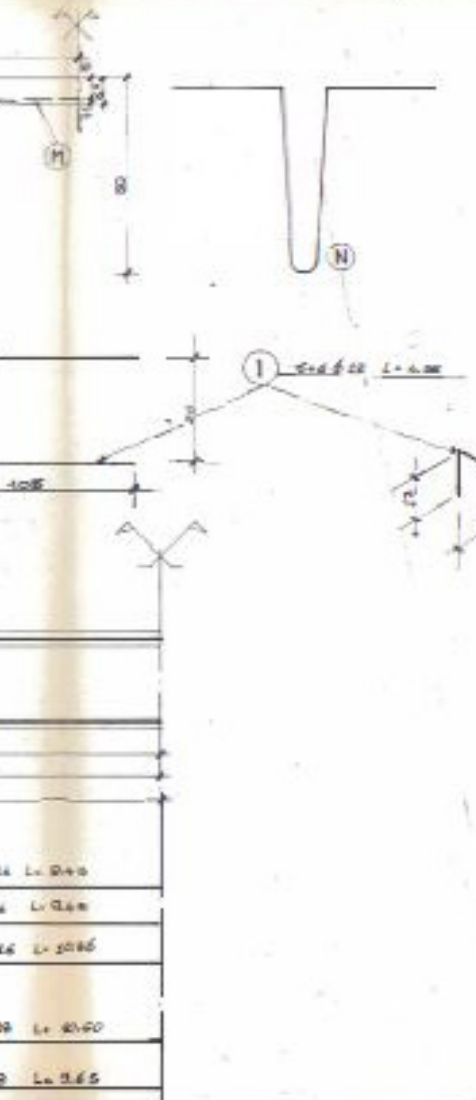
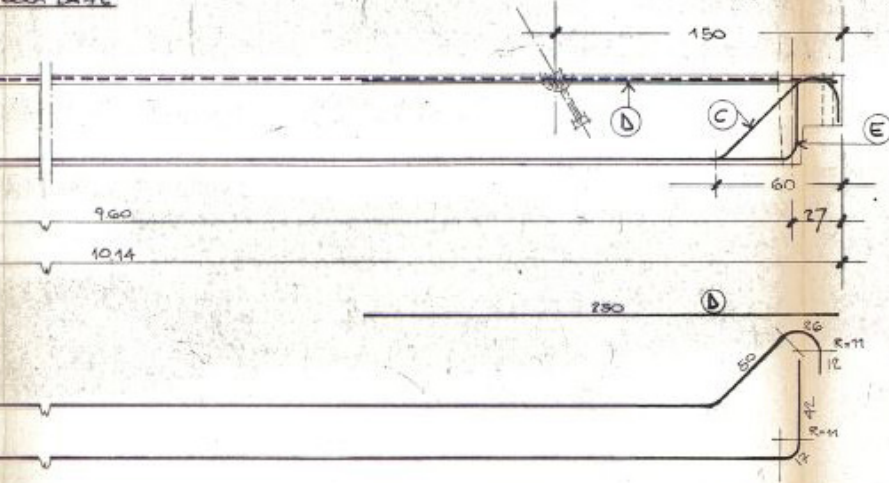
CONTRASSEGNO N° 1

agg. agg. sostituisce sostituito da





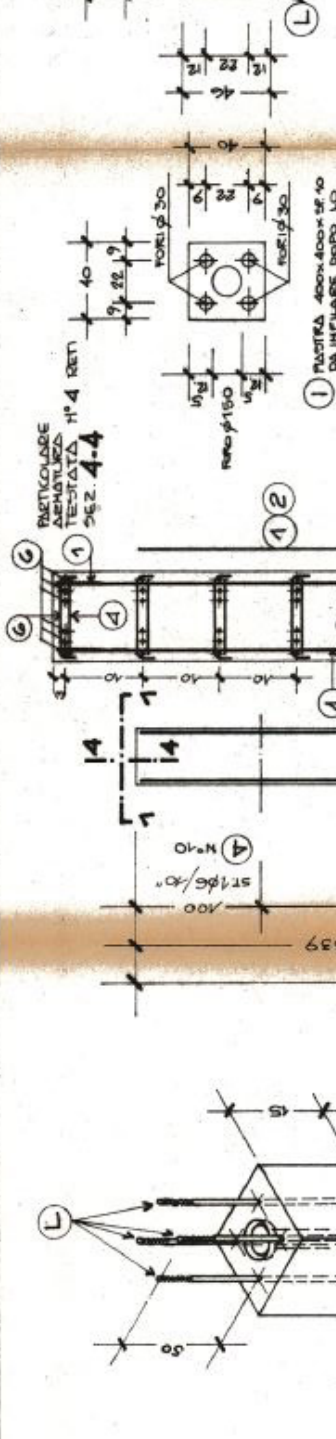
ERICA DA 4t



**PILASTRO**

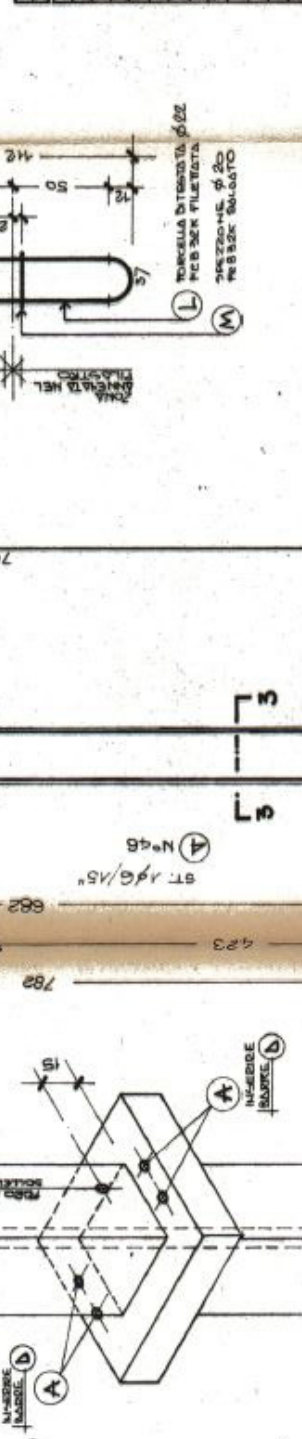
**PIANTA MENSOLO A/1**

**PIANTA TESTATA**



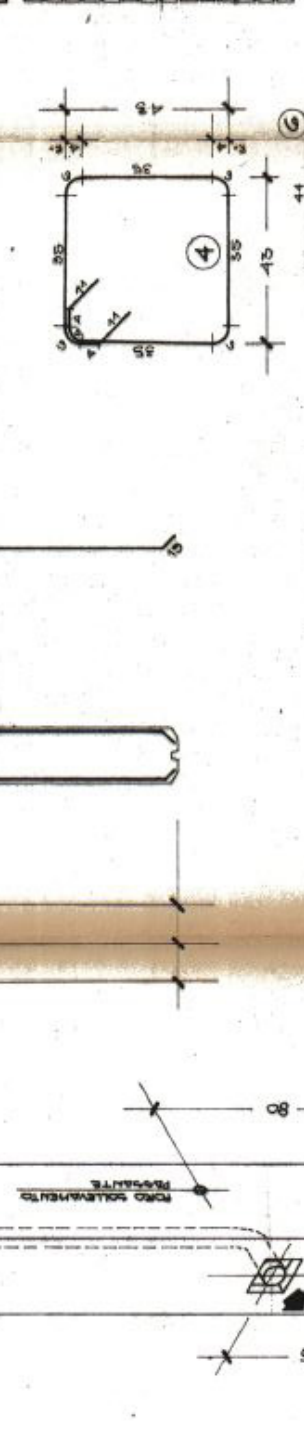
VALIDADIGE S.p.A.  
S.p.A. - VIA ...

