

***Dottorato in***

Architettura, città e design

***Ambito di ricerca***

Nuove tecnologie e informazione  
per l'architettura, la città e l'ambiente

CICLO XXXV

**Dal rilievo al Bim:**

**il progetto di riqualificazione attraverso strumenti di produzione edilizia avanzata**

**Direttrice della scuola:** prof.ssa Maria Chiara Tosi

**Responsabile scientifico:** prof. Fabio Peron

**Supervisor:** prof.ssa Caterina Balletti e prof. Massimo Rossetti

**Dottorando:** Alessandro Padoan

**Dottorato in apprendistato di alta formazione e ricerca, promosso dalla ditta di costruzioni Edilvi S.p.A. e l'Università Iuav di Venezia.**

**PhD Candidate**

Alessandro Padoan

Università Iuav di Venezia

Curriculum

Nuove tecnologie e informazione per l'architettura, la città e l'ambiente

CICLO XXXV

[apadoan1@iuav.it](mailto:apadoan1@iuav.it)

**Supervisore accademico**

prof. Massimo Rossetti

Università Iuav di Venezia

Dipartimento

Culture del progetto

[massimo.rossetti@iuav.it](mailto:massimo.rossetti@iuav.it)

**Supervisore accademico**

prof.ssa Caterina Balletti

Università Iuav di Venezia

Dipartimento

Culture del progetto

[caterina.balletti@iuav.it](mailto:caterina.balletti@iuav.it)

## Abstract

Il presente studio intende focalizzare l'attenzione sull'edilizia scolastica, indagando in particolare la tematica cruciale della riqualificazione energetica.

Nello scenario attuale, dove la maggior parte del patrimonio edilizio italiano risulta obsoleto, con edifici costruiti in un periodo che non prendeva in adeguata considerazione il contenimento dei consumi, l'attività di efficientamento energetico si pone come una delle possibili soluzioni. Le innovazioni tecnologiche dei materiali e la transizione all'industria 4.0 consentono, oggi, di realizzare interventi efficaci e altamente performanti, aiutati in questo dai recenti stanziamenti di fondi europei a sostegno degli investimenti sulla riqualificazione energetica degli edifici.

Nell'ambito degli investimenti nel settore dell'edilizia e della digitalizzazione, a tale proposito, l'Associazione Nazionale Costruttori Edili (ANCE) stima un aumento del 7,7% degli interventi sulle opere pubbliche dovuto principalmente alle misure di sostegno stanziate nelle ultime leggi di bilancio e dai fondi strutturali europei.

Analogamente, anche il modello educativo chiede fortemente e da tempo un ripensamento dei metodi didattici; l'attuale organizzazione scolastica lascia trasparire la fragilità di un modello basato su logiche di insegnamento a discapito di quelle di apprendimento.

Nell'ottica di una nuova prospettiva di vita per l'edificio, risulta necessario intervenire con un progetto di trasformazione globale che unisca l'efficientamento energetico con l'introduzione di un nuovo modello educativo idoneo al contesto storico contemporaneo. Le tematiche, mai così attuali, di sostenibilità ambientale, riduzione dei consumi e salubrità degli spazi sono strettamente collegate e imprescindibili dall'educazione civica, che parte proprio dalle nuove generazioni. La riqualificazione del plesso scolastico, dunque, non riguarda più solamente l'aspetto energetico bensì mira a una rigenerazione integrata; l'utilizzo di fonti rinnovabili, di materiali ecosostenibili e riciclabili combinati con la creazione di nuove spazialità flessibili, consentono di rigenerare un edificio scolastico rendendolo protagonista ed esempio tangibile del nuovo processo educativo.

Al fine di garantire interventi efficaci, si rende anche necessario un aggiornamento del metodo di lavoro in ambito edile, nel quale l'ambiente BIM<sup>1</sup> diventi elemento cardine dell'intero processo. Il

---

<sup>1</sup> Building Information Modeling, modellazione geometrica combinata con l'associazione di informazioni di tipo qualitativo e quantitativo.

BIM, infatti, non costituisce tanto un'applicazione software, bensì un sistema basato sul flusso di informazioni, che crea un valore a lungo termine e promuove l'innovazione.

A oggi non esiste una vera e propria procedura standardizzata per la riqualificazione dell'esistente; spesso i metodi attuali consentono di realizzare interventi puntuali che non considerano la riqualificazione da un punto di vista globale. Gli strumenti di rilievo, progettazione e gestione non sempre vengono utilizzati al massimo del loro potenziale, ottenendo risultati poco attendibili o parziali.

Alla luce di tali evidenze, l'aggiornamento del metodo di lavoro può essere agevolato dalla stesura di linee guida che consentano una replicabilità e una pianificazione del flusso di lavoro, spostando il focus della progettazione dal *how to do* al *just do*. In parallelo, la ricerca di nuove soluzioni tecnologiche concorre all'obiettivo di promuovere la riqualificazione del patrimonio esistente in un'ottica di sostenibilità ambientale.

**Parole chiave:** riqualificazione, edilizia scolastica, processo BIM, industria 4.0

# Sommario

<b>Abstract</b> .....	<b>3</b>
<b>Sommario</b> .....	<b>5</b>
<b>Lista Acronimi</b> .....	<b>7</b>
<b>Lista Figure</b> .....	<b>9</b>
<b>Ringraziamenti</b> .....	<b>13</b>
<b>1. INTRODUZIONE E OBIETTIVI DELLA RICERCA</b> .....	<b>15</b>
<i>Metodologia</i> .....	15
<i>Obiettivi della ricerca</i> .....	16
<i>Tematiche di ricerca:</i> .....	16
<i>Schematismi</i> .....	17
<i>Collaborazione con l'azienda</i> .....	21
<b>2. RIQUALIFICAZIONE EDILIZIA</b> .....	<b>22</b>
<i>Scenario demografico</i> .....	22
<i>Scenario edilizio</i> .....	26
<i>Tendenze e previsioni</i> .....	32
<b>3. EDILIZIA SCOLASTICA</b> .....	<b>42</b>
<i>Stato dell'arte</i> .....	42
<i>Programmi di intervento</i> .....	55
<i>Programmi di investimento</i> .....	60
<b>4. INDUSTRIA 4.0</b> .....	<b>68</b>
<i>Processo BIM</i> .....	68
<i>Transizione digitale</i> .....	78
<i>Riferimenti normativi</i> .....	82
<b>5. CASI STUDIO</b> .....	<b>85</b>
<i>Scuola Primaria "Dante Alighieri" di Meleto Valdarno (AR)</i> .....	85
<i>Scuola Media "Enrico Pea" di Seravezza (LU)</i> .....	94
<b>6. PROGETTO DI RICERCA</b> .....	<b>103</b>
<i>SCAN TO BIM</i> .....	103
<i>Rilievo</i> .....	103
<i>Point cloud</i> .....	110
<i>Modellazione dello stato di fatto</i> .....	112

Accuratezza del modello .....	115
Interoperabilità.....	118
Riferimento al caso studio: scuola “Dante Alighieri” .....	122
<b>PROGETTAZIONE .....</b>	<b>139</b>
Riferimenti di innovazione .....	139
Riqualificazione architettonica e del modello educativo.....	145
Riqualificazione energetica .....	148
Modellazione del progetto - BIM 3D .....	152
Riferimento al caso studio: scuola “Dante Alighieri” .....	155
<b>COSTRUZIONE, GESTIONE E MANUTENZIONE .....</b>	<b>167</b>
Pianificazione - BIM 4D .....	167
Preventivazione - BIM 5D .....	170
Costruzione .....	174
Gestione e manutenzione - BIM 6D .....	178
Riferimento al caso studio: scuola “Dante Alighieri” .....	183
<b>7. SOLUZIONE TECNOLOGICA INNOVATIVA .....</b>	<b>191</b>
<i>Premessa</i> .....	191
<i>Consorzio Cortexa</i> .....	194
<i>Caratteristiche tecniche</i> .....	203
<i>Proposta di integrazione del protocollo Cortexa</i> .....	209
<i>Riferimento al caso studio: scuola “Enrico Pea”</i> .....	211
<b>8. CONCLUSIONI .....</b>	<b>217</b>
<i>Riepilogo</i> .....	217
<i>Ambiti di applicazione</i> .....	218
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>219</b>

## Lista Acronimi

ACDat: Ambiente di Condivisione Dati; 69  
ACDoc: Archivio di Condivisione Documenti; 128  
ACS: Acqua Calda Sanitaria; 149; 185  
AEC: Architecture, Engineering & Construction; 171  
AIA: American Institute of Architects; 153  
AIM: Asset Information Model; 181  
ANCE: Associazione Nazionale Costruttori Edili; 3; 79  
ARES: Anagrafe Regionale dell'Edilizia Scolastica; 29; 30  
BDS: Building Description System; 74  
BEP: BIM Execution Plan; 128; 154; 159  
BIM: Building Information Modeling; 3; 4; 16; 17; 78; 103; 118  
BMS: Building Management System; 98  
BS: British Standard; 83  
CAD: Computer Aided Drafting; 17  
CDE: Common Data Environment; 69  
CME: Computo Metrico Estimativo; 171; 183  
CRESME: Centro Ricerche Economiche Sociologiche e di Mercato nell'Edilizia; 22; 27; 32  
DAD: Didattica a Distanza; 50; 57  
DBMS: Database Management System; 119  
DIH: Digital Innovation Hub; 80  
DNSH: Do No Significant Harm Principle; 39  
EPS: Polistirene Espanso Sinterizzato; 98; 191; 194; 195; 197; 200; 203; 205; 211; 212  
ETICS: External Thermal Insulation Composite System; 15; 194; 195; 197; 202; 203; 205; 209  
GOA: Grade of Accuracy; 113; Grades of Generation; 113  
GOG: Grade of Generation; 113  
HBIM: Heritage Building Information Modeling; 74; 77; 103; 104; 178  
IFC: Industry Foundation Classes; 69  
IFMA: Institute Facility Management Association; 179  
INAIL: Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro; 31  
INDIRE: Istituto Nazionale di Documentazione, Innovazione e Ricerca Educativa; 45  
IoT: Internet of Things; 78  
ISO: International Organization for Standardization; 83  
ISTAT: Istituto nazionale di ricerca; 22; 23; 26; 32; 35; 40

LOA: Level of Accuracy; 76; 116; 117; 133; 134; 135  
LOD: Level of Development; 75; 76  
LOG: Level of Geometry; 75; 76  
LOI: Level of Information; 75; 76  
NEET: Not in Education, Employment or Training; 40  
NGEU: Next Generation EU; 36; 37; 38  
NZEB: Nearly Zero Energy Building; 85  
PA: Pubblica Amministrazione; 80; 81  
PAS: Publically Available Specification; 83  
PBIM: Product Building Information Modeling; 81  
PES: Punti di Erogazione del servizio Scolastico; 30  
PIM: Project Information Model; 182  
PNRR: Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza; 80  
PRIN: Progetto di Rilevante Interesse Nazionale; 44  
QTO: Quantity Take Off; 172  
RRF: Recovery and Resilience Facility; 37; 38  
SIOPE: Sistema informativo delle operazioni degli enti pubblici; 35  
SNAES: Sistema Nazionale dell'Anagrafe dell'Edilizia Scolastica; 30  
UNI: Ente Italiano di Normazione; 83; 128; 167; 194; 203  
VMC: Ventilazione meccanica controllata; 149  
VRF: Variable Refrigerant Flow; 87; 157; 159

## Lista Figure

Figura 1 - Ciclo di vita dell'edificio.....	18
Figura 2 - Riqualificazione, fase di progettazione .....	18
Figura 3 - Riqualificazione, fase di esecuzione .....	19
Figura 4 - Riqualificazione .....	20
Figura 5 - Previsioni della popolazione residente in Italia - elaborazione ANCE su dati ISTAT.....	23
Figura 6 - Popolazione residente in Italia - elaborazione ANCE su dati ISTAT .....	24
Figura 7 - Indice di vecchiaia: rapporto tra la popolazione anziana (65 anni e oltre) e la popolazione più giovane (0-14 anni) .....	25
Figura 8 - IEA priorità nel settore delle costruzioni.....	26
Figura 9 - CRESME edifici residenziali in Italia.....	27
Figura 10 - CRESME abitazioni in edifici con oltre 40 anni.....	27
Figura 11 - ANCE - CRESME rischio sismico e idrogeologico, confronto scuole (a sinistra) e ospedali (a destra) .....	28
Figura 12 - Appendice B e C del testo UNI EN 16798 parte I e II .....	29
Figura 13 - Dati sulla consistenza e sulla funzionalità del patrimonio di edilizia scolastica.....	31
Figura 14 - CRESME valore della produzione nelle costruzioni.....	32
Figura 15 - ANCE investimenti in abitazioni dati ISTAT .....	33
Figura 16 - Consumo energetico nelle case dell'UE-27 in %, piano di efficienza energetica 2011 ....	34
Figura 17 - ANCE investimenti in costruzioni dati ISTAT 2022.....	36
Figura 18 - Next Generation EU – dispositivi e risorse disponibili, miliardi di euro.....	37
Figura 19 - PNRR ripartizione degli importi per le sei missioni.....	38
Figura 20 - Variazione del valore aggiunto per branca di attività economica (contributo delle attività alla variazione percentuale nel periodo 2021-2026) .....	39
Figura 21 - Occupazione giovanile entro il 2026 .....	40
Figura 22 - Distribuzione regionale delle Piccole Scuole.....	46
Figura 23 - Allestimento della scuola del futuro a Didacta 2019 .....	50
Figura 24 - Richard Neutra. Corona Avenue School .....	53
Figura 25 - Progetto per la scuola di Fagnano Olona, 1972. ....	54
Figura 26 - Ecosistema scuola, certificazioni e accessibilità.....	62
Figura 27 - Ecosistema scuola, manutenzione .....	62

Figura 28 - Elaborazione Legambiente su dati GIES - ripartizione finanziamenti .....	64
Figura 29 - Elaborazione Legambiente su dati GIES - status progetti finanziati.....	65
Figura 30 - Livelli di maturità BIM .....	70
Figura 31 - Dimensioni BIM.....	71
Figura 32 - Evoluzione dal CAD alla rappresentazione per oggetti BIM.....	73
Figura 33 - Level of Development .....	76
Figura 34 - Schematizzazione del ciclo di vita di un edificio in relazione alle “dimensioni” degli strumenti BIM .....	79
Figura 35 - Bew-Richards UK BIM Maturity Model .....	82
Figura 36 - Scuola Meleto inquadramento .....	85
Figura 37 - La scuola primaria “Dante Alighieri” di Meleto Valdarno come si presentava il 25 gennaio 2018.....	87
Figura 38 - Meleto classe energetica post intervento.....	88
Figura 39 - Piante stato ante intervento .....	89
Figura 40 - Prospetti e sezioni stato ante intervento .....	90
Figura 41 - Un'aula della scuola Meleto.....	91
Figura 42 - Aula mensa.....	92
Figura 43 - Vano scala.....	93
Figura 44 - Scuola Pea inquadramento .....	94
Figura 45 - Identificazione dei corpi edilizi.....	95
Figura 46 - Il Corpo B della Scuola Pea: come si presentava il 22.02.2017 .....	97
Figura 47 - Pea classe energetica post intervento .....	99
Figura 48 - Pianta corpo A .....	99
Figura 49 - Piante corpi B e C .....	100
Figura 50 - Pianta palestra.....	100
Figura 51 - Prospetti .....	101
Figura 52 - Sezioni .....	101
Figura 53 - L’auditorium della Scuola Pea: come si presentava il 22.02.2017.....	102
Figura 54 - Schema della presa stereoscopica nella fotogrammetria tradizionale (presa normale)	107
Figura 55 - Schema della presa non stereoscopica nella fotogrammetria non convenzionale (presa convergente) .....	107
Figura 56 - Schema dei valori per il calcolo dello scostamento metrico.....	116