TIPO	POSIZIONE	Q	N°	DIAM.	KG	7760	
1	ARMATURA PRINCIPALE VERTICALE	AG	4	783	50.14		
2	ARMATURA PRINCIPALE VERTICALE	AB	8	783	59.51		
4	STAFFE LUNGO IL PILASTRO	G	56	2.00	56.88		
6	MENSOLO INCRONATA ORIZZONTALE DI TESTATA	GA	18	064	7.38		
7	STOFFE PRECISI SULL'INCRONATA	AD	4	1.60	4.03		
TOTALE ACCIAIO P235GH							KG 447.91



TOTALE ACCIAIO P235GH

DIREZIONE	PORTANTE DELLA MENSOLO	PROFILATO	Q	N°	DIAM.	KG
A	DIREZIONE PORTANTE DELLA MENSOLO	PROFILATO	20	4	0.41	4.27
B	PROFILATO	PROFILATO	20	4	0.41	4.27
C	PROFILATO	PROFILATO	20	4	0.41	4.27
D	PROFILATO	PROFILATO	20	4	0.41	4.27
E	PROFILATO	PROFILATO	20	4	0.41	4.27
F	PROFILATO	PROFILATO	20	4	0.41	4.27
G	PROFILATO	PROFILATO	20	4	0.41	4.27
H	PROFILATO	PROFILATO	20	4	0.41	4.27
I	PROFILATO	PROFILATO	20	4	0.41	4.27
J	PROFILATO	PROFILATO	20	4	0.41	4.27
K	PROFILATO	PROFILATO	20	4	0.41	4.27
L	PROFILATO	PROFILATO	20	4	0.41	4.27
M	PROFILATO	PROFILATO	20	4	0.41	4.27
CALCESTRUZZO F.C.K. > 400 KG/CM <sup>2</sup>						
VOLUME 1.76 m <sup>3</sup> PESO 44.00 q						



**validadige**  
VENOVA  
DIVISIONE PREFABBRICATI

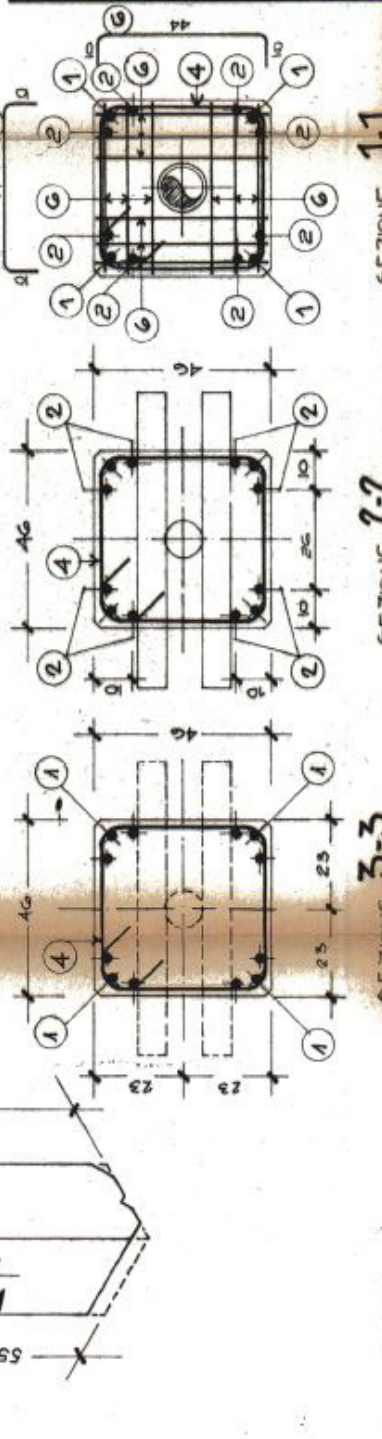
COMMESSA 474.91  
TAVOLA

dis. Valle  
scale 1:10  
agg. C.T.M. 28.280  
date 21-5-79  
agg. 28.280  
sostituisce  
sostituito da

LAVORO : CHIAVEI (BS)  
COPPOLE  
SCUOLE SISTEMA VALLE

OGGETTO : PILASTRO 46x46  
MAGLIA 6.00 X 40.80 ZONA URBANISTICA  
CORPO MALE

CONTRASSEGNO N° 51



SEZIONE 1-1

SEZIONE 2-2

SEZIONE 3-3

1) Copriferro c = 2.5 cm Interferro i = 2.0 cm

- Diametro mandrini per ancoraggi  $\varnothing m \geq 6 \varnothing$  barre
- Diametro mandrino per piegatura staffe  $\varnothing m \geq 4 \varnothing$  staffa
- Diametro mandrino per barre rialzate  $\varnothing m \geq 5 \varnothing$  barre

2) CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

- Calcestruzzo  $R_{bk} \geq 250$  Kg/cm<sup>2</sup>
- Calcestruzzo magro per sottofondo  $R_{bk} \geq 150$  Kg/cm<sup>2</sup>
- Acciaio Fe B 44 K controllato

3) DOSAGGI CONSIGLIATI (purché si verifichi il punto 2)

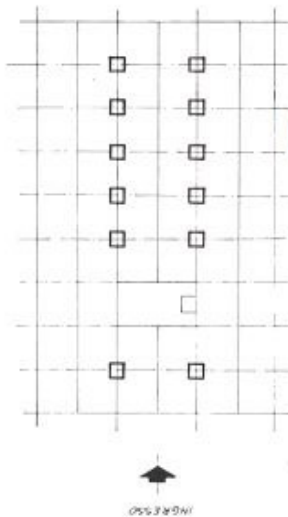
- Cemento AR 425  $\left\{ \begin{array}{l} \geq 3,50 \text{ q.li./mc} \\ \geq 2,00 \text{ q.li./mc per magroni} \end{array} \right.$

4) FUSO GRANULOMETRICO OTTIMALE per dimensione massima deglierti di 20 mm

Dimensioni metri	% in peso	Kg/mc conglomerato
0 - 1 mm	21	4 20
1 - 3 mm	19	3 80
3 - 7 mm	20	4 00
7 - 15 mm	25	5 00
15 - 20 mm	15	3 00

5) E' INDISPENSABILE LA VIBRATURA MECCANICA DEI GETTI

- 6) PRESSIONE MASSIMA SUL TERRENO:  $\sigma \leq 2.5$  Kg/cm<sup>2</sup>
- 7) Il riempimento del pozzetto dei plinti deve essere effettuato con malta espansiva



VALDADIGE S.p.A.  
37026 VERONA - Tel. 0445/210000  
(n. 991)