Figura 57 - Legenda USIBD .....	117
Figura 58 - Rappresentazione grafica delle diverse entità coinvolte nel processo HBIM .....	120
Figura 59 - Fasi di rilievo con laser scanner Leica P40.....	122
Figura 60 - Rilievo architettonico dei serramenti.....	123
Figura 61 - Appunti utili al rilievo dei serramenti .....	124
Figura 62 - Rilevazioni con termocamera.....	125
Figura 63 - Target numerico per il rilievo laser scanner .....	126
Figura 64 - Nuvola di punti .....	126
Figura 65 - Modello BIM dello stato ante intervento.....	127
Figura 66 - Pulizia della nuvola di punti con CloudCompare.....	131
Figura 67 - Composizione della stratigrafia dei muri perimetrali .....	132
Figura 68 - Risultati analisi As-Built Prospetto Nord .....	133
Figura 69 - Risultati analisi As-Built Sezione AA .....	134
Figura 70 - Risultati analisi As-Built Sezione CC .....	135
Figura 71 - Risultati analisi As-Built Copertura.....	136
Figura 72 - Risultati analisi As-Built Scala .....	137
Figura 73 - Quartiere BedZED, Londra.....	139
Figura 74 - Mercato Bejar, Salamanca.....	140
Figura 75 - Scuola dell' Infanzia G. Rodari - atelier delle parole .....	142
Figura 76 - Polo per l'infanzia "Firmian", Bolzano .....	143
Figura 77 - Orestad Gymnasium, Copenhagen .....	144
Figura 78 - Schema rappresentativo del Life Cycle Assessment .....	150
Figura 79 - Elaborati derivabili da modello BIM.....	153
Figura 80 - La scuola primaria "Dante Alighieri" di Meleto Valdarno come si presenta dopo i lavori (8 agosto 2022).....	155
Figura 81 - Meleto classe energetica ante intervento .....	156
Figura 82 - Level of Development - LOD C.....	160
Figura 83 - Modello Revit workset MEP .....	161
Figura 84 - Piano terra - progetto alternativo .....	162
Figura 85 - Piano primo - progetto alternativo .....	163
Figura 86 - Piano secondo - progetto alternativo .....	164
Figura 87 - Finestra delle proprietà del Tipo .....	165

Figura 88 - Visualizzazione dell'etichetta e della descrizione .....	166
Figura 89 - Influenza del costo complessivo sui cicli di vita del progetto .....	170
Figura 90 - Fasi della costruzione di un'opera .....	176
Figura 91 - Flusso di lavoro PIM e AIM.....	182
Figura 92 - Cronoprogramma col software CPM.....	186
Figura 93 - Importazione IFC in CPM per il quantity take off .....	187
Figura 94 - Assegnazione delle regole di calcolo.....	188
Figura 95 - Schema costruttivo del cappotto prefabbricato .....	192
Figura 96 - Risultato finale dopo la stesura dell'intonaco di finitura .....	193
Figura 97 - Particolare giunzione a profilo battentato .....	206
Figura 98 - Prospetto del singolo pannello con tassellatura .....	206
Figura 99 - Posa dei pannelli .....	208
Figura 100 - Parametri di Istanza della facciata continua .....	211
Figura 101 - Parametri di Tipo della facciata continua.....	212
Figura 102 - Comando modifica profilo .....	213
Figura 103 - Parametri di Istanza della facciata continua secondo livello .....	213
Figura 104 - Tipologie dei pannelli .....	214
Figura 105 - Particolare del piano di posa.....	215
Figura 106 - Analisi del confronto tra metodo tradizionale e innovativo .....	216

## Ringraziamenti

Desidero innanzitutto ringraziare la ditta Edilvi S.p.A., per avermi dato la possibilità di frequentare il corso di dottorato in alta formazione e ricerca promosso insieme all'Università I.u.a.v di Venezia.

Ringrazio in modo particolare i professori Caterina Balletti e Massimo Rossetti per la loro disponibilità ed il loro supporto.

Per concludere desidero ringraziare le persone a me più care, che mi hanno sempre sostenuto durante questo percorso: la mia famiglia e la mia compagna Velia.

*A mia madre, che, con i suoi sacrifici,  
mi ha permesso di crescere  
nell'educazione e nella cultura.*

## 1. INTRODUZIONE E OBIETTIVI DELLA RICERCA

In questo capitolo si intende descrivere la metodologia e gli obiettivi della ricerca. Vengono specificate le tematiche di studio e la collaborazione con l'azienda Edilvi S.p.A. di Villorba (TV).

### Metodologia

Per questo studio, le metodologie di ricerca consistono nell'analisi di un intervento già realizzato e nella sperimentazione teorica e pratica finalizzata allo sviluppo di una nuova soluzione tecnologica.

La struttura della ricerca si basa sull'analisi dell'intervento di efficientamento energetico, condotto dall'impresa Edilvi S.p.A. nel 2020, di un plesso scolastico facente parte dell'istituto comprensivo "Dante Alighieri" di Meleto Valdarno a Cavriglia (AR). Partecipare in prima persona, al gruppo di lavoro che ha reso possibile questo intervento, ha permesso di analizzarne l'intero processo evidenziando come fosse fortemente vincolato da esigenze tempistiche ed economiche. L'elemento comune in tutte le fasi di sviluppo è stata la mancanza di una "linea guida" che scandisse il tempo organizzando con logica progressione le fasi di lavoro e identificando i ruoli e i compiti da svolgere. La presenza di queste condizioni imposte dal mercato, combinate con l'assenza di un metodo di lavoro, hanno comportato inevitabilmente delle conseguenze sul risultato finale che sovente si traduce in una sommatoria di interventi puntuali scollegati tra loro.

La ricerca, quindi, ripercorre a posteriori tutte le fasi svolte valutando come queste possano essere ottimizzate e restituisce delle indicazioni standardizzate che possano fungere da riferimento per gli interventi di riqualificazione del patrimonio edilizio.

Il nuovo intervento di efficientamento energetico, della scuola "Enrico Pea" a Seravezza (LU), che avrà inizio entro la primavera 2023, vede emergere altre problematiche dovute da cause sanitarie, geopolitiche e sociali.

L'impennata dei costi e la scarsa reperibilità dei materiali conducono alla necessità di ricercare nuove soluzioni; la collaborazione tra università ed impresa, mossa anche da questa esigenza, ha consentito lo sviluppo teorico e pratico di una nuova soluzione tecnologica per l'isolamento a cappotto.

Questo sistema è definito "a cappotto" perché la sua applicazione è il risultato di più lavorazioni e della combinazione di diversi componenti. Con External Thermal Insulation Composite System (ETICS), si intende un sistema di componenti certificati e la loro applicazione. La garanzia del sistema

è dovuta alla presenza di un “kit” certificato composto da prodotti studiati e testati per lavorare assieme. L'utilizzo di un sistema certificato permette di garantire i singoli componenti del cappotto e, di conseguenza, il cappotto stesso nel suo complesso.

## Obiettivi della ricerca

Il primo obiettivo della ricerca è quello di elaborare delle linee guida che consentano una standardizzazione del flusso di lavoro con metodo BIM che parta dal rilievo del fabbricato fino alla realizzazione dell'intervento.

La ricerca mira a fornire un contributo innovativo nella pianificazione e ottimizzazione del lavoro al fine di realizzare interventi, efficaci e sostenibili a prescindere dai vincoli temporali ed economici.

Ulteriore obiettivo è quello di indagare la fattibilità di una nuova soluzione per l'isolamento a cappotto capace di soddisfare le attuali esigenze di mercato e di sostenibilità, nonché di rivoluzionare una tipologia d'intervento ritenuta oramai assodata.

## Tematiche di ricerca:

### *Riqualificazione edilizia*

In uno scenario in cui la demolizione e ricostruzione non rappresenta più una soluzione sostenibile, la riqualificazione dell'esistente appare come una valida alternativa; ad oggi in Italia una buona parte del patrimonio edilizio necessita di interventi di riqualificazione.

In riferimento all'edilizia scolastica, gli edifici esistenti sono più di 42mila, il 55% di questi è stato costruito prima del 1976 (prima della legge 10) e solo il 70% appositamente per uso scolastico.

L'edilizia scolastica evidenzia maggiormente il grado di fatiscenza del patrimonio italiano, dal 2013 sono stati più di 150 i fenomeni di sfondellamento che si sono verificati nel territorio nazionale. Questo aspetto è molto importante perché va ben oltre la necessità di una riqualificazione energetica, riguarda infatti la sicurezza degli utenti e l'agibilità dell'edificio.

### *Edilizia scolastica*

La pandemia Covid19<sup>2</sup> ha cambiato la metodologia didattica, ha reso necessario riadattare gli ambienti di apprendimento mescolando l'ambiente scolastico con quello familiare.

---

<sup>2</sup> Patologia infettiva causata dal virus SARS-CoV-2, arrivata in Italia agli inizi del 2020.

Il modello educativo deve cambiare partendo da una differente concezione di apprendimento e mitigando le rigide divisioni spaziali e temporali; bisogna superare il concetto di apprendimento settoriale di una specifica materia ad una specifica ora in una specifica aula. L'ambiente scolastico deve diventare un unico modello di insegnamento nel suo complesso, come dimostra la pedagogia per cui la formazione e l'educazione dei ragazzi è costante e avviene soprattutto fuori dall'aula. Per questo è importante creare un'ambiente flessibile che permetta diverse tipologie di apprendimento, che consenta il dialogo ed il confronto. Questo aspetto fondamentale viene in buona parte demandato all'architettura che concorre creando spazi idonei, salubri e confortevoli. L'edificio progettato con una configurazione flessibile, con materiali sostenibili e che utilizza fonti rinnovabili diventa esso stesso un modello di insegnamento.

### *Industria 4.0*

L'espressione "Industria 4.0" viene coniata per la prima volta alla Fiera di Hannover nel 2011 in Germania; tuttavia, l'ingresso nella quarta rivoluzione industriale rappresenta ancora un obiettivo difficilmente raggiungibile per molte imprese, frenate dall'assenza di cultura dell'innovazione.

Occorre riconoscere al settore delle costruzioni un ruolo importante nella strategia "Industria 4.0", considerando il BIM come elemento centrale di questa strategia nella sua applicazione in edilizia.

Lo schema "UK BIM Maturity Model" sviluppato da Mark Bew and Mervyn Richards analizza i livelli di maturità del processo BIM, ossia quanto si sta adottando questa metodologia. Questo schema nasce in un contesto internazionale, misura il grado di evoluzione dal mondo CAD attraverso quattro livelli: livello 0 rappresenta il disegno 2D; livello 1 rappresenta il disegno 3D e viene definito BIM solitario; livello 2 è un BIM di base e viene definito BIM collaborativo; livello 3 integrated BIM rappresenta l'utilizzo completo definito BIM condiviso.

La situazione nazionale ad oggi vede principalmente un utilizzo, da parte di tecnici ed imprese, del metodo BIM di livello 1, e solo in particolari circostanze di livello 2.

### Schematismi

Nel seguito viene rappresentato a livello schematico il flusso di lavoro, che questo studio di ricerca intende proporre, utile a standardizzare gli interventi di riqualificazione del patrimonio esistente ed i successivi interventi di gestione e manutenzione.

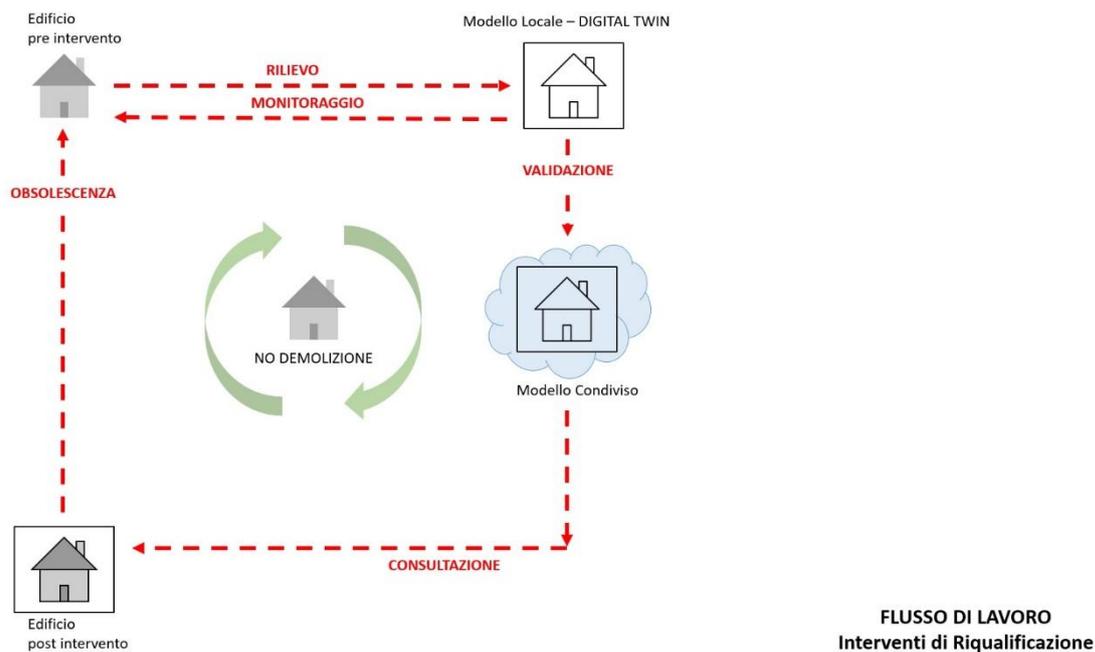


Figura 1 - Ciclo di vita dell'edificio

Questo flusso di lavoro si basa su due principi fondamentali:

- l'utilizzo di un sistema BIM integrato che preveda la condivisione delle informazioni a 360°;
- il concetto che la demolizione/ricostruzione non sia una scelta contemplabile in quanto la riqualificazione può avvenire in un ciclo paradossalmente infinito.

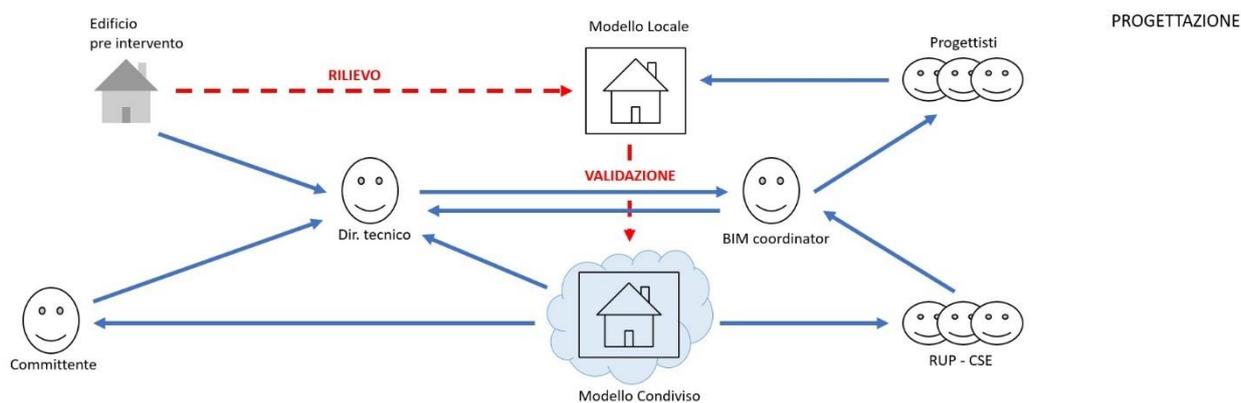
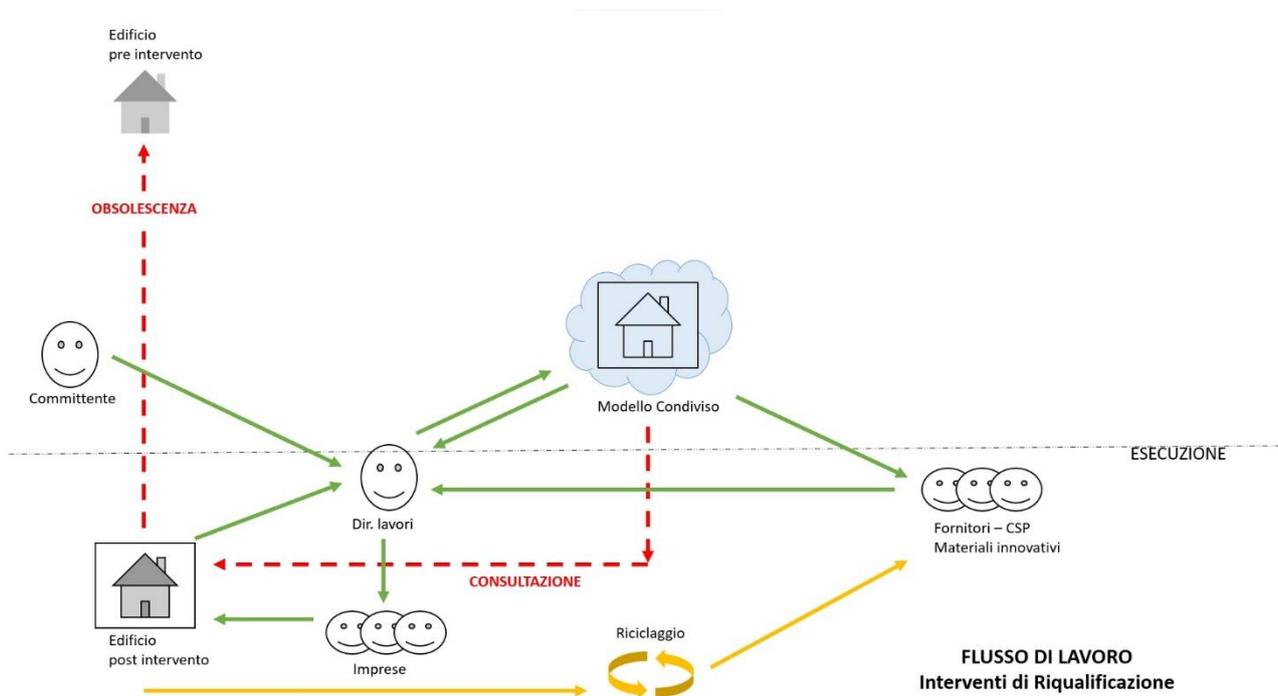


Figura 2 - Riqualificazione, fase di progettazione

Per spiegare questa metodologia operativa si parte dal principio, ossia quando l'edificio reale non possiede il suo gemello digitale, questa situazione, ancora oggi, rappresenta la maggior parte delle

casistiche nel territorio nazionale. L'input iniziale parte proprio dall'edificio e dalla sua naturale esigenza di essere riqualificato, per questo il primo step è la sua digitalizzazione in ambiente BIM. La modellazione dello stato di fatto avviene per mezzo di un rilievo 3D e della sua restituzione nell'ambiente digitale, è importante precisare che il modello dev'essere informativo, quindi contenere caratteristiche quantitative e qualitative. Ogni flusso di informazioni dev'essere filtrato da un responsabile, direttore tecnico o BIM coordinator che determina la veridicità del dato e valida il progetto (cap. Scan to Bim).