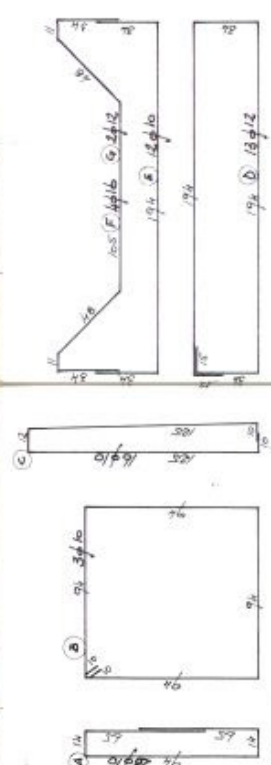
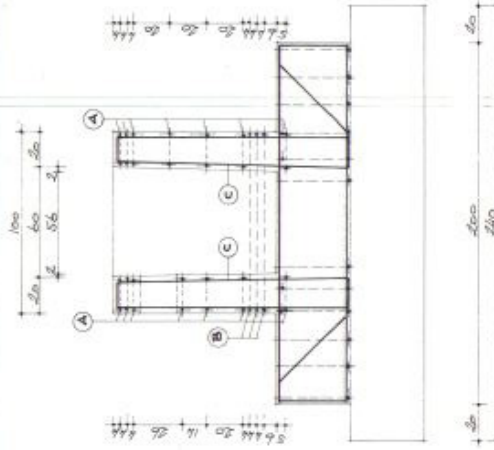
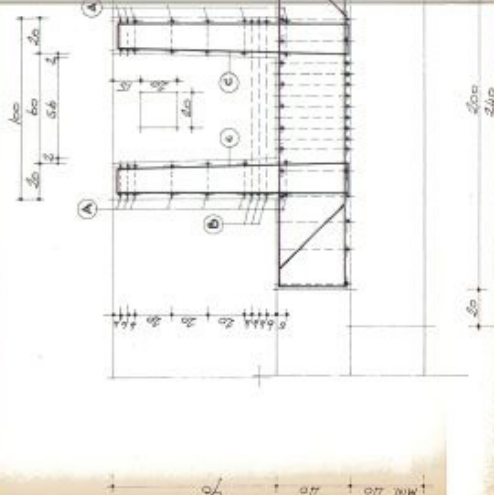
**valdadige** SPA VERONA

COMMESSA 1/3

LAVORO: LOTTONE DI CAGNOLI (BT)  
SIA: RECUPERATA MEDIA RB CONTO ABILE

Oggetto: CARATTERISTICA E ARMATURA PLINTO TPO 3

Scale: 1/20, 1/50, 1/100, 1/150, 1/200, 1/250, 1/300, 1/400, 1/500, 1/600, 1/700, 1/800, 1/900, 1/1000

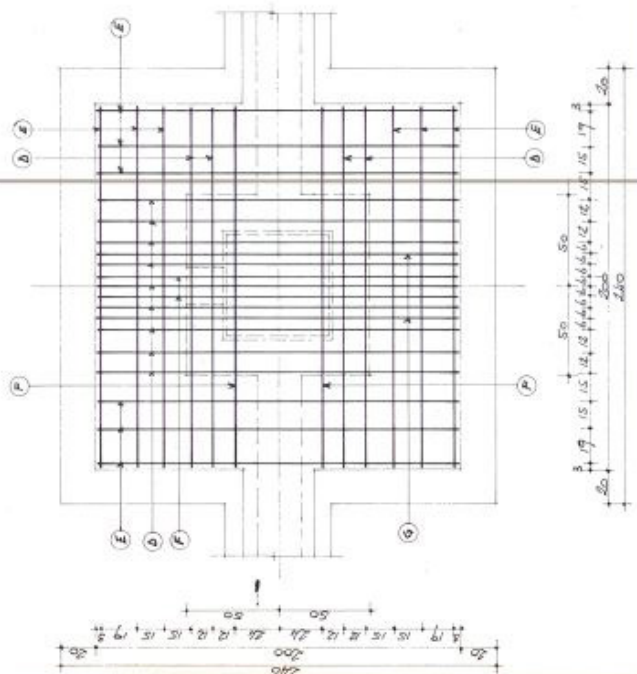
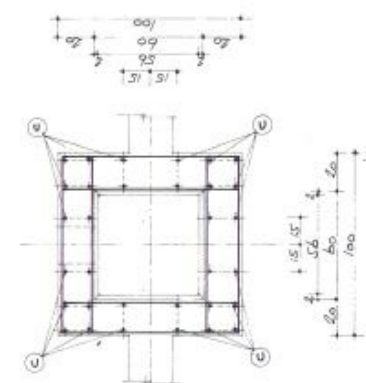


ARMATURA COMPLETA PLINTO

TIPO	q	n°	TABELLA	TOTALE
A	10	28	252	44.45
B	10	3	394	7.44
C	10	16	286	28.43
D	12	18	4.86	60.02
E	10	12	2.06	19.81
F	16	4	2.91	18.62
G	12	2	2.91	5.83
				TOTALE 49
				186.34

MATERIALE DI FORNITURA

MATERIALE	MC	2.30
DA 20 A BICCHIERE	MC	2.30
MALTA ESPANSIVA	MC	0.11



NOTA: LA SOLAIA PRESSIONE DEL TERZO VA RINFORZATA VERSO L'INTERNO DEL PLINTO



## Bibliografia

- S. Girola, L. Luchini, L. Menna, *"Bonaventura 2.0 - Strategie progettuali ed energetiche per la riqualificazione dell'edilizia Scolastica esistente. Applicazione alla Scuola elementare"* E. De Amicis" sita in Lecco, Lecco, 2015.
- D. Meneghello, L. Negri, *"Grade up - Riqualificazione del polo scolastico di Vimercate"*, Lecco, 2018  
G. M. Pulice, M. Lanza, P. Massetti *"Re\_FIL - RETro-Fitting inclusivo con sistemi di prefabbricazione in Legno per la riqualificazione energetica di edifici residenziali. Applicazione ad un caso studio a Brescia"*, Lecco, 2021
- S. Pennisi, *"La conoscenza e la manutenzione degli edifici scolastici - Le scuole a Palermo dal Secondo Dopoguerra"*, Palermo, 2013
- A. Framarin, *"La prefabbricazione nell'edilizia residenziale contemporanea i sistemi Nidyon ed In.Nova: Confronto nell'Applicazione Esecutiva e Costruttiva ad un caso studio"*, Vicenza, 2013.
- M. D'Avino, *"Strategie per la riqualificazione degli edifici residenziali realizzati con procedimenti prefabbricati bidimensionali"*, Napoli, 2018
- R. Dal Pino, *"Collegamenti di elementi prefabbricati in C.A.P."*, Pisa, 2009
- S. Secchi, *"Fondamenti di illuminotecnica Artificiale e naturale"*, Firenze, 2013
- F. Imperiale, *"Luce e spazio nei nuovi ambienti di apprendimento - Una proposta progettuale per l'Istituto Drovetti di Torino"*, Torino, 2018
- L. Bacci, A. L. Vinciguerra, C. Mazzotti, M. Savoia, *"La messa in sicurezza delle scuole a struttura prefabbricata in Bologna"*, Bologna, 2012
- E. Dassori, *"La prefabbricazione in calcestruzzo - Guida all'utilizzo nella progettazione"*, Milano, BE-MA, 2001
- MIUR, Fondazione Agnelli, *"Rapporto nazionale dell'anagrafe dell'edilizia scolastica"*, Laterza, 2020
- I. Bucciarelli, G. Moscato, L. Tosi *"MIUR, Linee guida per l'implementazione dell'idea"*, 2016
- MIUR, INDIRE, *"Spazi educativi - 1+4 spazi educativi per la scuola del terzo millennio"*, Firenze, 2018
- Legambiente, *"Ecosistema scuola XVIII Rapporto di Legambiente sulla qualità dell'edilizia scolastica, delle strutture e dei servizi"*, Roma 2017
- Legambiente, *"Ecosistema scuola - XXI Rapporto di Legambiente sulla qualità dell'edilizia scolastica e dei servizi"*, Roma 2021
- G. Cannella, S. Chipa M. E. Cigognini, M. Pieri, *"Avanguardie educative - Linee guida per l'implementazione dell'idea - Apprendimento differenziato"*, 2017
- D. Pepe. M. Rossetti, *"Progetti di scuole innovative, Maggioli, Santarcangelo di Romagna"*, 2016
- S. Sarzi Sartori, *"Genitori e scuola - Dalla rappresentazione alla partecipazione"*, Trento, Saturnia, 2005
- G. Gugliormella, *"Industrializzazione e prefabbricazione nell'edilizia scolastica - L'evoluzione dell'edilizia scolastica industrializzata in Italia"*, Roma: A.I.T.E.C., 1966.
- D. Bellotti, C. Casotto, H. Crowley, F. Germagnoli, *"Capannoni monopiano prefabbricati: distribuzione probabilistica dei sistemi e sottosistemi strutturali dagli anni sessanta ad oggi"*, 2014
- D. Longhi, R Rampazzo, *"Novecento - Architetture e città del Veneto"*, Regione del Veneto, Il Poligrafo, 2012



P. Mestriner, G. Venturelli, P. Vitali, L. Marioni,  
*"ARK - Scuole. Lo spazio dei bambini"/n°2*, L'Eco  
di Bergamo, Bergamo, Sesaab Spa, 2010

D. Bellotti, *"Progettazione di interventi di adeguamento per edifici industriali prefabbricati: analisi, modellazione e progettazione"*, Mantova, 2014

G. Fabbroncino, *"Capannoni monopiano prefabbricati: distribuzione probabilistica dei sistemi e sottosistemi strutturali dagli anni sessanta ad oggi"*, Napoli, 200

## Sitografia

- [www.indire.it/progetto/architetture-scolastiche](http://www.indire.it/progetto/architetture-scolastiche)
- <https://www.researchgate.net/publication/272385415>
- <http://www.quaderniclaresi.it/>
- <https://www.pozzoetrusco.it/>
- <https://sites.google.com/site/daccilavinia/storia/istruzione-italiana-e-tedesca-durante-la-seconda-guerra-mondiale>
- <https://epale.ec.europa.eu/it>
- <https://darioepasquale.it/la-scuola-italiana-nella-storia-le-riforme-scolastiche-degli-anni-70-90/>
- <http://www.worldsocialagenda.org/3.2-Rapporto-Delors/>
- <http://www.lombardiabeniculturali.it/archivi/complessi-archivistici/>
- <http://www.senato.it/japp/bgt/showdoc/>
- <https://www.conibambini.org/osservatorio/la-condizione-delledilizia-scolastica-e-la-sfida-del-pnrr/>
- <https://www.torinofascuola.it/>
- <https://www.unidprofessional.com/buona-scuola-legge-107/>
- <https://pnrr.istruzione.it/>
- <http://www.scuoleinnovative.it/quando-la-didattica-cambia-lo-spazio/>
- <https://www.inconcreto.net/6758-edifici-industriali-prefabbricati-studio-di-una-tipologia-di-collegamento-tegolo-trave-contro-la-perdita-di-appoggio/>
- <https://www.mygreenbuildings.org/2014/11/24/riqualificazione-energetica-edifici-popolari-prefabbricati.html>
- <https://www.teknoring.com/guide/guide-edilizia-e-urbanistica/anagrafe-nazionale-edilizia-scolastica/>
- [https://www.istruzione.it/edilizia\\_scolastica/](https://www.istruzione.it/edilizia_scolastica/)
- <https://rosanbosch.com/en/project/vittra-school-telefonplan>
- <https://www.architonic.com/it/project/3xn-orestad-college/>
- <https://hellerupskole.aula.dk/>
- <http://www.comprensivocolombo.edu.it/istituto/>
- <http://icleonardodavincivenezia.edu.it/la-scuola/>
- <https://www.icnegrar.edu.it/>
- <https://www.gandhiprato.edu.it/>
- <https://www.cfpbrescia.eu/scuola/ok-schola-brescia>
- <https://www.comune.chiari.brescia.it/visitachiari.asp>
- <https://www.tuttitalia.it/lombardia/67-chiari/statistiche/popolazione-andamento-demografico/>
- <https://www.puntosicuro.it/sicurezza-sul-lavoro-C-1/tipologie-di-rischio-C-5/luoghi-di-lavoro-C-48/l-illuminazione-naturale-artificiale-degli-ambienti-di-lavoro-AR-15080/>
- <https://www.luxemozione.com/2019/02/controllo-dellabbigliamento-ugr-unified.html>
- <https://www.soladria.it/>
- <https://www.teknoring.com/>
- <https://www.aipe.biz/mondo-eps/>
- <https://www.deltaprefabbricati.com/prodotti-deltaprefabbricati/coppella-binervata/>
- <https://www.basf.com/it>
- <http://gruppoporon.com/prodotti/neodur-rooftop/>
- <https://www.lisolante.it/>
- <https://nordcompensati.com/compensati/>
- <https://www.campustore.it/arredo-didattico.html>
- <https://www.arredalab.it/prodotti/>



# Indice immagini

## Capitolo 01

- fig.1 Una classe di scuola femminile degli anni '50
- fig.2 Laboratorio di Ebanisteria dove Ambrogio Fossati fu tra i primi insegnanti", 1922
- fig.3 "Meeting of the Commission of the European Communities presided by Jacques Delors, in office from 7 January 1985 to 5 January 1989."
- fig.4 Prima Community School, eretta nel 1916 in DeMun Avenue a Clayton, costituito da un edificio di quattro stanze
- fig.5 Il triangolo dello sviluppo
- fig.6 Lo schema 4+1 spazi educativi
- fig.7 Spazio di gruppo open, Orestad Gymnasium, Danimarca
- fig.8 Spazio di gruppo Istituto di Istruzione Superiore "Pietro Scalcerle", Padova
- fig.9 Agorà, Ørestad Gymnasium School, Copenhagen
- fig.10 Agorà, Hellerup Skole, Hellerup
- fig.11 Spazio informale, Ørestad Gymnasium School, Copenhagen
- fig.12 Spazio informale, Hellerup Skole, Hellerup
- fig.13 Spazio individuale, Telefonplan Vittra School, Stoccolma
- fig.14 Spazio individuale "Thea cave", Telefonplan Vittra School, Stoccolma
- fig.15 Laboratorio di canto, Scuola media Pascoli, Torino
- fig. 16 Science lab, Telefonplan Vittra School, Stoccolma
- fig.17 Vista esterna Ørestad Gymnasium School, Copenhagen
- fig.18 Sistema connessione interna Ørestad Gymnasium School, Copenhagen
- fig.19 Piante Ørestad Gymnasium School, Copenhagen
- fig.20 Atrio Ørestad Gymnasium School, Copenhagen
- fig.21 Postazione individuale pc, Ørestad Gymnasium School, Copenhagen
- fig.21 Postazione individuale pc, Ørestad Gymnasium School, Copenhagen
- fig.23 Vista esterna Telefonplan Vittra School, Stoccolma
- fig. 24 Piante Telefonplan Vittra School, Stoccolma

- fig. 25 "Il villaggio", Telefonplan Vittra School, Stoccolma
- fig. 26 Dance lab, Telefonplan Vittra School, Stoccolma
- fig.27 Nicchie di concentrazione, Telefonplan Vittra School, Stoccolma
- fig. 28 Vista esterna Agorà, Hellerup Skole, Hellerup
- fig. 29 Pianta tipo Hellerup Skole, Hellerup
- fig. 30 Scale ingresso Hellerup Skole, Hellerup
- fig.31 "Home base", Hellerup Skole, Hellerup
- fig. 32 Spazio informale flessibile Hellerup Skole, Hellerup
- fig.33 Spazio informale flessibile Hellerup Skole, Hellerup