Nella fase di progettazione, il team dei progettisti realizza il modello locale, che è un modello editabile, in totale sinergia e collaborazione così da ottenere un progetto integrato, efficace sotto gli aspetti architettonici, impiantistici e strutturali. Aspetto fondamentale è la validazione del progetto, a cura dei responsabili, che consente al modello locale di essere condiviso a tutti i fruitori esterni. Il modello condiviso, che è un modello consultabile, permette di estrarre tutte le informazioni utili al committente, al RUP e agli organi territoriali per approvare il progetto. Le fasi di consultazione e approvazione e quella di progettazione e validazione sono fasi distinte perché la modifica del progetto spetta solo al progettista su indicazioni del responsabile (cap. Progettazione).



*Figura 3 - Riqualificazione, fase di esecuzione*

Una volta approvato il progetto è possibile passare alla fase esecutiva dell'intervento, inizia la



condividere le informazioni suddividendo i compiti e ponendo obiettivi chiari;

- La validazione del dato, che deve essere univoco e preciso prima di poter essere condiviso.

La potenzialità della metodologia BIM consente di simulare l'andamento del cantiere prevedendo eventuali criticità che possono essere risolte in fase di progettazione, allo stesso modo il digital twin "invecchia" di pari passo con l'edificio reale segnalando anticipatamente quali saranno i prossimi interventi di riqualificazione. Ecco che il flusso di lavoro si ripropone, questa volta con un modello digitale già esistente che prevedeva un piano di smaltimento e recupero del precedente intervento. Il ciclo di vita dell'edificio risulta ora completo, con la capacità di una riqualificazione costante secondo l'aggiornamento normativo e l'obsolescenza dei materiali e delle tecnologie in un processo di recupero, trasformazione e riutilizzo dei materiali in una sequenza potenzialmente infinita (cap. Costruzione, gestione e manutenzione).

## Collaborazione con l'azienda

La ricerca è frutto di un dottorato industriale in collaborazione tra l'Università Iuav di Venezia e l'impresa Edilvi S.p.A. di Villorba (TV). Il dottorato industriale intende favorire lo sviluppo d'idee e progetti innovativi nelle imprese attraverso un percorso di lavoro e formazione che sia in grado di rispondere a un'esigenza specifica o a un progetto di innovazione. Grazie a tale collaborazione, è stato possibile approfondire e sviluppare il progetto di ricerca all'interno della visione e della strategia di sviluppo e innovazione dell'azienda.

## 2. RIQUALIFICAZIONE EDILIZIA

In questo capitolo si intende descrivere l'attuale situazione del patrimonio edilizio esistente con particolare riferimento all'edilizia scolastica, considerando sia lo stato conservativo del fabbricato che l'aspetto funzionale. Si intende poi elencare i diversi finanziamenti stanziati a favore della riqualificazione del patrimonio edilizio.

### Scenario demografico

La maggior parte della popolazione italiana attuale è nata tra il 1961 e il 1975<sup>3</sup>. Nel 2065 un terzo della popolazione italiana avrà più di 65 anni e sarà in costante declino<sup>4</sup>. Il quadro demografico italiano è ormai da diversi anni caratterizzato da alcune dinamiche: un forte calo delle nascite, invecchiamento della popolazione e un basso patrimonio umano di popolazione under venticinque.

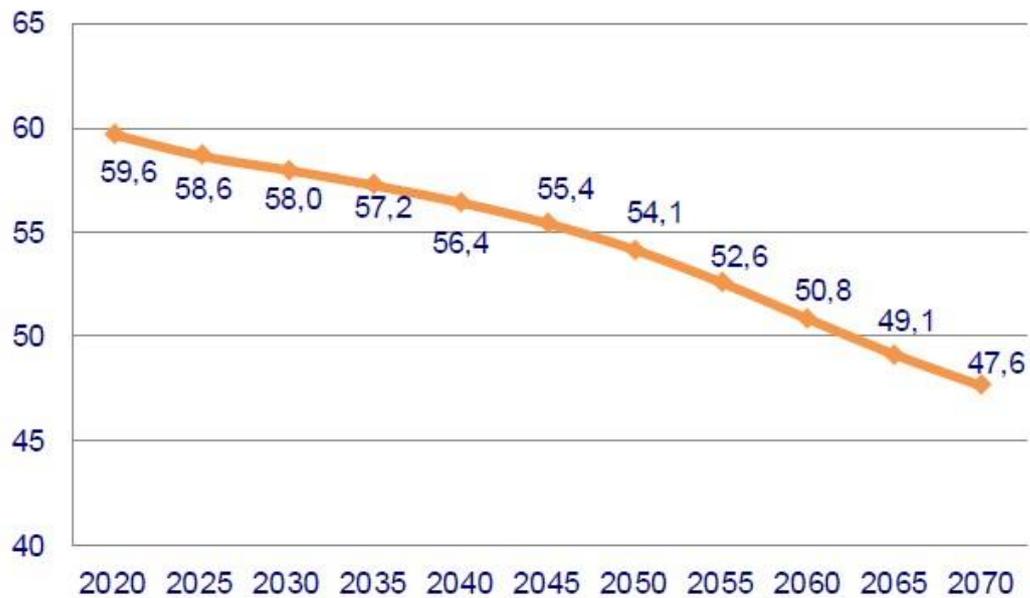
#### *ANCE Osservatorio 2022*

La diminuzione della popolazione (405.275 individui in meno) prosegue anche nel 2020 (iniziata nel 2015). Gli indicatori demografici evidenziano una situazione critica: il saldo naturale è in continua decrescita, diminuiscono nascite e l'afflusso di migranti, le famiglie vivono una progressiva riduzione delle dimensioni. Le nuove previsioni dell'Istituto Nazionale di ricerca (ISTAT) in merito alla popolazione, stimano una decrescita accentuata: da 59,6 milioni al 1° gennaio 2020 a 58 milioni nel 2030, per arrivare a 47,6 milioni nel 2070. La decrescita riguarda tutto il territorio, pur con differenze che vedono nel mezzogiorno una diminuzione della popolazione molto più accentuata. Le stime indicano che entro il 2050, le persone da 65 anni in su potrebbero arrivare a rappresentare il 35% del totale.

---

<sup>3</sup>Elaborazione CRESME su dati ISTAT e Cresme

<sup>4</sup>Previsioni della popolazione – Anni 2017-2065 ISTAT



*Figura 5 - Previsioni della popolazione residente in Italia - elaborazione ANCE su dati ISTAT*

La stima dell'ISTAT sulla popolazione residente in Italia prevede un calo demografico dell'81% entro il 2030, per grado di urbanizzazione dei comuni. Avranno un andamento demografico positivo solo i comuni con più di 100.000 abitanti, quindi solo 10 comuni da qui al 2030. Si pone un grave problema di desertificazione di vaste aree del paese fatte di borghi e di città minori, un tema centrale delle politiche di sviluppo e di recupero delle disuguaglianze. In Italia si sta vivendo quello che viene definito un "inverno demografico", la cifra continua a decrescere, passando da -214.333 nel 2019 a -342.042 unità nel 2020, e il calo delle nascite registra un nuovo minimo storico dall'Unità d'Italia (solo 404.892 nuovi nati, circa 15 mila in meno rispetto al 2019 (-3,6%). La denatalità prosegue nel 2021; secondo i dati provvisori riferiti al periodo gennaio-settembre, le nascite sono già 12.500 in meno, quasi il doppio di quanto osservato nello stesso periodo dell'anno precedente. La crescita della popolazione italiana avviene, negli ultimi vent'anni, grazie all'aumento della popolazione straniera, i nati da genitori stranieri rappresentano il 14,8% del totale dei nati. La popolazione straniera residente al 31 dicembre 2020 è pari a 5.171.894 unità, l'8,7% del totale dei residenti, con un incremento di 132.257 unità rispetto all'anno precedente. L'incidenza degli stranieri sul totale dei residenti è pari al Nord, dove risiede il 59,2% del totale, a poco più dell'11%, nelle regioni del Centro è pari al 10,9%, contro il 4% nel Mezzogiorno.

	Numero	Var. %	Var. assoluta	Incid.% pop.straniera su pop.totale
2011	59.948.497	0,4	258.181	6,8
2012	60.105.185	0,3	156.688	7,2
2013	60.277.309	0,3	172.124	7,6
2014	60.345.917	0,1	68.608	7,9
2015	60.295.497	-0,1	- 50.420	8,0
2016	60.163.712	-0,2	- 131.785	8,0
2017	60.066.734	-0,2	- 96.978	8,0
2018	59.937.769	-0,2	- 128.965	8,1
2019	59.816.673	-0,2	- 121.096	8,4
2020	59.641.488	-0,3	- 175.185	8,4
2021	59.236.213	-0,7	- 405.275	8,7

*Figura 6 - Popolazione residente in Italia - elaborazione ANCE su dati ISTAT*

Nei prossimi anni è previsto un invecchiamento della popolazione che se non affrontato con politiche serie rischia di rappresentare un problema per la società, in particolare per la sanità e il sistema previdenziale, considerato che il rapporto tra popolazione in età non attiva (0-14 e 65 anni in più) e popolazione in età attiva (15-64 anni) è destinato a crescere nei prossimi decenni.

## INDICATORI DEMOGRAFICI

Censimenti 1961-1971, 1° gennaio 2015 e 2016 e previsioni 2030-2070



Figura 7 - Indice di vecchiaia: rapporto tra la popolazione anziana (65 anni e oltre) e la popolazione più giovane (0-14 anni)

La popolazione, dunque, ha subito pesantemente gli effetti della pandemia da Covid19 nel 2020, non solo per quanto riguarda la mortalità, la pandemia, infatti, ha inciso anche sulle scelte riproduttive e matrimoniali, oltre che sulla mobilità residenziale interna e con i Paesi esteri, peggiorando un quadro demografico già molto problematico e squilibrato (Ance, 2021).

Queste statistiche, che evidenziano un netto calo delle nascite, rappresentano un segnale di avviso in riferimento al numero dei futuri fruitori del patrimonio edilizio attuale. La costante diminuzione della popolazione non prevede una strategia edilizia legata alle nuove costruzioni ma bensì si adegua maggiormente al recupero del patrimonio esistente. Questo principio trova ancor più riscontro nell'edilizia scolastica che presenta un patrimonio di oltre 42.000 edifici censiti; risulta pertanto fondamentale intervenire sul recupero e l'adeguamento di questi edifici piuttosto che sulla nuova costruzione.

## Scenario edilizio

Secondo uno studio dell'International Energy Agency (IEA) del 2013 in merito alla transizione verso gli edifici sostenibili, l'Europa necessita con urgenza una profonda rinnovazione del patrimonio edilizio entro il 2050<sup>5</sup>. La maggior parte degli edifici esistenti sono stati realizzati tra il 1946 ed il 1990, hanno quindi concluso il loro naturale ciclo di vita e necessitano pertanto di una rigenerazione. Si ritiene fondamentale intervenire sull'esistente attraverso un processo che richieda una formazione costante e continua.

Table ES.1		Regional priorities in the buildings sector								
		ASEAN <sup>1</sup>	Brazil	China	European Union	India	Mexico	Russia	South Africa	United States
<b>Policy</b>										
<b>Building codes with supporting infrastructure</b> (education, product ratings, and implementation to pursue holistic approach with advanced envelopes)		●	●	●		●	●	●	●	
<b>Appliance and equipment standard</b> (promoting advanced appliances, lighting, heat pumps, heat pump water heater, gas condensing boilers, miscellaneous electrical loads, efficient cooling)		●	●	●		●	●		●	
<b>Deep renovation of existing buildings</b> (systems approach with advanced envelopes and high-performance equipment)					●			●		●
<b>Zero-energy new buildings</b> (advanced holistic building design with integrated renewable energy)					●					●
<small>Notes: red indicates immediate priority, while gold indicates second priority. This is not intended to be an exhaustive list, but intentionally shows the immediate priority for technology and policy, along with a second goal, to help highlight which technologies and policies will have the largest impact in the country or region. Most of the technology and policy categories could be applicable to all countries.</small>										

Fonte: IEA (2013), *Transition to Sustainable Buildings: Strategies and Opportunities to 2050*, OECD/IEA, Paris.

Figura 8 - IEA priorità nel settore delle costruzioni

Lo scenario italiano è perfettamente in linea con lo standard europeo, la condizione del patrimonio edilizio è caratterizzata da edifici obsoleti, tecnologicamente e staticamente inadeguati che non possono essere trasformati o sostituiti in un breve periodo, ma che necessitano di una serie di interventi che progressivamente possano adeguarli alle nuove esigenze.

Secondo un indice ISTAT, la maggior parte degli edifici residenziali in Italia sono stati costruiti tra il 1970 e il 1980, avendo ad oggi superato i cinquant'anni di vita utile. Gli edifici costruiti fino al 1980

<sup>5</sup>IEA (2013) *Transition to Sustainable Buildings: Strategies and Opportunities to 2050*, OECD/IEA, Paris

rappresentano tre quarti del patrimonio edilizio, sono edifici che devono essere riqualificati perché costruiti in un'epoca in cui le necessità sociali e funzionali erano diverse.

TAB. 2.2. EPOCHE DI COSTRUZIONE DEGLI EDIFICI RESIDENZIALI IN ITALIA					
Epoca di costruzione	Stock	% sullo stock 2018	Incremento dello stock nel periodo	Anni di età degli edifici	Incremento medio annuo dello stock
Ante 1918	2.150.000	17,3	2.150.000	Più di 102 anni	
1919-1945	3.530.000	28,3	1.380.000	Tra 102 e 75 anni	51.111
1946-1960	5.190.000	41,7	1.660.000	Tra 75 e 60 anni	110.667
1961-1970	7.160.000	57,5	1.970.000	Tra 60 e 50 anni	197.000
1971-1980	9.140.000	73,4	1.980.000	Tra 50 e 40 anni	198.000
1981-1990	10.430.000	83,8	1.290.000	Tra 40 e 30 anni	129.000
1991-2000	11.230.000	90,2	800.000	Tra 30 e 20 anni	80.000
2001-2010	12.187.000	97,9	957.000	Tra 20 e 10 anni	95.700
2011-2019	12.453.000	100,0	266.000	Meno di 10 anni	29.556

Fonte: elaborazione CRESME su dati Istat e Cresme/SI

Figura 9 - CRESME edifici residenziali in Italia

Nel 2021 le abitazioni con oltre 40 anni di vita sono l'85,2% nelle città metropolitane e il 79,7% nei capoluoghi<sup>6</sup>. Il prossimo futuro vede la riqualificazione edilizia quale settore prevalente dal momento che dal 75% al 90% delle abitazioni esistenti sarà ancora presente nel 2050<sup>7</sup>.

Tabella 2.6. - ABITAZIONI IN EDIFICI CON OLTRE 40 ANNI- % SUL TOTALE		
	2011	2021
Città metropolitane	76,2%	85,2%
Città capoluoghi	68,7%	79,7%

Fonte: CRESME/Servizio Studi-Dipartimento Ambiente della Camera dei Deputati, *Il recupero e la riqualificazione energetica del patrimonio edilizio: una stima dell'impatto delle misure di incentivazione*, 14 giugno 2014.

Figura 10 - CRESME abitazioni in edifici con oltre 40 anni

In riferimento al patrimonio edilizio scolastico esistente, questo è costituito per gran parte da edifici

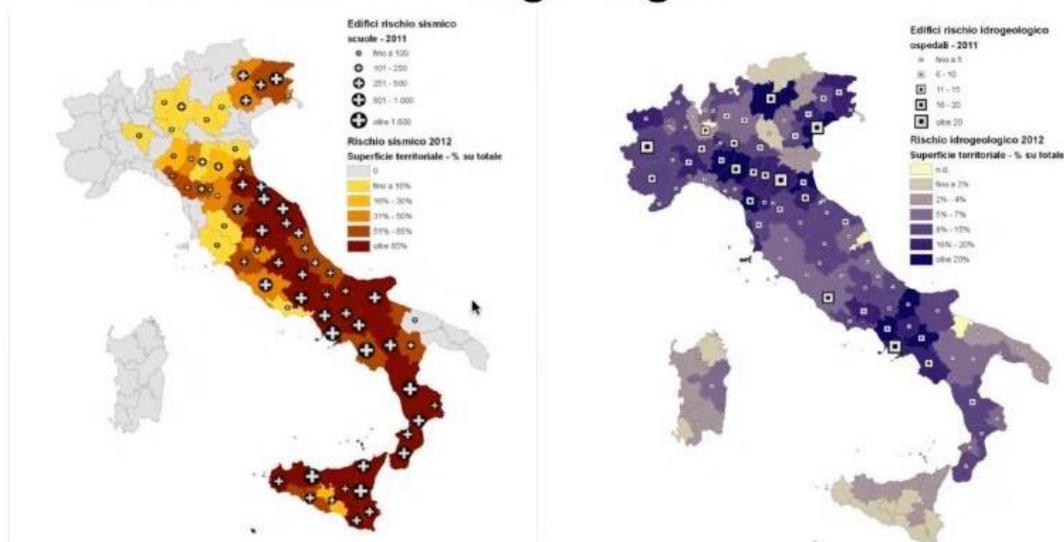
<sup>6</sup>CRESME/Servizio Studi-Dipartimento Ambiente della Camera dei deputati, *il recupero e la riqualificazione energetica del patrimonio edilizio: una stima dell'impatto delle misure di incentivazione*, 14 giugno 2014.

<sup>7</sup>IEA (2013) Technology Roadmap. Energy efficient building envelopes.

anonimi, poco curati, per molti aspetti “non luoghi” che non possono coinvolgere emotivamente uno studente né motivarlo; l'edilizia scolastica evidenzia maggiormente il grado di fatiscenza del patrimonio italiano.

Un rapporto ANCE-Cresme del 2012 evidenzia che gli edifici scolastici situati in aree di rischio sismico sono 24.073 mentre 6.251 si trovano in aree a elevata criticità idrogeologica.

## Rischio sismico e idrogeologico



### Rapporto Ance-Cresme 2012\*

Gli edifici scolastici situati in aree di rischio sismico sono 24.073, mentre 6.251 si trovano in aree a elevata criticità idrogeologica.

*Figura 11 - ANCE - CRESME rischio sismico e idrogeologico, confronto scuole (a sinistra) e ospedali (a destra)*

L'edilizia scolastica in particolar modo necessita di una riqualificazione globale che consideri le esigenze energetiche e strutturali. Le scuole rappresentano il punto di partenza per le nuove generazioni, pertanto, vanno adeguate alle attuali esigenze spaziali e tecnologiche, garantendo una fruibilità sicura e nel pieno delle proprie potenzialità. La Riqualificazione del patrimonio costruito rappresenta una strada percorribile alla luce dei molteplici investimenti in questo settore e di una oggettiva necessità di rinascita.

### Qualità dell'aria

Nelle aule scolastiche l'aria è inquinata, per l'80% del tempo si supera la soglia di CO<sub>2</sub> minima; l'85% degli studenti è esposto a polveri sottili in concentrazioni molto superiori da quanto previsto

dall'Organizzazione Mondiale della Sanità. Per il 95% del tempo non c'è adeguato ricambio d'aria; l'apertura delle finestre comporta l'abbassamento della temperatura interna aumentando il rischio di ammalarsi durante il periodo invernale.

La normativa UNI EN 16798 introduce quattro categorie di progettazione del ricambio d'aria per gli ambienti scolastici, consentendo di scegliere una categoria in base alla qualità dell'aria a prescindere dalla tipologia di scuola.

<b>DECRETO MINISTERIALE 1975</b> punto 5.3.12	<b>UNI 10339 del 1995</b>	<b>UNI EN 16798 del 2019</b>
elementari <b>2,5 vol/h</b>	elementari <b>18 mc/h per alunno</b>	I categoria <b>36 mc/h per alunno</b>
medie <b>3,5 vol/h</b>	medie <b>22 mc/h per alunno</b>	II categoria <b>25 mc/h per alunno</b>
superiori <b>5 vol/h</b>	superiori <b>25 mc/h per alunno</b>	III categoria <b>14 mc/h per alunno</b>
		IV categoria <b>9 mc/h per alunno</b>

*Figura 12 - Appendice B e C del testo UNI EN 16798 parte I e II*

Non si può prescindere da una nuova percezione sociale degli ambienti indoor, che deve trovare un'appropriata risposta nelle misure di contenimento del rischio di trasmissione del virus Covid19. Le principali modalità di contagio sono da associarsi all'infezione attraverso droplet e dunque in relazione alle goccioline di saliva ed all'aerosol di un soggetto contagioso.

A differenza del ricircolo che può rappresentare una fonte di rischio, l'immissione di aria esterna consente ai patogeni una diluizione tale da ridurre la carica virale media e di conseguenza la probabilità di contagio. Per questo la ventilazione degli ambienti indoor è di primaria importanza.

#### *Sistema Nazionale dell'Anagrafe dell'Edilizia Scolastica*

In base all'articolo 1 della legge n. 23 del 11 gennaio 1996, le strutture edilizie costituiscono elemento fondamentale ed integrante del sistema scolastico alle quali va assicurato uno sviluppo qualitativo e una collocazione sul territorio adeguati alla costante evoluzione delle dinamiche formative, culturali, economiche e sociali.

L'articolo 7 della stessa legge prevede che l'Anagrafe Regionale dell'Edilizia Scolastica (ARES) sia lo strumento conoscitivo fondamentale ai fini dei diversi livelli di programmazione degli interventi nel settore e serva ad accertare la consistenza, lo stato e la funzionalità del patrimonio di edilizia

scolastica. La conoscenza delle informazioni concernenti il patrimonio immobiliare scolastico riveste un ruolo di importanza fondamentale, sia per le attività di programmazione degli interventi finalizzati ad ottenere un organico sviluppo dell'edilizia scolastica, sia per garantire un ottimale utilizzo degli edifici disponibili. I dati tecnici e amministrativi relativi al patrimonio edilizio esistente devono essere costantemente aggiornati e tali da costituire un quadro conoscitivo condiviso dai soggetti coinvolti riguardo al tema dell'edilizia scolastica fra tutti gli Enti locali ai quali compete la gestione degli edifici. Il Sistema Nazionale dell'Anagrafe dell'Edilizia Scolastica (SNAES), definito con accordi tra Stato, Regioni ed Enti locali a partire dall'accordo del 6 febbraio 2014 si dedica a queste finalità.

Si tratta di un sistema che prevede due componenti:

- SNAES, componenti a livello centrale, forniscono al ministero dell'istruzione le conoscenze necessarie all'adempimento della sua missione istituzionale;
- ARES, componenti a livello regionale, che garantiscono la programmazione del patrimonio edilizio e la sua gestione su base provinciale, comunale e di singola unità scolastica in un quadro di integrazione e condivisione delle informazioni con i sistemi informativi degli Enti locali stessi<sup>8</sup>.

Nel corso dell'anno 2021 è giunta a compimento la reingegnerizzazione di questo sistema informativo definendo le schede per la raccolta dei dati sugli edifici scolastici e sui Punti di Erogazione del servizio Scolastico (PES).

La scheda edificio, formata da otto sezioni, consente di raccogliere elementi utili per valutare, sia dal punto di vista qualitativo, sia da quello quantitativo le strutture destinate ad uso scolastico; la compilazione di questa scheda è competenza dell'Ente locale.

La scheda PES, formata da quattro sezioni, consente di raccogliere informazioni sui singoli punti di erogazione del servizio presenti nell'edificio; la compilazione di questa scheda è competenza del dirigente scolastico.

Con il termine PES si identifica ciascuna scuola appartenente ad una istituzione scolastica, ovvero un'entità amministrativa retta da un dirigente scolastico.

L'obiettivo di questo sistema informativo è di raccogliere tutte le informazioni necessarie tali da fornire una lettura della situazione complessiva del patrimonio edilizio scolastico così da poter razionalizzare le necessarie attività di analisi e ottimizzare le conseguenti scelte di intervento sugli edifici.

---

<sup>8</sup>MIUR – Istruzioni per la compilazione della Scheda di rilevazione del patrimonio di edilizia scolastica, marzo 2021.



Figura 13 - Dati sulla consistenza e sulla funzionalità del patrimonio di edilizia scolastica

Gli Enti locali, gestori o proprietari degli edifici pubblici ad uso scolastico, sono i titolari dei dati dell'edilizia scolastica. 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 (Ministero dell'istruzione, 2021).

#### *INAIL Dossier scuola 2021*

Nell'ultimo dossier scuola redatto dall'Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro (INAIL) viene riportato un report sulle attuali condizioni di sicurezza dei plessi scolastici.

A partire dal 2016, il 22 novembre è la data ufficiale nella quale viene celebrata la "Giornata nazionale della sicurezza nelle scuole". Istituita dalla legge 107 del 2015, ricorre nel giorno dell'anniversario del crollo avvenuto nel 2008 al liceo Darwin di Rivoli, in provincia di Torino, che costò la vita a Vito Scafidi, un giovane studente di 17 anni. In questa giornata, l'INAIL e il Ministero dell'Istruzione promuovono e organizzano a livello nazionale e territoriale, insieme alle Direzioni regionali e agli Uffici scolastici regionali, eventi e manifestazioni su questa tematica.

Il rinnovo del patrimonio edilizio scolastico è un investimento importante per il futuro del nostro Paese e per la sicurezza degli studenti. Nel corso degli ultimi anni sono state emanate diverse disposizioni normative che prevedono che anche l'Istituto possa contribuire a questo obiettivo, realizzando investimenti immobiliari nella costruzione di nuovi edifici scolastici in collaborazione con gli enti locali competenti, a livello comunale e provinciale o di città metropolitana. Le opere inserite nei piani triennali degli investimenti a partire dal 2015 rientrano in quattro diversi filoni d'investimento, ciascuno derivante da un intervento normativo (Inail, 2021).

## Tendenze e previsioni

Secondo un indice ISTAT, nel 2018 in Italia, gli investimenti sulle nuove costruzioni sono calati del 36,5% rispetto ai valori del 2007, gli investimenti sulla manutenzione straordinaria degli immobili sono invece saliti del 20,9% nello stesso periodo<sup>9</sup>. La curva degli investimenti per la manutenzione straordinaria è in costante aumento dagli anni 2000<sup>10</sup>.

Il valore della produzione nelle costruzioni secondo una stima del Centro Ricerche Economiche Sociologiche e di Mercato nell'Edilizia (CRESME), incide al 73,6% per il recupero e la riqualificazione del patrimonio esistente e al 25,4% per la nuova edificazione.



Fonte: CRESME/Servizio Studi-Dipartimento Ambiente della Camera dei Deputati, *Il recupero e la riqualificazione energetica del patrimonio edilizio: una stima dell'impatto delle misure di incentivazione*, 10 dicembre 2019.

Figura 14 - CRESME valore della produzione nelle costruzioni

Ad oggi 126 miliardi di euro sono impiegati nel recupero del patrimonio edilizio suddiviso tra manutenzione ordinaria e straordinaria<sup>11</sup>. Sebbene gli investimenti sulle nuove costruzioni abbiano subito un crollo con la crisi economica del 2007, quelli riguardanti gli interventi di riqualificazione sono in costante aumento.

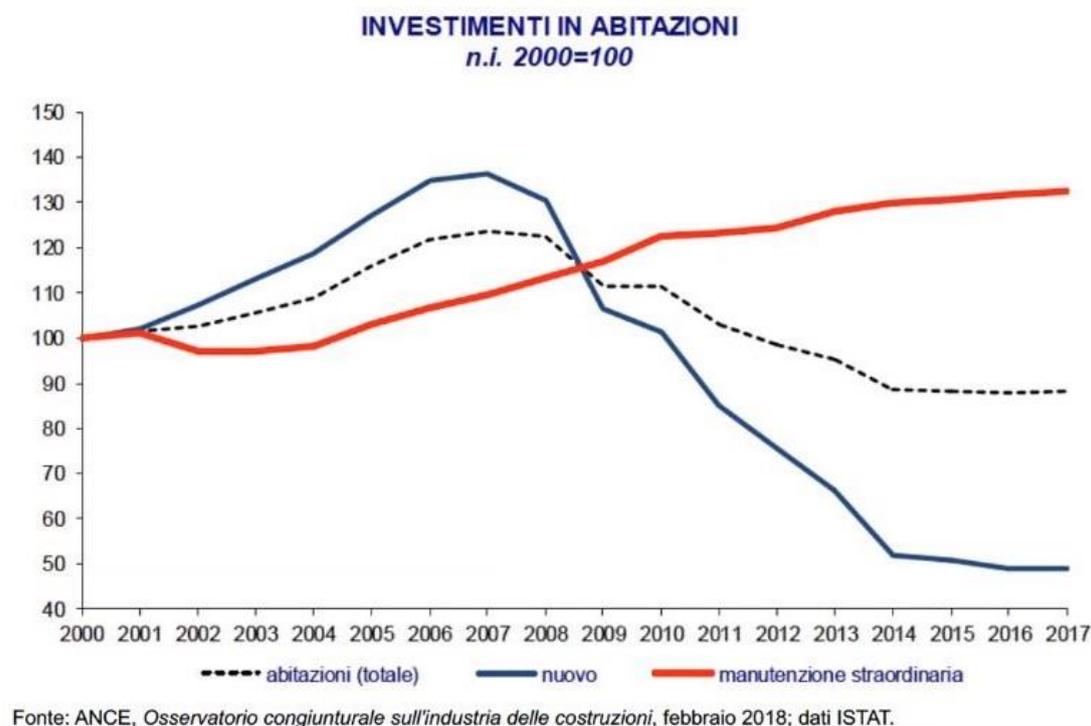
Tutti questi dati statistici relativi agli investimenti nel settore dell'edilizia evidenziano come gli interventi di riqualificazione siano gli unici a garantire una continuità costante nel tempo, quindi gli

<sup>9</sup>ANCE, Osservatorio congiunturale sull'industria delle costruzioni, dicembre 2018; dati ISTAT.

<sup>10</sup>ANCE, Osservatorio congiunturale sull'industria delle costruzioni, febbraio 2018; dati ISTAT.

<sup>11</sup>CRESME/Servizio Studi-Dipartimento Ambiente della Camera dei deputati, *Il recupero e la riqualificazione energetica del patrimonio edilizio: una stima dell'impatto delle misure di incentivazione*, 10 dicembre 2019.

unici a garantire una fonte di investimento stabile. Risulta pertanto fondamentale comprendere che il mercato degli investimenti edilizi si muoverà sempre più a favore di investimenti volti a riqualificare il patrimonio esistente.



*Figura 15 - ANCE investimenti in abitazioni dati ISTAT*

La Direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica afferma che è necessario aumentare il tasso delle ristrutturazioni di immobili, in quanto il parco immobiliare esistente rappresenta il settore individuale con le maggiori potenzialità di risparmio energetico. Intervenire sugli edifici risulta fondamentale per soddisfare l'obiettivo dell'UE di ridurre, entro il 2050, le emissioni di gas serra dell'80/95%.

Per il prossimo decennio in Europa sono previsti diversi programmi e piani di investimento per l'efficientamento energetico del patrimonio edilizio. Tutte queste opportunità consentono di intervenire in maniera concreta, occorre pertanto pianificare gli interventi e sviluppare strategie di riqualificazione globale.

#### *Piano di Efficienza Energetica 2011*

L'efficienza energetica è al centro della strategia Europa 2020 dell'UE per una crescita intelligente,

sostenibile e inclusiva e della transizione verso un'economia basata su un uso efficiente delle risorse. La Commissione Europea con il Piano di Efficienza Energetica del 2011 vuole incentivare il processo di ristrutturazione di edifici pubblici e privati e migliorare il rendimento energetico dei componenti e degli apparecchi in essi utilizzati; il maggior potenziale di risparmio energetico è insito negli edifici<sup>12</sup>. Questo piano promuove il ruolo esemplare del settore pubblico proponendo di accelerare il tasso di rinnovo degli edifici pubblici.

Gli edifici sono responsabili al 40% dei consumi di energia, nelle abitazioni residenziali due terzi di tale consumo riguarda il riscaldamento degli ambienti. L'efficienza energetica nel settore edile e civile rappresenta il principale segmento di intervento.