## Capitolo 02

- fig. 1 The portable Cottage, John Manning, 1830
- fig.2 Coalbrookdale Company Bridge, 1807
- fig.3 Joseph Paxton, The Crystal Palace at Sydenham Hill, Londra, 1851
- fig.4 James Bogardus, Factory, New York City, 1848-49
- fig.5 Le Corbusier, la Maison Domino, 1914
- fig.6 Lloyd Wright, The Usonian Homes, 1939
- fig.7 principali sezioni di travi prefabbricate
- fig.8 principali sezioni di elementi di impalcato prefabbricato
- fig.9 principali sezioni di elementi di tegoli alari di copertura
- fig.10 principali tipologie di pilastri prefabbricati
- fig.11 sistema di fondazione con plinto a pozzetto
- fig.12 tipologie di pannelli di tamponamento prefabbricati
- fig.13 schema elementi costitutivi pannello di tamponamento alleggerito
- fig.14
- fig.15
- fig.16 morfologia delle teste dei pilastri
- fig.17
- fig.18 possibili soluzioni di collegamento impalcato/trave (RDB, 2004)
- fig.19 collegamenti pannello - struttura
- fig.20 schema sistema longitudinale
- fig.21 schema sistema incrociato

fig.22 schema sistema trasversale  
fig.23 schema sistema S8GS  
fig.24 schema strutture a ossatura portante  
fig.25 schemi funzionamento sistema K  
fig.26 schema strutture a celle spaziali  
fig.27 schema sistema "a L"  
fig.28 sistema costruttivo S.C.A.C S.p.A  
fig.29 schema sistema Grossetto  
fig.30 montaggio elementi di facciata  
fig.31 schema degli elementi costitutivi il pannello  
fig.32 posa in opera pannello di solaio prefabbricato  
in cemento armato con sistema francese Estiot  
fig.33 sezione verticale di un pannello di facciata  
fig.34 carpenteria di un pannello di solaio prefabbricato  
fig.35 interno della palestra della scuola media di Milano realizzata con solai con nervature portanti  
fig.36 Il cantiere di prefabbricazione a pie' d'opera installato per la costruzione di un edificio scolastico nel quartiere « Quipp », Torino  
fig.37 Posizionamento dei pannelli di facciata per la costruzione di una scuola in via Pisacane a Torino  
fig.38 montaggio della struttura di un edificio scolastico composta da elementi prefabbricati  
fig.39 giunto tra il plinto di fondazione e il primo solaio  
fig.40 giunto tra pannello verticale portante e le travi su cui poggiano le lastre di solaio  
fig.41 vista interna dell'aula laboratorio realizzata per la Facoltà di Architettura di Roma  
fig.42 logo valdadige  
fig.43 foto interna scuola media chirignago in cui si evince il sistema di aggregazione delle aule attorno allo spazio comune  
fig.44 vista assonometrica, pianta e schema compositivo della scuola media di Chirignago (Venezia)  
fig.45 foto interna scuola media chirignago in cui si evince il sistema della scala  
fig.46 sistema di illuminazione in una scuola Valdadige  
fig.47 Particolare di plinto a bicchiere  
fig.48 pilastro con allargamento per l'alloggiamento delle travi  
fig.49 elementi prefabbricati di solaio in calce-

struzzo  
fig.50 vista esterna di una scuola Valdadige  
fig.51 vista dasotto la pensilina di collegamento

### Capitolo 03

fig. 1 percentuale di edifici scolastici classificati come vetusti (2018)  
fig.2 interventi per il contenimento del contagio a scuola  
fonte  
fig.3 percentuali degli edifici accessibili e dotati di certificazioni di sicurezza, investimenti e manutenzione divisi per zone di territorio nazionale  
fig.4 classificazione degli edifici in base alla sicurezza e la zona sismica  
fig.5 vista interna scuola media Enrico Fermi, Torino - pre-intervento  
fig.6 vista interna scuola media Enrico Fermi, Torino - post-intervento  
fig.7 vista interna scuola media Giovanni Pascoli, Torino - pre-intervento  
fig.8 vista interna scuola media Giovanni Pascoli, Torino - post-intervento  
fig.9 grafico temporale della densità di costruzione edilizia degli edifici scolastici dal 1700 ai giorni nostri  
fig.10 schema delle problematiche a livello strutturale riscontrati sugli edifici scolastici e relative percentuali  
fig.11 schema delle fonti di consumo nelle scuole italiane  
fig.12 schema delle dei consumi delle scuole italiane suddivisi per grado scolastico  
fig.13 fasi del procedimento proposto dal progetto per la riqualificazione degli edifici scolastici  
fig.14 grafico delle percentuali di edifici scolastici con certificazione energetica, suddivisi per classe energetica  
fig.15 schema dei principali interventi realizzati sugli edifici scolastici  
fig.16 schema temporale sulle tipologie architettoniche degli edifici scolastici nel XX secolo  
fig.17 grafico sull'andamento della popolazione scolastica italiana ipotizzata dal 2019 al 2030  
fig.18 variazione nel numero di classi/sezioni previste dal 2019 al 2030  
fig.19 vista interna scuola media Enrico fermi,

Mantova fig.20 vista interna istituto comprensivo IC9-Bologna

fig.21 vista interna istituto comprensivo statale di Cadeo e Pontenure

fig.22 vista interna scuola Pablo Picasso, Amsterdam

#### Capitolo 04

fig.1 individuazione periodo storico in cui reperire il parco edilizio su cui verterà l'indagine

fig.2 edificio prefabbricato in cls con struttura a telaio prefabbricata e pannelli di tamponamento

fig.3 evoluzione delle mappe di pericolosità sismica: 1909, 1930, 1962, 1980, 1998 e 2003

fig.4 nodo tra pilastro e travi prefabbricate, con elementi di solaio di copertura in appoggio

fig.5 rappresentazione grafica della pericolosità sismica di base sul territorio italiano

fig.6 aula e spazio distributivo di una scuola romana

fig.7 schermata SNAES - dati anagrafici edificio scolastico

fig.8 schermata SNAES - ricerca edifici scolastici

fig.9 schermata SNAES - vincoli edifici scolastici

fig.10 scheda catalogazione - sezione fotografica

fig.11 scheda catalogazione - inquadramento

fig.12 scheda catalogazione - analisi del costruito

#### Capitolo 05

fig.1 vista esterna scuola media Pietro Calamandrei fig.2 vista interna scuola media Pietro Calamandrei - aula di musica

fig.3 vista esterna scuola primaria C. Colombo

fig.4 vista interna

fig.5 vista esterna scuola media Di Vittorio

fig.6 vista interna scuola media Di Vittorio - corridoi

fig.7 vista esterna scuola media E. Fermi

fig.8 vista interna scuola media E. Fermi - spazio collettivo a doppia altezza

fig.9 vista esterna scuola superiore L.Negrelli

fig.10 vista interna scuola superiore L.Negrelli - percorsi orizzontali

fig.11 vista esterna scuola media E.Salgari

fig.12 vista esterna scuola media E.Salgari - accesso pedonale

fig.13 vista esterna scuola superiore A.Toscanini

fig.14 vista interna scuola superiore A.Toscanini - teatrino

fig.15 vista esterna scuola media D.Zipoli

fig.16 vista esterna scuola media D.Zipoli - ingresso principale

fig.17 vista esterna scuola professionale OK School Academy

fig.18 vista interna scuola professionale OK School Academy- spazio eventi

fig.19 schema dei poli scolastici di Chiari in cui si evince la loro posizione rispetto al centro storico