*Figura 16 - Consumo energetico nelle case dell'UE-27 in %, piano di efficienza energetica 2011*

Esempi di rinnovamento nell'ambito del programma UE di bioedilizia indicano riduzioni efficaci dal punto di vista dei consumi e quindi dei costi fino all' 80%.

Al fine di ottemperare alle direttive imposte dal Piano di Efficienza Energetica del 2011 occorre intervenire con un approccio integrato e trasversale che tenga conto delle attuali esigenze di energia termica, del ruolo delle autorità locali nella pianificazione e attuazione di strategie di efficienza energetica che siano compatibili con l'ambiente.

Per sostenere l'innovazione tecnologica la Commissione Europea promuove lo sviluppo, la verifica e la diffusione di nuove tecnologie efficienti sotto il profilo energetico al fine di ridurre i costi e

---

<sup>12</sup>Commissione Europea, *Piano di efficienza energetica 2011*.

migliorane le prestazioni (Commissione Europea, 2011).

Sono molti gli investimenti intesi a migliorare l'efficienza energetica, tra questi il Programma energia intelligente per l'Europa che sostiene le attività atte ad accelerare il rinnovo del patrimonio edilizio; il Piano europeo di ripresa economica che finanzia il partenariato pubblico-privato investendo su metodi e tecnologie di ricerca finalizzati a ridurre il consumo energetico.

#### *ANCE Osservatorio 2022*

Analisi svolte dalla Commissione Europea hanno evidenziato tra i migliori d'Europa il Pil italiano per il 2021 con un incremento di +6,5% rispetto al 2020. Solo la Francia ha registrato un incremento superiore a +7% rispetto al 2020, mentre per Spagna e Germania gli aumenti sono stati meno significativi (rispettivamente, +5% e +2,8%).

Gli investimenti nel settore delle costruzioni hanno un ruolo fondamentale per l'economia italiana, soprattutto dopo la pandemia con le opportunità del Superbonus e del PNRR, Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza. La stima dell'ANCE identifica un incremento del +16,4%, una crescita che non si registrava da anni. Si evidenzia una crescita consistente, +15% nel 2021 rispetto all'anno precedente, anche per costruzioni nel pubblico, a favore di enti territoriali e potenziamento di alcuni lavori già in corso di opere infrastrutturali. Altre fonti sono fornite dai dati ISTAT, con un incremento del 16,3% in confronto con l'analogo periodo dell'anno precedente, e i dati del (SIOPE), Sistema Informativo sulle Operazioni degli Enti Pubblici della Ragioneria dello Stato sulla spesa in conto capitale dei comuni che è tornata a crescere del 16% su base annua.

Ciò rafforza il rilancio di investimenti locali, come la messa in sicurezza del territorio e degli edifici pubblici e lo sviluppo sostenibile (mobilità ed efficientamento energetico), sono stati introdotti ulteriori incentivi alle politiche di investimento come revisione delle regole contabili sul pareggio di bilanci.

La previsione dell'ANCE per il 2022 è di un lieve aumento degli investimenti in costruzioni del +0,5% rispetto ai valori raggiunti nel 2021.

Questo risultato riguarda solamente il settore residenziale, che risente del mancato apporto espansivo della manutenzione straordinaria per la quale si stima una flessione del -8,5%. Il dato deriva dal blocco delle cessioni dei crediti, che non riguarda solo il Superbonus ma anche i bonus ordinari.

	2021	2020	2021	2022
	Milioni di euro	Variazioni % in quantità		
<b>COSTRUZIONI</b>	<b>147.869</b>	<b>-6,2%</b>	<b>16,4%</b>	<b>0,5%</b>
<b>ABITAZIONI</b>	<b>71.546</b>	<b>-7,7%</b>	<b>21,8%</b>	<b>-5,6%</b>
- nuove	16.078	-9,7%	12,0%	4,5%
- manutenzione straordinaria	55.468	-7,0%	25,0%	-8,5%
<b>NON RESIDENZIALI</b>	<b>76.323</b>	<b>-4,9%</b>	<b>11,6%</b>	<b>6,4%</b>
- private	46.094	-9,1%	9,5%	5,0%
- pubbliche	30.229	2,6%	15,0%	8,5%

*Figura 17 - ANCE investimenti in costruzioni dati ISTAT 2022*

In merito al comparto delle opere pubbliche, la stima ANCE per il 2022 è di un aumento dell'8,5% nel confronto con il 2021, tale aumento è spiegato principalmente dalle aspettative di utilizzo delle risorse del PNRR. Nel 2022 è atteso un consolidamento della fase attuativa del Piano, soprattutto nella parte di competenza degli enti territoriali, che vede la realizzazione di opere medio piccole diffuse sul territorio, inserite in programmi di spesa già esistenti, messa in sicurezza del territorio e degli edifici, edilizia scolastica, rigenerazione urbana, ecc. (Ance, 2022).

Molti progetti finanziati con le risorse europee riguarderanno le città, le risorse pubbliche dovranno rappresentare il catalizzatore della rigenerazione urbana. Fino ad oggi, l'assenza di visione e di una regia nazionale ha spesso prodotto solo un elenco di interventi puntuali impedendo di dare vita ad un nuovo modello di sviluppo (Ance, 2021).

#### *Next Generation EU*

Dopo la pandemia di Covid19 si è evidenziata la necessità di adattare il nostro modello economico ad una maggiore sostenibilità ambientale e sociale. La Presidente della Commissione europea, Ursula von der Leyen, ha presentato nel 2019 l'European Green Deal (EGD) per rendere l'Europa, entro il 2050, il primo continente a impatto climatico zero. L'UE ha proposto nel luglio del 2020 il lancio del programma Next Generation EU (NGEU), con la sospensione del Patto di Stabilità, investendo 750 miliardi di euro, in cui viene finanziato il programma di "sostegno temporaneo per attenuare i rischi di disoccupazione in un'emergenza" (*Support to Mitigate Unemployment Risks in an Emergency - SURE*).

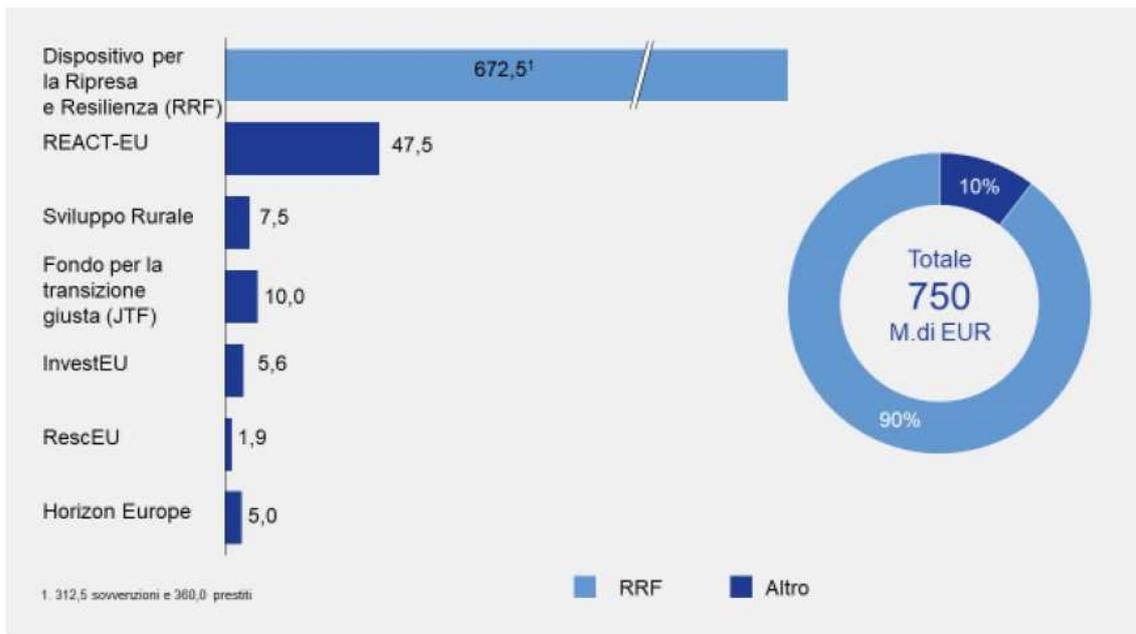


Figura 18 - Next Generation EU – dispositivi e risorse disponibili, miliardi di euro

Paesi come l'Italia, hanno sofferto di un'elevata disoccupazione e di una bassa crescita economica, pur essendo in linea con la media UE di reddito pro capite. Per questo NGEU, che ha come obiettivo la ripresa dell'economia europea, in settori della digitalizzazione, formazione, inclusione territoriale e sociale, ha investito notevoli risorse per dare al nostro paese la possibilità di rimettersi in pari con i paesi più ricchi dell'UE.

Arete di intervento del PNRR, secondo il regolamento RRF:

- transizione verde;
- trasformazione digitale;
- crescita intelligente, sostenibile e inclusiva;
- coesione sociale e territoriale;
- salute e resilienza economica, sociale e istituzionale;
- politiche per le nuove generazioni, l'infanzia e i giovani.

MISSIONI	DIGITALIZZAZIONE, INNOVAZIONE, COMPETITIVITA' E CULTURA 46,30 mld €	RIVOLUZIONE VERDE E TRANSIZIONE ECOLOGICA 68,9 mld €	INFRASTRUTTURE PER UNA MOBILITA' SOSTENIBILE 31,98 mld €	ISTRUZIONE E RICERCA 28,5 mld €	INCLUSIONE E COESIONE 27,63 mld €	SALUTE 18,01 mld €
COMPONENTI	Digitalizzazione, innovazione e sicurezza nella PA 11,75 mld €	Agricoltura sostenibile ed economia circolare 7 mld €	Alta velocità di rete e manutenzione stradale 4.0 28,3 mld €	Potenziamento delle competenze e diritto allo studio 16,72 mld €	Politiche per il lavoro 12,62 mld €	Assistenza di prossimità e telemedicina 7,5 mld €
	Digitalizzazione, innovazione e competitività del sistema produttivo 26,55 mld €	Energia rinnovabile, idrogeno e mobilità sostenibile 18,2 mld €	Intermodalità e logistica integrata 3,68 mld	Dalla ricerca all'impresa 11,77 mld €	Infrastrutture sociali, famiglie, comunità e terzo settore 10,83 mld €	Innovazione, ricerca e digitalizzazione dell'assistenza sanitaria 10,51 mld €
	Turismo e Cultura 4.0 8 mld	Efficienza energetica e riqualificazione degli edifici 29,55 mld €			Interventi speciali di coesione territoriale 4,18 mld €	
		Tutela del territorio e della risorsa idrica 15,03 mld €				

Figura 19 - PNRR ripartizione degli importi per le sei missioni

Il pilastro della transizione verde deriva dall'EGD e dal doppio obiettivo dell'UE di ridurre le emissioni di gas serra del 55% entro il 2030 rispetto al 1990 e di raggiungere la neutralità climatica entro il 2050. Il regolamento del NGEU prevede una spesa minima del 37% degli investimenti e riforme programmate nei PNRR a favore degli obiettivi climatici. Inoltre, tutti gli investimenti e le riforme previste da tali piani devono rispettare il principio del "non arrecare danni significativi" all'ambiente (Governo Italiano, 2021).

#### Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza

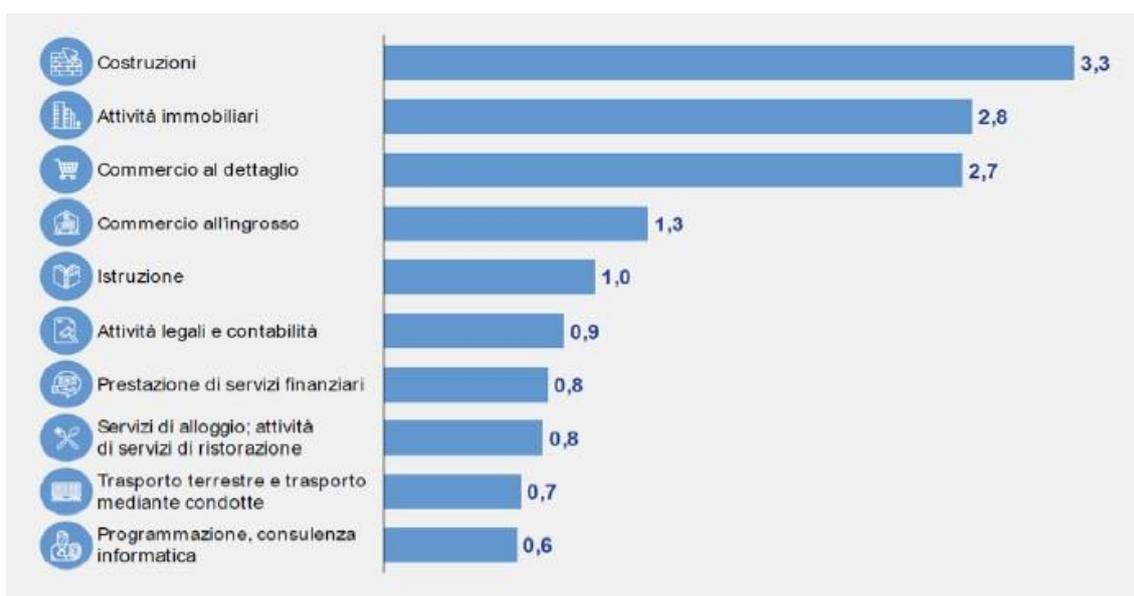
Il 13 luglio 2021, nell'ambito dell'iniziativa europea Next Generation EU, l'Italia ha ottenuto il via libera da parte della Commissione Europea al proprio PNRR.

Il PNRR è il documento predisposto dal governo italiano per illustrare alla commissione europea come verranno investiti i fondi relativi al programma NGEU. Il documento descrive i progetti che l'Italia intende realizzare con i fondi comunitari; inoltre, presenta un calendario di riforme finalizzate all'attuazione del piano e alla modernizzazione del paese.

Con il PNRR, si rafforzerà la struttura economica italiana, favorendo la transizione digitale ed ecologica, superando gli squilibri territoriali e sociali, aumentando il livello di produttività, diminuendo la vulnerabilità dei cambiamenti climatici, oltre che impegnandosi a recuperare le conseguenze provocate dalla pandemia. Per raggiungere questi obiettivi, sono state fornite risorse europee, da impiegare nel periodo che va dal 2021 al 2026, relative al Dispositivo di Ripresa e Resilienza (RRF), pari a 191,5 miliardi di euro, di cui 68,9 miliardi di sovvenzioni a fondo perduto, e

122,6 miliardi di euro di prestiti. Il Governo italiano ha deciso di affiancare a questi fondi, delle risorse nazionali, pari a 30,6 miliardi di euro, ( DL 59/2021) , per investimenti complementari.

Il piano deve rispettare il principio del “Do No Significant Harm” (DNSH), per cui tutti gli interventi non devono arrecare nessun danno all’ambiente. Tutte le misure del piano sono accompagnate da scadenze ben precise entro le quali raggiungere determinati obiettivi e traguardi al fine di ottenere l’erogazione dei fondi. Secondo le stime del Governo il settore delle costruzioni sarà quello che beneficerà maggiormente delle risorse del PNRR.



*Figura 20 - Variazione del valore aggiunto per branca di attività economica (contributo delle attività alla variazione percentuale nel periodo 2021-2026)*

Le misure di interesse per il settore, capaci di determinare un incremento degli investimenti in costruzioni pubbliche e private, ammontano a 108 miliardi di euro, pari al 49% dei 222 miliardi complessivi programmati con il PNRR.

Sono due le missioni su cui si concentrano le risorse:

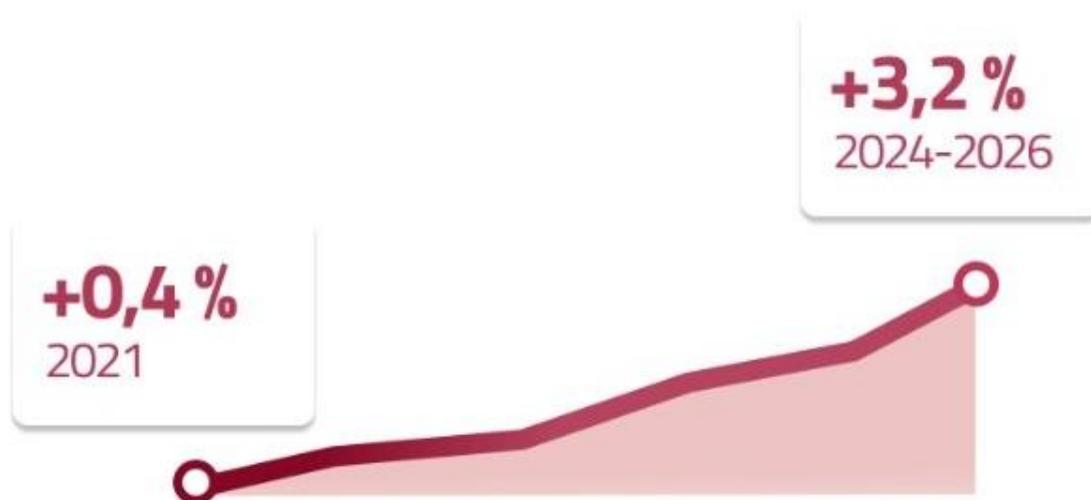
- Missione 2 “Rivoluzione Verde e Transizione Ecologica” (39%), l’efficienza energetica degli edifici pubblici e privati, la mobilità sostenibile, le infrastrutture idriche e la messa in sicurezza dal rischio idrogeologico;
- Missione 3 “Infrastrutture per una mobilità sostenibile” (25%), opere ferroviarie ad Alta Velocità per garantire più adeguati collegamenti del Paese, interventi per migliorare la tecnologia e di sicurezza della rete ferroviaria, investimenti sul sistema portuale.