fig.20 vista esterna ITCG Einaudi - edificio originario fig.21 vista esterna ITCG Einaudi - edificio di ampliamento

fig.22 vista esterna Istituto Comprensivo Città di Chiari - edificio originario

fig.23 vista interna Istituto Comprensivo Città di Chiari - edificio di ampliamento

fig.24 vista esterna scuola media A. Toscanini

fig.25 vista esterna scuola media S. Morcelli

fig.26 render vista esterna

fig.27 render vista interna - palestra di progetto

fig.28 ingresso ex cava Betongamma

fig.29 vista aerea ex cava Betongamma

#### Capitolo 06

fig.1 Localizzazione di Chiari nella Regione Lombardia fig.2 Confini della città di Chiari e paesi confinanti

fig.3 Disegno dell'epoca raffigurante la Battaglia di Chiari

fig.4 cortile della fondazione Morcelli-Repossi

fig.5 pianta piano terra fondazione Morcelli-Repossi

fig.6 pinacoteca Reposi, Galleria dei Ritratti

fig.7 Nucleo insediativo racchiuso da doppio fossato ad andamento

fig.8 Villaggio difeso da palificata lignea (IX-X secolo)

fig.9 Castello con fortificazione in muratura (XI-XIII secolo)

fig.10 Città murata viscontea con Rocca (fine XIV secolo)

fig.11 Tratto della Roggia Castrina e torre dell'acquedotto

fig.12 Via Roccafranca, strada romana in corso di scavo

fig.13 tavola inquadramento urbanistico  
 fig.14 l' "anima rurale" di Chiari-vista delle campagne con cascine e rogge  
 fig.15 l' "anima urbana" di Chiari-il centro urbano  
 fig.16 della viabilità a scala urbana  
 fig.17 tavola del sistema insediativo  
 fig.18 tavola del sistema del verde e della obilità dolce  
 fig.19,20 viste dei percorsi ciclo-pedonali sicuri  
 fig.21 tavola delle analisi climatiche  
 fig.21 tavola della SWOT  
 fig 23 centro storico di Chiari- Museo dell Città  
 fig 24 area produttiva dismessa, ex NK  
 fig 25 area di progetto - scuola Toscnini  
 fig.26 ex cava Betongmma  
 fig 27 grafici e statistiche su dati ISTAT al 31 dicembre di ogni anno a Chiari  
 fig 28 grafici e statistiche su dati ISTAT  
 fig 29 grafico relativo lla popolazione per età scollastica

### Capitolo 06

fig.1 vista aerea dell'area di progetto e identificazione dei vari corpi insistenti sull'area  
 fig 2 vista aerea che mostra la distanza tra centro storico e area di progett  
 fig. 3 vista estern ingresso della scuola  
 fig 4 campo basket esterno  
 fig. 5 parcheggio fronteggiante la scuola Toscanini  
 fig. 6 vista esterna del corpo aule  
 fig. 7 vista esterna del corpo palestra  
 fig. 8 vista interna scuola Toscanini - atrio con scala  
 fig. 9 vista interna scuola Toscanini - corridoio  
 fig. 10 vista interna scuola Toscanini - palco del teatro  
 fig. 11 vista interna scuola Toscanini - spalti del teatro  
 fig. 12 vista esterna scuola Toscanini - la copertura  
 fig. 13 vista interna scuola Toscanini - aula tipo  
 fig. 14 vista interna scuola Toscanini - spogliatoio tipo  
 fig. 15 vista interna scuola Toscanini - campo della palestra

### Capitolo 07

fig. 16 schema strutturale con specifica delle diverse tipologie di solaio presenti  
 fig. 17 Indagini termografiche sulla facciata sud della scuola Toscanini  
 fig. 18 Indagini termografiche sulla facciata ovest della scuola Toscanini  
 fig. 19 pianta piano terra scuola con verifica indici di funzionalità  
 fig. 20 risultati simulazione illuminotecnica laboratorio  
 fig. 21 risultati simulazione illuminotecnica aula est  
 fig. 22 risultati simulazione illuminotecnica refettorio

### Capitolo 08

fig. 1 tavola OSA (C.02)  
 fig. 2 tavola Vision (C.01)  
 fig. 3 fase 1 concept - tavola concept (C03)  
 fig. 4 fase 2 concept - tavola concept (C03)  
 fig. 5 fase 3 concept - tavola concept (C03)  
 fig. 6 fase 4 concept - tavola concept (C03)  
 fig. 7 fase 5 concept - tavola concept (C03)  
 fig. 8 fase 6 concept - tavola concept (C03)  
 fig.13 ReMida - sede di Torino  
 fig.14 studenti ad un laboratorio della "ScuolaBottega" di Modena  
 fig.15. foto aerea dell'area di progetto - situazione attuale  
 fig.16. schema organizzazione del verde - situazione di progetto  
 fig.17 laboratorio "orto didattico e giardinaggio"  
 fig.18 area laboratoriale all'aperto (A.L.A.S.) di un istituto comprensivo di Roma  
 fig.19 percorso salute nel parco Dante Meaglia del Castello Malgrà. A Rivarolo  
 fig.20 Limena Playground per il parkour  
 fig.21 area studio all'aperto "Rimessa di Hackney" a Londra  
 fig.22 mercato coperto all'aperto S.Michele, Mestre (Venezia)  
 fig.23 costo urbano Caab Bologna  
 fig.24 frutteto sociale, Monza  
 fig.25 schema della rete del verde del progetto  
 fig.26 schema della rete del costruito del progetto  
 fig.27 masterplan di progetto (tav C.04)

fig.28 schemi delle connessioni di progetto (tav D.02)  
fig.29 layout funzionale progetto (tav D.02)  
fig.30 pensilina fotovoltaica piazza Gae Aulenti, Milano  
fig.31 pilastri ad albero della copertura del polo fieristico Fieramilano, Rho  
fig.32 capannone industriale con pannelli di facciate e finestre a nastro (linguaggio 1)  
fig.33 scuola elementare di Offenbach, Germainia (linguaggio 2)  
fig.34 facciata continua con sistema a ragno e traverso arretrato (linguaggio 3)  
fig.35 prospetti di progetto (tav. D07)

### Capitolo 09

fig.1 auditorium- riferimento progettuale  
fig.2 vista interna auditorium di progetto  
fig.3 agorà esterna IC Raffaello, Roma - riferimento progettuale  
fig.4 vista esterna agorà di progetto  
fig.5 laboratorio di pittura di una scuola di Parma  
fig.6 laboratorio linguistico-Istituto tecnico economico Piamarta Brescia  
fig.7 render interno palestra di Vascio- riferimento progettuale per il linguaggio di facciata  
fig.8 vista interna palestra con pareti mobili- riferimento progettuale per la flessibilità degli spazi  
fig.9 mensa -riferimento progettuale ambienti flessibili  
fig.10 spazio per così di cucina - riferimento progettuale  
fig.11 bar - riferimento progettuale  
fig.12 centro copie - riferimento progettuale  
fig.13  
fig.14 esempio di spazio di gruppo  
fig.15 esempio di spazio informale  
fig.16 esempio di spazio individuale  
fig.17 esempio di spazio di esplorazione  
fig.18 esempio di agorà con biblioteca verticale  
fig.19 verifica prescrizioni prevenzione incendi (tav. D16)  
fig.20 verifica prescrizioni prevenzione accessibilità (tav. D15)  
fig.21 interfaccia Dialux - modellazione dell'edificio per le verifiche illuminotecniche  
fig.22 lucernario agorà - riferimento progettuale

fig.23 connessione visiva tra l'aula e gli altri ambienti- riferimento progettuale  
fig.24 grafico PT simulazione 21.06 cielo coperto  
fig.25 grafico PT simulazione 21.12 cielo coperto  
fig.26 grafico P1 simulazione 21.06 cielo coperto  
fig.27 grafico P1 simulazione 21.12 cielo coperto