Il piano, inoltre, prevede molteplici investimenti diffusi su tutto il territorio nazionale tra i quali: 12 miliardi per l'edilizia scolastica, 2,5 miliardi per il rischio idrogeologico e oltre 9 miliardi per i programmi di rigenerazione urbana (Ance, 2022).

### *Piano Giovani*

Il Piano Giovani facente parte delle priorità trasversali del PNRR, mira ad Investire nelle nuove generazioni per garantire l'accesso ai servizi di assistenza all'infanzia, migliorare il sistema scolastico e invertire il declino di natalità del Paese.

Si prevede un aumento dell'occupazione giovanile di 3,2 punti percentuale entro il 2026, in cui gli interventi di Italia Domani porteranno ad un incremento costante dell'occupazione giovanile su tutto il territorio nazionale. Nello specifico, sono favoriti gli investimenti ad elevato contenuto innovativo e quelli volti a migliorare la coesione e l'inclusione sociale, settori ad elevata percentuale di occupanti giovani (Piano Giovani, 2022).



*Figura 21 - Occupazione giovanile entro il 2026*

I giovani sono una delle categorie più colpite dopo la pandemia, sono aumentati i giovani cosiddetti Not in Education, Employment or Training (NEET), che non lavorano e non sono iscritti a corsi di studio. I NEET, prima della pandemia, erano circa 2.003.000, dopo salgono a 2.066.000.

Secondo dei dati ISTAT di febbraio 2021, il tasso di occupazione tra i 15-25enni è diminuito di 14,7 punti percentuali in un anno, oltre tre volte il valore medio nazionale. I 25-34enni hanno perso complessivamente 258 mila posti di lavoro dal febbraio scorso (-6,4%) su un totale di 945 mila.

Il Piano, attraverso delle “Missioni”, mira a recuperare il potenziale delle nuove generazioni e a costituire un ambiente capace di favorire il loro sviluppo nella società:

- Missione 1, interventi sulla digitalizzazione, soprattutto nelle scuole;
- Missione 2, interventi che favoriscono la transizione ecologica, con le energie rinnovabili, le reti di trasmissione e distribuzione e la filiera dell'idrogeno;
- Missione 4, interventi sul ciclo dell'istruzione e della ricerca, migliorando le competenze di base, riducendo i tassi di abbandono scolastico e le distanze tra istruzione e lavoro grazie alla riforma del sistema di formazione professionale terziaria (ITS). Si agevola l'accesso all'università grazie alle borse di studio, offrendo più opportunità ai ricercatori ed estendendo i dottorati di ricerca.
- La Missione 5, in linea con le raccomandazioni specifiche della Commissione Europea sull'Italia, vuole assicurare un'integrazione efficace tra le politiche attive del mercato del lavoro e le politiche sociali, anche attraverso forti investimenti nelle politiche di istruzione e formazione (apprendistato duale). Il potenziamento del “Servizio Civile Universale” intende incrementare il numero di giovani interessati. I giovani sono inoltre coinvolti dalle misure relative alle infrastrutture sociali e alle case popolari, nonché dal rafforzamento dei servizi nelle aree interne.

### 3. EDILIZIA SCOLASTICA

In questo capitolo si intende descrivere l'attuale condizione del modello educativo italiano e come gli studi pedagogici, alla luce anche dell'emergenza epidemiologica in atto, intendono il nuovo modello educativo idoneo alle pratiche sociali delle nuove generazioni.

“La scuola è ossigeno per la società. Non riguarda soltanto voi che la frequentate. Il suo funzionamento è specchio di quello del Paese. La scuola non è un capitolo accessorio, bensì è assolutamente centrale in un Piano di ripartenza. Le conoscenze e la cultura delle giovani generazioni costituiscono il volano migliore per il domani di tutti noi.”<sup>13</sup>

#### Stato dell'arte

L' adeguamento degli edifici scolastici e la loro reinvenzione introduce un'enorme serie di problemi sociali, culturali, pedagogici e sindacali che la normativa non è in grado di prevedere e anticipare. Le nuove norme dovrebbero riferirsi all'attuale situazione che continuamente si evolve in modo spesso imprevedibile, da queste dovrebbe emergere la consapevolezza che la scuola è un organismo vivo che nel tempo si arricchisce e si modifica seguendo il pulsare della vita e delle sue trasformazioni.

La ricerca pedagogica e le scienze cognitive offrono numerosi elementi che ci aiutano a definire le caratteristiche che dovrebbe avere oggi un efficace ambiente di apprendimento.

Una pedagogia forte che considera il bambino protagonista può influire fortemente non solo sull'organizzazione della scuola e i suoi rapporti con i genitori e la città, ma determina una sostanziale trasformazione degli spazi didattici e degli arredi.

Le nuove tipologie edilizie, che sono da adattare alla nostra cultura ambientale, richiedono comportamenti consapevoli e misurati da parte degli studenti e questo è possibile solo con un'autonomia di attività dello studente. Dietro la necessità di costruire rapidamente nuovi spazi si scambia molto spesso l'edilizia con l'architettura, producendo edifici senza qualità, dimenticando che in quegli ambienti si dovranno necessariamente formare gli uomini di domani.

L'aula è sempre stata il centro dell'istruzione scolastica con gli altri spazi accessori alla sua centralità: ogni luogo era ideato per una materia specifica e restava inutilizzato per il resto del tempo. Corridoi,

---

<sup>13</sup> Dall'intervento del Presidente della Repubblica Sergio Mattarella in occasione della cerimonia di inaugurazione dell'anno scolastico 2021/2022.

palestra e laboratori venivano utilizzati in momenti definiti e comunque distanti dalla funzione didattica. Occorre concepire la nuova scuola come uno spazio unico e integrato dove tutti gli ambienti hanno pari dignità, risultando flessibili, abitabili e capaci di accogliere le persone in ogni momento. Si tratta di spazialità funzionali, dotate di un adeguato livello di comfort volte a realizzare le molteplici attività della scuola.

Questi nuovi edifici scolastici dovranno diventare dei “Civic center” capaci di tessere nuovamente le fila della vita dei quartieri, favorire l'uso delle attrezzature come le biblioteche, l'auditorium e le palestre per attività extra scolastiche dilatando il tempo del loro utilizzo, per una crescita della vita comunitaria. Difficilmente la scuola nasce come centro di quartiere, ma spesso sorge dove è rimasto uno spazio libero, libero perché poco appetibile o male servito e se la sua collocazione urbanistica è poco felice, il solo progetto edilizio non è in grado di sopperire ai limiti della scelta urbanistica e garantire effettive qualità di “Civic center”, di efficace luogo di aggregazione sociale. È importante rendere la comunità partecipe delle scelte progettuali.

Nei nuovi edifici scolastici sarà di grande importanza un attento uso di alcuni aspetti immateriali dell'architettura, come luce, colore e suono, che contribuiscono in maniera determinante alla qualità di uso degli spazi, oltre all' attenuazione della luce naturale si dovrà controllare la qualità e la variabilità di quella artificiale.

Per la nuova scuola sarà molto importante la qualità progettuale, gli spazi dovranno essere più flessibili e questa necessaria flessibilità richiede impianti tecnologicamente più sofisticati. I nuovi impianti dovranno tendere a ridurre per i prossimi anni i costi di gestione per l'energia elettrica, la gestione del calore e la ventilazione e l'acustica dovrà essere più accurata. Sarà fondamentale anche porre attenzione sul dimensionamento degli edifici, si dovrà fare in modo che non vengano incrementati i costi di gestione e quelli di manutenzione (Biondi, Borri, & Tosi, 2016).

### *Ambienti di apprendimento innovativi*

La scuola nell'immaginario collettivo è sempre stata un luogo di corridoi e aule e per questo motivo, generalmente c'è la tendenza a considerare l'impostazione scolastica originaria come qualcosa che non possa essere modificato, una sorta di “dogma”. È quindi comune l'abitudine a considerare ancora validi questi preconcetti: si apprende in classe, si apprende a certe ore, per apprendere è necessario rimuovere fonti di distrazione e l'apprendimento è frutto di un'attività individuale. Una considerazione molto importante è data da Luigi Berlinguer che afferma: “La struttura spazio-

temporale della scuola [...] è pensata per separare in chiave organizzativa il momento dell'insegnamento da quello dello studio" (Berlinguer & Guetti, 2014). Ancora oggi la scuola contemporanea tende a schematizzare luoghi, materie di insegnamento e orari, l'aspetto più grave di questa organizzazione è proprio la scissione tra insegnamento e apprendimento. Il bambino impara che gli verrà insegnata quella materia solo a quell'ora e solo in quell'aula perdendo così la possibilità di un apprendimento a 360 gradi. Bisogna invece considerare lo spazio come un "terzo educatore", il passaggio doveroso è quindi dall'aula all'ambiente di apprendimento.

L'organizzazione dello spazio non dovrà più rimandare ad una concezione "adultocentrica" dell'aula, ovvero quella in cui i banchi convergono verso la cattedra dell'insegnante, considerato come il centro del processo di apprendimento (Meda, 2016).

### *Progetto PROSA*

PROSA, PROtotipi di Scuole da Abitare, è un Progetto di Rilevante Interesse Nazionale (PRIN), che ha come obiettivo di ricerca quello di definire nuovi standard di qualità per migliorare architettonicamente le scuole sul territorio nazionale. Tale progetto approfondisce la ricerca sull'architettura scolastica e sulla pedagogia che definisce uno spazio della scuola; e si pone come obiettivo quello di ritrovare gli spazi della formazione che hanno un ruolo centrale nello sviluppo psico-cognitivo del bambino. L'architettura interviene in maniera interdisciplinare proponendo nuovi spazi legati a nuovi concetti pedagogici e in grado di rispondere a diverse esigenze.

Gli ambienti fisici non sono più in grado di rispondere ad un contesto educativo in continua evoluzione, questo presuppone un graduale ripensamento degli spazi e dei luoghi che prevedano soluzioni diversamente configurabili con al centro l'edificio scuola come riferimento per la comunità. Diventa fondamentale considerare la relazione scalare tra persone, edifici ed arredo, la relazione tra scuola e città che si abbina al concetto di scuola all'aperto. La scuola è sempre stata studiata sotto il profilo pedagogico ma non sempre considerando la sua architettura.

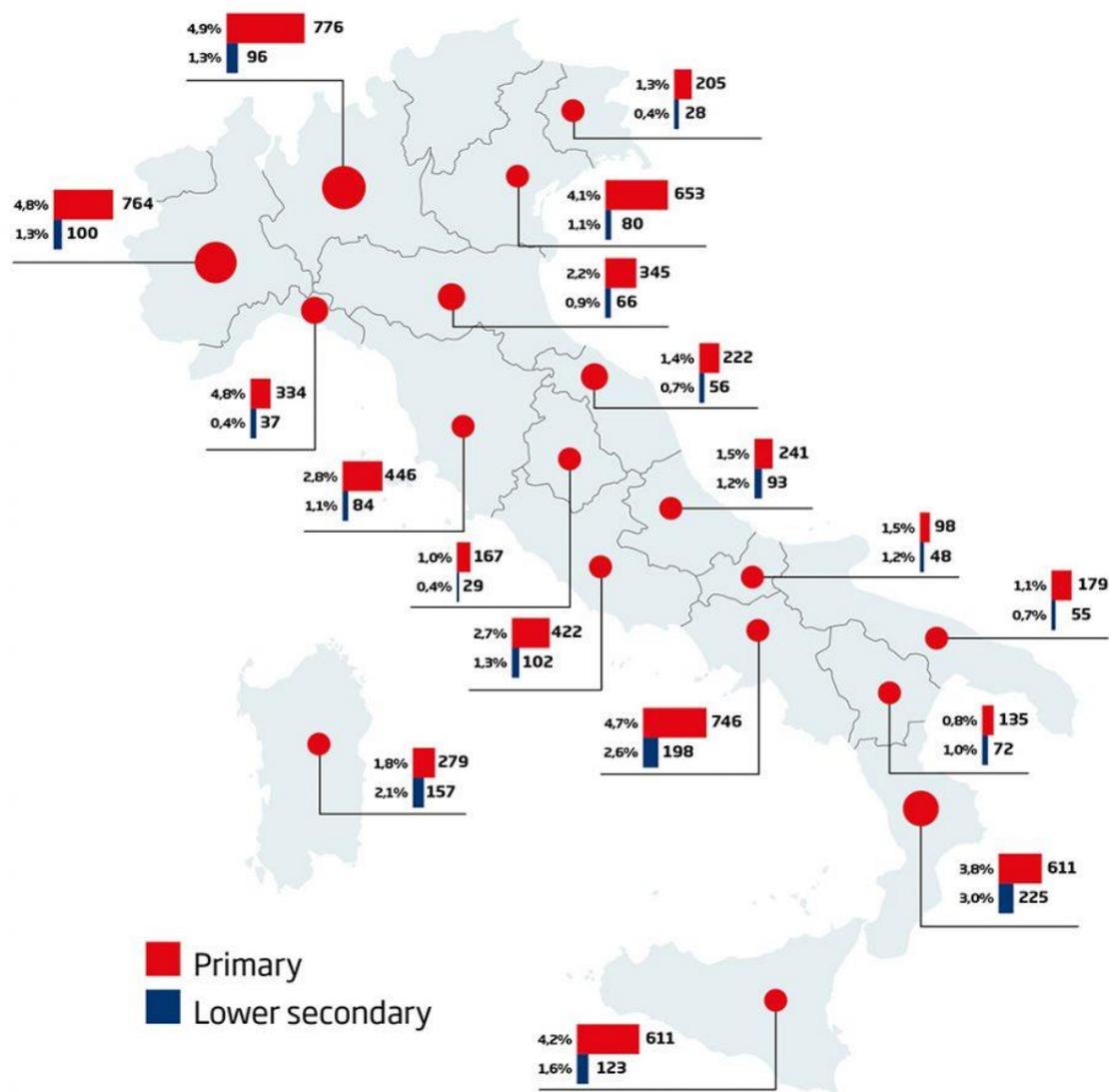
La generazione dei ragazzi del 2020 è quella più esposta ai traumi che la pandemia Covid19 sta lasciando, il concetto di scuola all'aperto diventa fondamentale in questo contesto pandemico. La scuola è strettamente connessa al contesto a cui appartiene per questo è importante ripensarla non confinata dentro l'edificio scolastico ma come una rete di luoghi di apprendimento che appartengono alla città diventando essa stessa partecipe della didattica.

### *Movimento delle Piccole Scuole*

L'Istituto Nazionale di Documentazione, Innovazione e Ricerca Educativa (INDIRE) ha dato vita al "Movimento delle Piccole Scuole", ufficializzato nel 2017, per sostenere quelle scuole che sono situate in luoghi isolati, allo scopo di valorizzare la loro funzione educativa, culturale e contrastare il fenomeno dello spopolamento. In queste scuole si sviluppa il fenomeno della pluriclasse, ossia classi formate da alunni di età diversa. Questo istituto ha permesso ad alcune scuole delle comunità montane e delle isole di sperimentare modalità di lavoro comune, come la didattica a distanza, l'uso di tecnologie come la Lavagna Interattiva Multimediale (LIM) e la videoconferenza. Su circa 24.000 plessi scolastici, ben 8.848<sup>14</sup> sono piccole scuole suddivise tra primaria e secondaria di primo grado.

---

<sup>14</sup> Dato fornito dal MIUR, tramite l'Anagrafe Nazionale degli Studenti (ANS).