### Capitolo 10

fig.1 verifiche parete perimetrale CV01  
fig.2 verifiche solaio controterra C001  
fig.3 verifiche solaio copertura tipo 1 C002  
fig.4 verifiche solaio copertura tipo 2 C003  
fig.5 stratigrafia C001 di progetto (tav. E01)  
fig.6 stratigrafia C002 di progetto (tav. E01)

### Capitolo 11

fig.1 pannello sandwich con core in materiale fibroso e rivestimento metallico (Lattonedil)  
fig.2 pannello sandwich con core in materiale espanso e rivestimento ligneo (Isosystem)  
fig.3 pannello sandwich con core in materiale espanso e rivestimento in PVC (Tavapet)  
fig.4 pannello sandwich con core in lana di roccia e rivestimento metallico (Ruukki)  
fig.5 pannello sandwich con core in maglia alveolare di alluminio e rivestimento ligneo, tipo Compocel  
fig.6 pannello sandwich con core in maglia alveolare di alluminio e rivestimento ligneo, tipo Compocel  
fig.7 compensato marino multistrato di Okumè rivestito (faccia esterna)  
fig.8 compensato marino multistrato di Pioppo al naturale (faccia interna)  
fig.9 schema del ciclo produttivo dell'EPS  
fig.10 pannello di Neopor, Basf  
fig.11 confronto produzione CO2 tra EPS e Neopor  
fig.12 la materia prima per la produzione di Neopor  
fig.13 il metodo BMB di Basf per la produzione di Neopor  
fig.14 condominio a Castenaso (BO) isolato con Neopor  
fig.15 Istituto Prealpi di Saronno (VA) isolato con Neopor  
fig.16 la battentatura del pannello CASA  
fig.17 le pezze di feltro per il disaccoppiamento



dal calcestruzzo  
fig.18 il pannello prefabbricato in calcestruzzo esistente  
fig.19 modellazione del pannello in calcestruzzo-shell vincolata  
fig.20 deformazione del pannello in cls sotto carico termico  
fig.21 il pannello CASA  
fig.22 modellazione del pannello CASA- shell vincolata  
fig.23 deformazione del pannello CASA sotto carico termico  
fig.24 schema aula tipo stato di fatto  
fig.26 schema aula tipo stato di progetto  
fig.27 risultati simulazione Echo .- stato di progetto

## Capitolo 12

fig.1 impianto strutturale della scuola nello stato attuale  
fig.2 localizzazione delle prove diagnostiche-piano terra  
fig.3 barre estratte per le successive prove di trazione  
fig.4 carote di calcestruzzo estratte durante le indagini diagnostiche  
fig.5 definizione dell'azione sismica -individuazione della pericolosità del sito  
fig.6 definizione dell'azione sismica - scelta della strategia di progettazione  
fig.7 definizione dell'azione sismica - determinazione dell'azione di progetto  
fig.8 spettri di risposta del sisma per lo stato limite SLV  
fig.9 parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLV  
fig.10 abaco del solaio controterra e relativa tabella riassuntiva dei carichi G1 e G2  
fig.11 abaco del solaio interpiano e relativa tabella riassuntiva dei carichi G1 e G2  
fig.12 abaco del solaio copertura e relativa tabella riassuntiva dei carichi G1 e G2  
fig.13 mappa delle zone di carico della neve in cui è stato diviso il territorio nazionale  
fig.14 zone di carico della neve  
fig.15 categorie di esposizione  
fig.16 andamento del coefficiente di esposizione

ce in funzione dell'altezza sul suolo (per  $ct=1$ )  
fig.17 parametri per gli edifici a pianta rettangolare  
fig.18 direzione prevalente dei venti e identificazione delle facce sopravento, sottovento e laterali  
fig.19 schema di riferimento per coperture piane  
fig.20 modellazione della sezione della trave TI di copertura con l'opzione "section designer"  
fig.21 modellazione della sezione della trave TI interpiano con l'opzione "section designer"  
fig.22 rilasci ai semi-incastri delle travi sui pilastri in quanto semplicemente appoggiate  
fig.23 divisione degli elementi shell e frame per discretizzare il modello  
fig.24 visualizzazione 3d del modello a elementi finiti-elementi strutturali  
fig.25 schema a traliccio per elementi con armatura a taglio  
fig.26 sezione trave TI di copertura e relativa armatura a flessione  
fig.27 identificazione in pianta delle travi TI di copertura con M3 massimo  
fig.28 interfaccia programma Vca-slu, calcolo della resistenza a flessione della trave TI di copertura  
fig.29 identificazione in pianta delle travi TI di copertura con V2 massimo  
fig.30 schema a traliccio per la trave TI di copertura  
fig.31 sezione trave TI interpiano e relativa armatura a flessione  
fig.32 identificazione in pianta delle travi TI interpiano con M3 massimo  
fig.33 interfaccia programma Vca-slu, calcolo della resistenza a flessione della trave TI interpiano  
fig.34 identificazione in pianta delle travi TI interpiano con V2 massimo  
fig.35 schema a traliccio per la trave TI interpiano  
fig.36 sezione coppella K47 e relativa armatura a flessione  
fig.37 interfaccia programma Vca-slu, calcolo della resistenza a flessione della coppella K47  
fig.38 sezione coppella K50 e relativa armatura a flessione  
fig.39 interfaccia programma Vca-slu, calcolo della resistenza a flessione della coppella K50  
fig.40 sezione pilastro e relativa armatura a flessione  
fig.41 identificazione dei tre casi in pianta

fig.42 interfaccia programma Vca-slu, calcolo della resistenza a presso-flessione del pilastro e relativo dominio N-M, caso 1

fig.43 interfaccia programma Vca-slu, calcolo della resistenza a presso-flessione del pilastro e relativo dominio N-M, caso 2

fig.44 interfaccia programma Vca-slu, calcolo della resistenza a presso-flessione del pilastro e relativo dominio N-M, caso 3

fig.45 sezione verticale e pianta del plinto a bicchiere e innesto del muro di fondazione

fig.46 sezioni verticali che illustrano le forze agenti sul plinto e la loro distribuzioni sulle superfici del bicchiere

fig.47 schema statico adottato per studiare la parete del plinto a bicchiere

fig.48 tipologia e disposizione delle armature nella parete del plinto a bicchiere

fig.49 interfaccia programma Vca-slu, calcolo della resistenza a flessione della parete del plinto di fondazione

fig.50 interfaccia programma Vca-slu, calcolo della resistenza a flessione della parete del plinto di fondazione con il contributo del muro di fondazione

fig.51 schematizzazione della distribuzione delle forze sulla base della fondazione a plinto

fig.52 applicazione longitudinale del sistema FRCM

fig.53 applicazione trasversale del sistema FRCM

fig.54 applicazione del connettore chimico

fig.55 applicazione del microcalcestruzzo

fig. 56 applicazione del sistema FRCM sui pilastri

fig. 57 applicazione del sistema FRCM sui nodi pilastro-trave

fig.58 rinforzo delle fondazioni con ampliamento dei plinti

fig.59 rinforzo del terreno tramite iniezioni cementizie

fig.60 rete bidirezionale per il rinforzo antiribaltamento

fig.61 applicazione del sistema FRCM sulle pareti

### Capitolo 13

fig.1 schema parametri edificio Nzeb per edifici sottoposti a ristrutturazione importante di I livello

fig.2 scheda relazione - modellazione edificio di

progetto

fig.3 scheda zone - modellazione edificio di progetto

fig.4 scheda strutture- modellazione edificio di progetto

fig.5 ponte termico di progetto parete-solaio controterra

fig.6 ponte termico di progetto parete-solaio copertura

fig.7 scheda involucro- modellazione edificio di progetto

fig.8 scheda climatizzazione invernale- modellazione edificio di progetto

fig.9 scheda generatori- modellazione edificio di progetto

fig.10 targa energetica edificio stato di fatto

fig.11 targa energetica edificio di progetto

fig.12 calcolo dinamico orario - free floating - stato di fatto

fig.13 calcolo dinamico orario- profilo ideale - stato di progetto

fitab. 7 verifiche

### Capitolo 14

fig.1 pre-espansore e individuazione della fase nello schema del processo produttivo

fig.2 silos di espansione e individuazione della fase nello schema del processo produttivo

fig.3 pressa di stampaggio e individuazione della fase nello schema del processo produttivo

fig.4 spruzzatrice a ponte e individuazione della fase nello schema del processo produttivo

fig.5 spruzzatrice a braccio meccanico e individuazione della fase nello schema del processo produttivo

fig.6 foratrice a ponte e individuazione della fase nello schema del processo produttivo

fig.7 imballatrice e individuazione della fase nello schema del processo produttivo

fig.8 gestione del cantiere (tav H03)

fig.9 ponteggio autosollevante elettrico

fig.10 schemi fasi fissaggio pannello CASA

fig.11 schema statico dell'aggancio (mensola incastrata)

fig.12 identificazione dei parametri del pannello CASA su cui si è eseguita la forza di estrazione sismica

fig.13 identificazione della fascia in cui si considera il pannello CASAda verificare

fig.14 schema statico del pannello (appoggio-appoggio)

fig.15 confronto tra CASA e Isosandwich

fig.16 schema della reiterabilità dell'intervento

fig.17 prospetti scuola Negrelli, Feltre





# Indice tabelle

## Capitolo 09

- tab.1 verifica degli indici di funzionalità, p.180
- tab.2 parametri di verifica per la luce naturale, p.185
- tab.3 parametri di verifica per la luce artificiale, p.187

## Capitolo 10

- tab.1 parametri prestazionali di verifica, p.192
- tab.2 parametri di trasmissione termica, p.192
- tab.3 valori di verifica della trasmittanza termica periodica, p.193
- tab.4 valori di verifica del fattore di attenuazione e dello sfasamento dell'onda termica, p.193
- tab.5 valori di verifica del fattore  $A_{sol,est}/A_{sup}$  utile, p.198

## Capitolo 12

- tab.1 valori dei sovraccarichi per le diverse categorie d'uso delle costruzioni, p.234
- tab.2 valori del coefficiente di forma, p.235
- tab.3 valore di CE per diverse classi di esposizione, p.235
- tab.4 valori dei parametri  $v_{b,0}$ ,  $a_0$ ,  $k_s$ , p.236
- tab. 5 classi di rugosità del terreno, p.237
- tab.6 parametri per la definizione del coefficiente di esposizione, p.238
- tab.7 valori di cpe per le facce sopravento, sottovento e laterali di edifici a pianta rettangolare, p.239
- tab.8 Edifici rettangolari: valori di cpe per coperture piane, p.240
- tab.9 valori pressione del vento sulle diverse facce dell'edificio, 240
- tab.10 valori dei coefficienti di combinazione, p.243
- tab.11 coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU, p.243
- tab.12 valori estratti dall'analisi SAP con momento M3 in ordine decrescente-trave TI copertura, p.248
- tab.13 valori estratti dall'analisi SAP con taglio V2 in ordine decrescente - trave TI copertura, p.249
- tab.14 valori estratti dall'analisi SAP con momento M3 in ordine decrescente-trave TI interpiano, p.251
- tab.15 valori estratti dall'analisi SAP con taglio V2

- in ordine decrescente-trave TI interpiano, p.252
- tab.16 valori estratti dall'analisi SAP con taglio M3 in ordine decrescente-pilastro, p.258

## Capitolo 13

- tab.1 valore massimo ammissibile del coefficiente globale di scambio termico H'T, p.271
- tab.2 valore massimo ammissibile del rapporto tra area solare equivalente estiva dei componenti finestrati e la superficie utile, p.271
- tab.3 scheda confronto - fabbisogno di energia termica utile- modellazione edificio stato di fatto, p.281
- tab.4 scheda confronto - fabbisogno di energia primaria- modellazione edificio stato di fatto, p.281
- tab.5 scheda confronto - fabbisogno di energia termica utile- modellazione edificio progetto, p.281
- tab. 6 scheda confronto - fabbisogno di energia primaria- modellazione edificio progetto, p.281
- tab.6 schema riassuntivo degli esiti delle verifiche di legge, 283
- fitab. 7 verifiche H'T,  $A_{sol,st}/A_{sup}$ , efficienza degli impianti, p.283

## Capitolo 14

- tab. 1 valori di  $q_a$  per elementi non strutturali, p.295
- tab. 2 valori dei periodi dei primi 12 modi di vibrare dell'edificio, p.297
- tab. 3 parametria  $a, b$  e  $a_p$  in accordo con il periodo di vibrazione della costruzione T1, p.297
- tab. 4 calcolo della forza di estrazione sismica, p.298
- tab. 5 definizione delle categorie sismiche C1 e C2 secondo il TR045, p.298
- tab. 6 resistenza a trazione e taglio delle barre filettate Wurth, p.299



## Ringraziamenti

Il progetto CASA ha rappresentato per noi non solo la fase conclusiva del percorso di studi, ma anche un'esperienza formativa che ci ha permesso di entrare in contatto con una realtà lavorativa estremamente interessante. Rivolghiamo i nostri ringraziamenti a tutti i professionisti con cui abbiamo avuto l'occasione di confrontarci in questo lavoro.

In primo luogo, ringraziamo il Professor Roberto Francieri per la fiducia nelle nostre capacità e nelle nostre idee durante il percorso di tesi.

Si ringrazia anche il Professore Marco Rampini per il tempo dedicatoci e per i preziosi consigli ricevuti nello sviluppo degli aspetti strutturali del progetto.

Per la grande disponibilità dimostrata nella trattazione della parte consolidamento, un sentito ringraziamento al Professore Edoardo Radaelli.

Ringraziamo l'azienda BASF Italia per averci guidato nella ricerca commerciale e per avere condiviso con noi tutte le nozioni necessarie per la definizione della parte tecnologica.

Intendiamo ringraziare anche AIPE Associazione Italiana Polistirene Espanso per le conoscenze messe a disposizione in merito al ciclo produttivo di alcuni materiali studiati per la nostra ricerca.

Ci teniamo a ringraziare anche il Comune di Venezia e i collaboratori scolastici delle scuole mappate per la disponibilità nel fornirci i dati e le informazioni necessarie alla stesura della nostra ricerca;

Un grazie anche a Giuseppe per la pazienza e per il supporto fondamentale che ci ha dato nello sviluppo delle analisi energetiche.

Per l'aiuto e il sostegno costante, ricevuti dall'inizio alla fine di questo laboratorio, ringraziamo anche Pietro.

Infine, un grande ringraziamento alle nostre famiglie e agli amici che ci hanno supportato non solo in questo capitolo conclusivo, ma lungo tutto il percorso accademico, e ai colleghi, con cui abbiamo avuto la fortuna di condividere questo importante percorso di crescita.