INDIRE elaboration on MIUR.ANS 2017-2018 data

Figura 22 - Distribuzione regionale delle Piccole Scuole

Questa rete nazionale ha come traguardo la promozione di situazioni educative di insegnamento e apprendimento qualitativamente adeguate e orientate alla definizione di obiettivi pedagogici e didattici inclusivi ed in grado di superare le difficoltà derivanti dall'isolamento e dalla gestione di pluriclassi. Con le Multi-Age Class si cerca di promuovere un percorso educativo adatto al singolo studente, la pluriclasse consente di lavorare ad un'unica materia analizzandola sotto i diversi aspetti che caratterizzano le diverse età degli alunni, questo permette agli alunni più grandi di consolidare determinate conoscenze e agli alunni più piccoli di velocizzare l'apprendimento attraverso il metodo dell'emulazione. Un'altra metodologia possibile è l'insegnamento in parallelo, svolgendo una lezione

specifica per gli alunni più piccoli mentre gli alunni più grandi possono svolgere un'altra attività in modo autonomo. Queste attività didattiche rientrano sotto la denominazione di Cross-Age Tutoring in cui le lezioni coinvolgono diverse fasce di età facendole interagire tra loro: la stessa materia viene trattata con diversi gradi di approfondimento a seconda delle diverse fasce di età degli alunni.

Le aule assumono la forma della didattica, uno spazio dove avviene l'apprendimento, non devono essere un ostacolo ma bensì uno strumento che consideri i bisogni formativi dell'alunno. È necessario creare le condizioni non per omogenizzare la proposta didattica ma per l'equità nelle opportunità formative, l'alunno infatti è protagonista attivo dell'apprendimento e va considerato come una persona univoca. La didattica dev'essere diversificata per dare pari opportunità considerando i diversi bisogni educativi.

La scuola è rimasta immutata dalla riforma Gentile del 1923 e non risponde più alle attuali esigenze educative dal momento che l'apprendimento non è più un'attività individuale. Fino ad oggi non c'è stata nessuna innovazione didattica che abbia necessitato di un nuovo spazio di apprendimento. La visione della scuola nella tradizione italiana si basa su tre principi fondamentali: la lezione frontale; lo studio manualistico; e l'interrogazione, questo modello si rispecchiava anche nella struttura familiare degli anni '70. In questi anni stiamo vivendo una rivoluzione della trasmissione culturale che comporta nuovi metodi di insegnamento, l'ambiente d'insegnamento dev'essere ri-progettato in funzione della didattica poiché è fondamentale cambiare i metodi e non i soli strumenti. Dalla fine degli anni '90 del secolo scorso la scuola ha iniziato un percorso caratterizzato dalla digitalizzazione, dalla necessità di aprirsi verso il mondo esterno, con la legge 107 della Buona Scuola del 2015 questa ottiene una nuova centralità, vengono inserite nuove proposte per l'organizzazione scolastica e la didattica.

L'emergenza sanitaria del Covid19 ha provocato un forte impulso nell'innovazione del metodo didattico, a febbraio 2020 meno della metà delle scuole del Veneto avevano dei supporti per la didattica a distanza, la pandemia ha reso possibile l'incremento nell'utilizzo di nuove tecnologie che hanno scardinato il tradizionale metodo d'insegnamento. Oggi gli ambienti di apprendimento sono stati messi fortemente in discussione alla luce di queste nuove necessità, è necessaria una rivoluzione didattica che condiziona inevitabilmente anche gli ambienti di apprendimento.

La distribuzione interna dell'aula e le possibili disposizioni di arredi non rappresentano da soli un cambiamento significativo per una trasformazione architettonica dell'aula. L'architettura di qualità ha sicuramente un'efficacia e una sua funzione riguardo lo sviluppo cognitivo del bambino, fondamentale in questo contesto una sinergia tra architettura e pedagogia. Lo spazio deve essere in

grado di accogliere l'intenzionalità didattica per questo dev'essere pensato attraverso una collaborazione tra architetti, responsabili scolastici e pubblica amministrazione. Le dinamiche di insegnamento stanno cambiando radicalmente, l'innovazione strumentale è efficace solo se congiunta ad un'innovazione metodologica che preveda un cambiamento radicale a lungo termine. Questa transizione verso una nuova metodologia didattica riguarda tanto gli alunni quanto gli insegnanti, questi ultimi hanno una forma mentis più consolidata e per questo meno predisposta al cambiamento che riguarda anche vincoli di tipo normativo legati alla responsabilità degli insegnanti che si trovano a rapportarsi con spazi completamente diversi. La scuola diventa un organismo scolastico, ogni cambiamento di un fattore del sistema si ripercuote a cascata su tutti gli altri elementi quindi sul rapporto tra interno ed esterno, pedagogia e classe, ogni modifica sul metodo d'insegnamento si riflette inevitabilmente anche sull'architettura. L'edificio, inteso anche come organizzazione del suo spazio interno, può diventare strumento di formazione per il bambino quando è progettato bene da un punto di vista di efficienza energetica, di uso dei materiali e di scelta delle finiture. L'edificio stesso assume un ruolo pedagogico istruttivo quando viene progettato e costruito in maniera efficace e nel rispetto di quelle tematiche fondamentali per la didattica: riduzione dei consumi; utilizzo di energie rinnovabili, ridotto impatto ambientale; e assenza di spreco. Un esempio di edifici educatori sono le ECO School dove l'educazione civica, ambientale e sociale sono tematiche fondamentali e simbolo di questi edifici che diventano parte integrante della formazione del bambino. I materiali riciclati utilizzati per arredare gli ambienti interni creano degli spazi che diventano un caso pratico di apprendimento, in queste circostanze è possibile ripensare l'attività didattica riprogettando l'edificio (Tosi, 2019).

Resta pertanto fondamentale considerare architettura e pedagogia strettamente connesse nella prospettiva di un rinnovamento efficace dell'attività didattica nel suo complesso. La pedagogia interviene nel valutare quali siano le reali necessità degli studenti mentre l'architettura concorre nel creare spazi idonei, flessibili e in relazione con la città, proiettando l'aula oltre l'edificio e considerando quest'ultimo come un unico organismo di apprendimento.

### *Linee Guida*

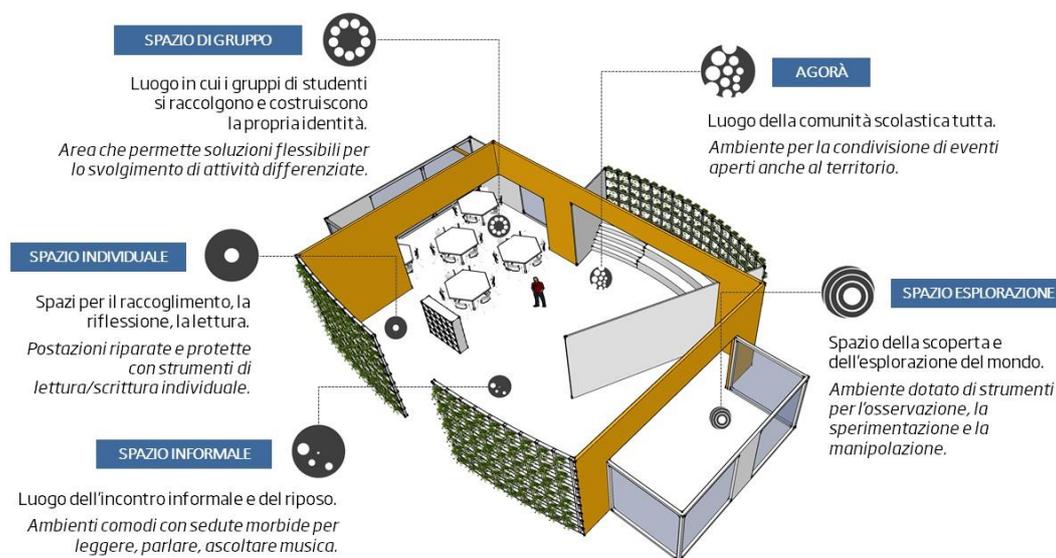
Spesso le difficoltà di realizzare una scuola di "qualità" stanno anche nel dover rispettare i vincoli imposti dalla normativa nazionale e dalle linee guida per la costruzione di nuovi edifici scolastici. Le linee guida del 1975 sono molto innovative per l'epoca, la scuola viene rinnovata in termini di tempo pieno e inclusione della disabilità. Già si parlava di organismo scolastico e di flessibilità, da un'idea

di edificio come insieme di parti autonome si passa a un'idea di edificio come organismo, caratterizzato da una flessibilità di impianto e una continuità tra gli ambienti e gli spazi esterni. L'edificio viene concepito come un organismo architettonico omogeneo e non come una semplice addizione di elementi spaziali, viene considerato il continuo aggiornarsi e modificarsi del metodo didattico da cui ne deriva l'esigenza di flessibilità degli spazi. La normativa però risultata molto rigida e ha spesso condizionato le soluzioni progettuali; infatti, il concetto di flessibilità che è imprescindibile per le nuove costruzioni, trova grandi criticità nell'applicazione sul costruito.

Nelle linee guida Alto Atesine del 2009 viene inserito il profilo pedagogico all'interno della normativa. Questa normativa ammette un'organizzazione spaziale della scuola con un carattere innovativo, differente dal tradizionale schema aule-corridoi. La progettazione architettonica prende in considerazione l'attività svolta all'interno delle aule e come la scuola stessa viene vissuta. Si parla di costruzione di un progetto pedagogico che implica una riflessione sugli elementi fondamentali della didattica scolastica oltre che sui principi pedagogici.

Nel 2013 con le norme tecniche-quadro, vengono introdotte le nuove linee guida per l'edilizia scolastica nelle quali l'intento è quello di andare oltre la centralità dell'aula. Prima di queste norme tutti gli spazi connettivi della scuola erano considerati come luoghi strumentali o accessori che non rientravano nell'attività didattica quotidiana, ogni spazio era pensato per un'unica attività e restava inutilizzato per tutto il resto del tempo.

Negli ultimi anni stanno sorgendo nuovi spazi educativi, nella fiera Didacta Italia del 2019 viene presentata una tipologia di allestimento per la scuola del nuovo millennio, è la proposta del modello INDIRE degli 1 + 4 spazi educativi. "1" è lo spazio collettivo di apprendimento polifunzionale, l'evoluzione dell'aula tradizionale che dialoga con la scuola e si apre al mondo. Un ambiente flessibile in continuità con gli altri spazi della scuola. "4" sono gli spazi della scuola complementari e non più subordinati agli ambienti della didattica quotidiana, questi sono: l'Agorà, luogo della comunità scolastica; lo spazio informale, luogo dell'incontro informale e del riposo; l'area individuale, spazio per il raccoglimento, la riflessione, la lettura; l'area per l'esplorazione, spazio della scoperta e dell'esplorazione del mondo.



*Figura 23 - Allestimento della scuola del futuro a Didacta 2019*

La progettazione dei nuovi ambienti di apprendimento è fortemente condizionata dalla pedagogia in cui lo spazio deve essere pensato come linguaggio, come luogo e come ambiente. La pedagogia è la disciplina umanistica che studia l'educazione e la formazione dell'essere umano lungo il suo intero ciclo di vita ed ha un ruolo fondamentale nell'architettura scolastica. L'ambiente di apprendimento nel suo passaggio da spazio a luogo deve considerare la parte che avranno i partecipanti di quel luogo. L'ambiente è il complesso sistema degli elementi che costituiscono la realtà nella quale si verifica un certo evento, per questo è dinamico. In un contesto formativo formale l'ambiente deve essere appositamente progettato e costruito: la progettazione non deve riguardare solo lo spazio fisico ma deve considerare anche l'utilizzo di quello spazio, si devono ricercare contesti nei quali gli studenti possono lavorare insieme.

Solo nelle linee guida del 2013 vengono considerati gli spazi che supportino l'apprendimento informale dove gli studenti possono interagire tra loro e trovare accesso a risorse non correlate con le materie scolastiche. L'aspetto più innovativo è che gli studenti devono godere di un adeguato comfort fisico. Viene introdotto il concetto di spazio informale dove è possibile condividere le proprie esperienze ed abbattere il rapporto alunno/professore; infatti, la relazione educativa impatta sui risultati di apprendimento.

La pandemia Covid19 ha necessariamente cambiato la metodologia didattica, ha portato la necessità di riadattare gli ambienti di apprendimento mescolando l'ambiente scolastico con quello familiare. Viene introdotto il concetto di Didattica a Distanza (DAD) e la casa diventa lo spazio di

apprendimento. La scuola ha fallito nel considerare l'alunno come un elemento statico e la didattica frontale come unico metodo di insegnamento possibile; bisogna cambiare il modello educativo a partire dai bisogni degli studenti. La didattica frontale, che nasce da una necessità di alfabetizzazione di massa, non va abolita ma inserita in un contesto multidisciplinare. Il cambiamento della metodologia didattica comporta un dialogo ed una collaborazione tra le istituzioni scolastiche e le amministrazioni locali, che dovranno confrontarsi al fine di trovare un linguaggio comune. L'edificio non deve condizionare in modo univoco le scelte didattiche, lo spazio flessibile garantisce la possibilità di usufruire di spazi differenti e quindi di molteplici metodi didattici.

La scuola intesa come edificio scolastico è divisa tra spazi di passaggio quali corridoi e scale e spazi di contenimento come le aule. La scuola intesa come metodo didattico è caratterizzata dalla didattica frontale che vede l'insegnante come unica fonte di insegnamento. Bisogna superare queste concezioni, esiste una connessione tra spazio e pedagogia. Lo spazio può essere caratterizzato da soluzioni flessibili che permettono lo svolgimento di attività differenti, questo può significare anche avere uno spazio fisso suddiviso in diverse aree funzionali. Lo spazio classe può essere permeabile verso altri ambienti ed avere diversi punti di accesso anche con ambienti condivisi. In questo modo è possibile mescolare la fase di insegnamento e quella di apprendimento, organizzando la lezione con attività differenti. I Cluster, ad esempio, sono combinazioni di aule con associati altri spazi funzionali e unità socio-spaziali indipendenti. Grandi spazi aperti o parzialmente aperti organizzati anche con arredi flessibili al fine di creare spazi polifunzionali. Ogni disciplina è differente e necessita pertanto di uno specifico ambiente di apprendimento che permetta di osservare, esplorare e sperimentare. L'intero edificio scolastico diventa luogo di apprendimento quindi la lezione non è più limitata all'interno delle aule.

L'apprendimento è inteso come trasmissione di conoscenze, suddiviso tra spiegazione in aula e studio individuale a casa, viene poi valutato attraverso l'interrogazione. Bisogna spostare il focus dalle conoscenze dell'insegnante alle competenze acquisite. Il gruppo classe diventa un microsistema che non è più fisso ma variabile, non si stanza in un unico ambiente e può ricostruire ogni singolo spazio.

Dagli anni '90 in poi è iniziata la rivoluzione tecnologica che ha scardinato anche il modello organizzativo delle aule. Questa innovazione prevede l'uso di nuovi metodi di insegnamento, nuovi strumenti e nuovi contenuti che possano favorire il potenziale creativo dello studente (Borri, *The Classroom has Broken: Changing School Architecture in Europe and Across the World*, 2018).

Il modello educativo deve cambiare partendo da una differente concezione di apprendimento e

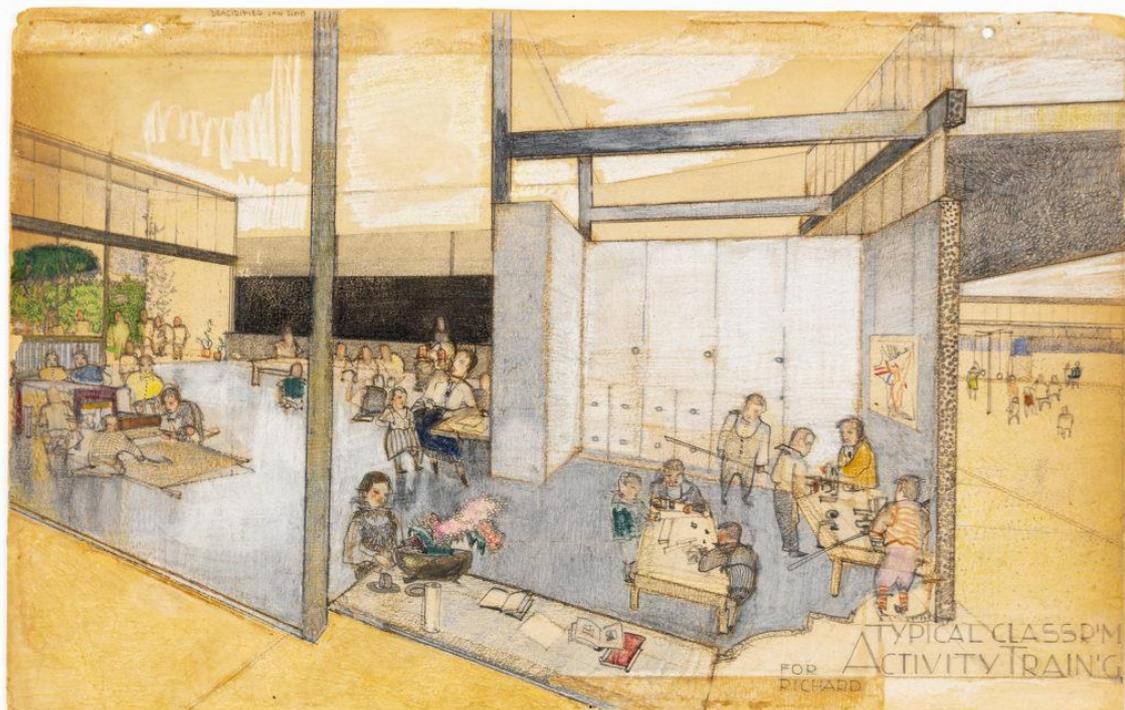
mitigando le rigide divisioni spaziali e temporali. Bisogna superare il concetto di apprendimento settoriale di una specifica materia ad una specifica ora in una specifica aula. L'ambiente scolastico deve diventare un unico modello di insegnamento nel suo complesso. La pedagogia dimostra che la formazione e l'educazione dei ragazzi è costante e avviene soprattutto fuori dall'aula. Per questo è importante creare un'ambiente flessibile che permetta diverse tipologie di apprendimento, che consenta il dialogo ed il confronto. Questo aspetto fondamentale viene in buona parte demandato all'architettura che concorre creando spazi idonei, salubri e confortevoli. L'edificio progettato con una configurazione flessibile, con materiali sostenibili e che utilizza fonti rinnovabili diventa esso stesso un modello di insegnamento.

### *Architetture scolastiche*

L'identità di una comunità, di un luogo, si esprime spesso grazie alla scuola. L'articolarsi di questa identità crea un quadro variegato di quella che si potrebbe definire un'identità nazionale, debitrice di una normativa specifica e di una cultura pedagogica e architettonica di cui la critica ha delineato i caratteri. Alcune architetture scolastiche hanno assunto un ruolo iconico grazie al messaggio culturale che l'architetto propone e all'idea pedagogica espressa dall'architettura stessa.

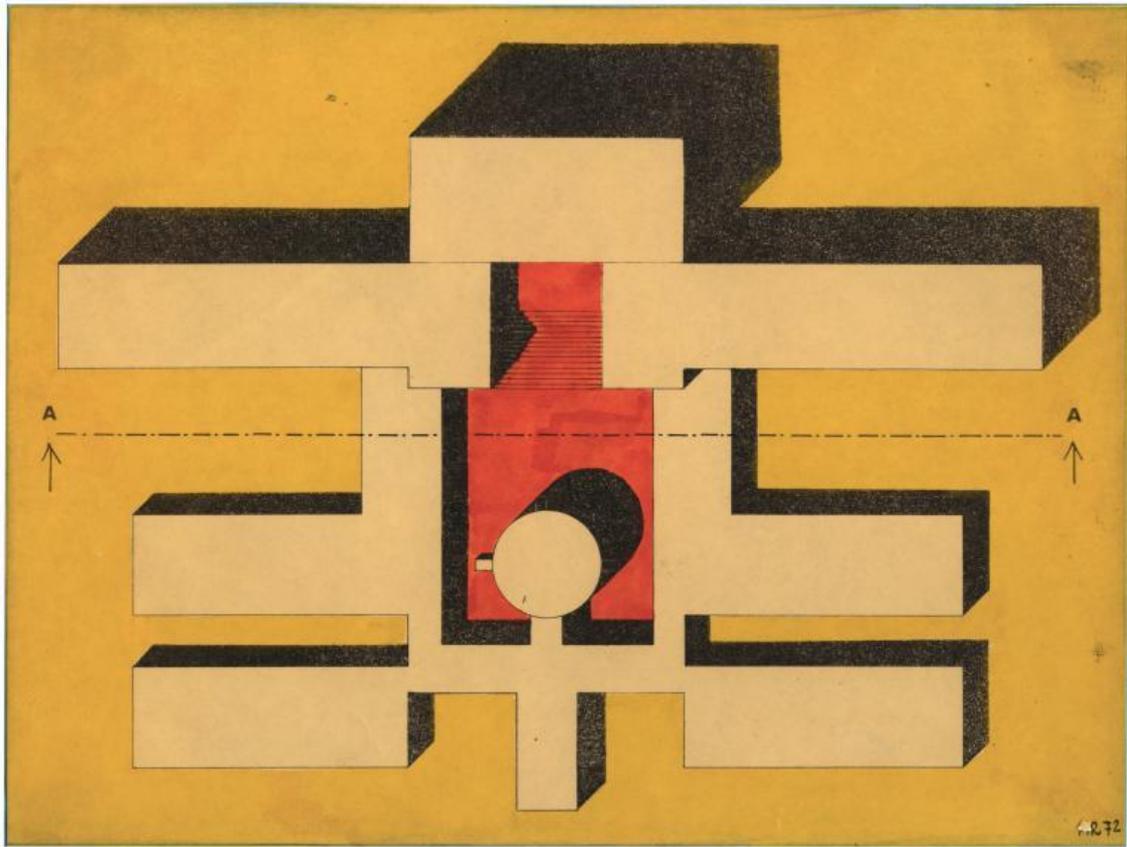
Queste scuole sono state progettate da architetti con volontà pedagogiche, dove vengono interpretate le norme sull'edilizia scolastica ma non hanno un modello tipologico definito.

Nel '900 il bambino acquisisce una centralità sociale che prima non aveva soprattutto per i progettisti. Un esempio di scuola esemplare è la Corona Avenue School progettata da Richard Neutra e realizzata in California nel 1935. Questo plesso scolastico è caratterizzato da spazialità estremamente flessibili, con ambienti interni ed esterni che si mescolano diventando un tutt'uno.



*Figura 24 - Richard Neutra. Corona Avenue School*

Avanguardia dell'architettura italiana è la scuola elementare di Fagnano Olona progettata da Aldo Rossi e realizzata tra il 1972 e il 1976. Questa scuola è concepita come una piccola città che si svolge attorno a una piazza centrale su due piani. La piazza è realizzata come un teatro a gradoni dove si svolgono le lezioni, manifestazioni politiche e riunioni. Il cilindro è la biblioteca della scuola e del quartiere. Nel primo corpo si trovano i locali della direzione e la mensa. Le ventidue aule si sviluppano con orientamento ad est per garantire l'ottimale illuminazione degli spazi didattici.



*Figura 25 - Progetto per la scuola di Fagnano Olona, 1972.*

Il camino posto in testa alla scuola ha un valore simbolico; è realizzato in mattoni come le vecchie fabbriche e riporta la scuola al significato del paesaggio industriale che la circonda.

## Programmi di intervento

### *Progetto FUTURA*

La nuova scuola deve essere intesa come un punto di riferimento per la comunità, non essere considerata una struttura in decadenza e solo un luogo dove si apprende. Come prima cosa è importante conoscere il contesto con cui essa dovrà interagire, risulta infatti, fondamentale trovare un equilibrio fra le richieste funzionali e come l'edificio si inserisce nel contesto territoriale e sociale. È necessario progettare in sinergia: da un lato dare alla scuola un ruolo importante nel territorio, dall'altro progettare gli spazi riflettendo sul contenuto pedagogico, rendendolo un luogo sicuro in cui si svilupperanno scambi interpersonali, diventando un volano di rigenerazione urbana. L'edificio deve essere riconoscibile, con accessi che favoriscano una mobilità lenta, in sicurezza, per offrire agli studenti un maggior grado di autonomia per raggiungerla. Un distributivo ben calibrato con ambienti dalle dimensioni adeguate, una buona illuminazione naturale e un rapporto visivo con l'esterno sono alcuni degli elementi che caratterizzano un edificio di qualità per permettergli di evolversi nel tempo. L'edificio deve essere concepito a basso impatto ambientale e per questo si dovranno privilegiare soluzioni "green", prestando particolarmente attenzione a questi aspetti:

- luce naturale, diretta e diffusa;
- connessione visiva e fisica con elementi di vegetazione;
- adeguato livello acustico;
- utilizzo di strategie passive per ridurre al minimo i consumi, per la ventilazione naturale, la regolazione della temperatura, il comfort ambientale;
- utilizzo di fonti energetiche rinnovabili.

Va ripresa, in chiave moderna, l'idea antica che la scuola sia centro civico, per ospitare attività culturali e comunitarie. Di importanza cruciale è l'apertura della scuola non solo ai ragazzi ma a tutta la comunità; quindi, il progetto educativo e architettonico deve favorire l'integrazione di età, competenze e momenti di fruizione differenti. Il piano terra, ad esempio, può essere utilizzato non solo come un luogo di apprendimento ma anche per svolgere attività comunitarie.

Bisogna progettare con attenzione gli spazi dedicati alla ristorazione e alle biblioteche:

- le mense spesso sono luoghi molto rumorosi, poco accoglienti, utilizzati per poche ore al giorno, caratterizzati da scarsa qualità architettonica e inadeguato benessere degli utenti. Nella nuova scuola, questi luoghi potrebbero favorire la convivialità e l'educazione

alimentare;

- la biblioteca, spazio dall'alto valore simbolico, deve avere un'ampia disponibilità di libri cartacei, di supporti multimediali, di arredi comodi, in modo da poter essere usufruita da diversi utenti.

L'ambiente esterno non è più solo un luogo legato al contesto naturale, ma vissuto come prolungamento degli ambienti interni. Gli spazi all'aperto dovrebbero essere facilmente accessibili dagli spazi interni in una sorta di continuità d'uso, ad esempio le classi interne dovrebbero avere un'apertura verso l'esterno, così da avere fuori una sorta di aula "simmetrica verde". Questi spazi diventano degli ambienti di apprendimento, con arredi, pavimentazioni diversificate, zone ombreggiate e semichiose. Solo in questo modo si offrono spazi diversificati che invitano a usi plurali. Una didattica più attiva e articolata richiede strategie scolastiche declinate in ambienti diversificati e riconfigurabili grazie all'arredo. Gli spazi distributivi, come i corridoi, non verranno più utilizzati solo nei momenti di pausa, ma assumono un ruolo centrale per l'apprendimento, per accogliere attività di gruppo o in autonomia, per incontrarsi o semplicemente per trovarsi con sé stessi. Più aule possono essere combinate tra loro e messe in comunicazione con uno spazio centrale che diventa un'estensione della stessa aula utilizzato per attività comuni.

L'estensione temporale della scuola nel pomeriggio prevede ambienti confortevoli dove gli insegnanti possano lavorare in tranquillità, preparare le lezioni e dedicare del tempo alla convivialità con i colleghi. La condivisione di uno spazio di lavoro è condizione necessaria per la creazione di una comunità di insegnanti e la loro piena cooperazione. Lo spazio per gli insegnanti va collocato in un luogo "centrale", in modo che si instauri un chiaro collegamento con il resto della scuola e che il lavoro dei docenti sia visibile e di conseguenza accessibile a tutta la comunità (scolastica ed extra-scolastica).

La didattica, per essere efficace e inclusiva, deve integrare diversi stili cognitivi, visivo, verbale e uditivo. Il corpo diventa l'elemento centrale inteso come chiave di apprendimento valorizzato dalla progettualità architettonica. I temi dell'illuminazione naturale, della qualità dell'aria e dell'acustica vanno anche riconsiderati in questa prospettiva. Specifica rilevanza va data alla dimensione tattile, da considerare anche nella scelta dei materiali per realizzare superfici diversificate e il più possibili "naturali", contrapposte alla immagine standardizzata e artificiale propria di molte scuole.

Fattore importante, per agevolare le modalità di interazione, è l'equilibrio tra spazi flessibili ad usi diversificati e spazi attrezzati per specifiche attività. Sono fondamentali gli arredi per identificare gli spazi nei loro diversi utilizzi. È importante diversificare le attrezzature nei diversi ambienti di apprendimento in relazione sia alle aule sia agli spazi laboratoriali. Ambienti di apprendimento realmente funzionali ad attività didattiche che cambiano e richiedono configurazioni diverse a loro volta presuppongono ambienti per lo stoccaggio da pensare in collegamento diretto con le attività (Ministero dell'istruzione, 2022).

### *La scuola del futuro*

Legambiente è un'associazione ambientalista italiana che cura numerose indagini sulla qualità dell'edilizia scolastica e dei servizi ad essa collegati, un aspetto infrastrutturale del paese che la pandemia ha rivelato essere strategico.

Nell'anno 2020, a causa della pandemia, Legambiente ha proposto un questionario: La scuola del futuro<sup>15</sup> che ha coinvolto 2.102 studenti fra gli 11 e i 19 anni.

Da questo sondaggio, è emersa la richiesta di una scuola ecologica, attenta alla sostenibilità e all'ambiente, con raccoglitori per la raccolta differenziata, che utilizzi le fonti rinnovabili; ma anche con spazi aperti e più attività dedicate alla cultura, alla socialità e allo sport. Senza dimenticare un'attenzione per la mobilità autonoma e sostenibile e per quella casa-scuola a partire da un miglioramento del trasporto pubblico, dalla sicurezza nell'accesso agli istituti e da un maggior numero di piste ciclabili.

Obiettivo dell'indagine è stato quello di capire il punto di vista dei ragazzi rispetto a una trasformazione sostenibile della scuola e della comunità scolastica: il quadro complessivo che emerge dimostra come questa generazione sia ormai sempre più a favore dell'ambiente, consapevole anche dell'importanza che gli spazi scolastici rivestono in termini di relazioni e socializzazioni anche alla luce dei lockdown e dei lunghi periodi di DAD dovuti alla crisi pandemica. È evidente come la scuola necessiti di una transizione ecologica, per questo occorrono in primis un maggior efficientamento energetico degli edifici e uno sviluppo delle comunità energetiche, l'istituzione di strade scolastiche, piste ciclabili, piedibus per una mobilità autonoma e in sicurezza, l'apertura delle scuole nel pomeriggio, soprattutto nelle periferie sociali, per lo svolgimento di

---

<sup>15</sup> Questionario online, curato da Legambiente, per comprendere come gli studenti desiderano cambiare e migliorare la propria scuola.

attività sportive, culturali e ricreative. Occorre rimuovere la plastica, avviare dei processi di rigenerazione che consentano di introdurre spazi verdi attrezzati per la didattica, la cultura e lo sport. I ragazzi vorrebbero una scuola promotrice di una cultura della sostenibilità; i risultati raccolti evidenziano la necessità di una transizione ecologica, con un potenziamento della scuola come primo luogo di inclusione sociale.

Il punto di partenza è l'efficientamento degli istituti scolastici, utilizzando gli ingenti investimenti europei dei prossimi anni; l'edilizia scolastica e i servizi che orbitano attorno all'ecosistema scuola devono essere ripensati in una dimensione di sostenibilità ambientale e sociale.

Ancora il 72,2% degli edifici scolastici è nelle ultime tre classi energetiche (E, F, G) e solo il 7,5% si trova nelle prime due classi energetiche<sup>16</sup>.

Sempre riguardo la vivibilità delle aule, circa il 20% chiede classi più colorate, spaziose, arieggiate e luminose, mentre più del 10% di studenti chiede classi meno rumorose: un parametro quello dell'inquinamento acustico spesso del tutto sottovalutato.

I ragazzi necessitano di altri spazi per socializzare, usufruire della cultura e stare all'aria aperta. Spazi che nei mesi di pandemia sono stati al centro della riorganizzazione scolastica, ma che non sono analogamente presenti nelle scuole delle diverse aree del nostro Paese: al nord e al centro le scuole con giardini o aree verdi fruibili sono oltre l'80%, al sud sono il 36,2% e nelle isole solo il 17,7%.

Un bisogno di cultura e creatività che gli studenti reclamano anche negli spazi della didattica e in aule-laboratorio preposte ad alcune discipline, da vivere attraverso una didattica più attiva e sperimentale: il 46,5% degli studenti chiede laboratori artistici, il 40,3% laboratori tecnici, il 37,5% laboratori scientifici, il 35,7% linguistici e il 34,9% informatici. Gli spazi esterni rappresentano l'area cuscinetto fra la scuola e il quartiere/città per questo risulta necessaria una mobilità autonoma a partire dall'infrastrutturazione di spazi esterni con rastrelliere per le biciclette, chieste da quasi il 50%, e parcheggi per motorini (44,8%).

La sostenibilità della mobilità casa-scuola può essere riassunta attraverso una graduatoria delle priorità: miglioramento del trasporto pubblico per il 53,8%, sicurezza nell'accesso a scuola per il 45,7%, più piste ciclabili per il 21,8%.

Più del 45% chiede l'erogatore di acqua per abbattere l'uso della plastica e più del 29% i raccoglitori per la differenziata. Sono richiesti anche maggiori servizi collettivi come distributore di cibi e bevande (44,2%), bar interno (41,7%), mensa (23,4%). Sempre di più la scuola sembra assumere per

---

<sup>16</sup> XX Rapporto Ecosistema Scuola di Legambiente marzo 2021

i ragazzi un valore di luogo aperto anche in orario extrascolastico, dove vivere l'apprendimento anche in maniera non formale e una socializzazione aperta anche ai territori. Metà degli studenti che hanno risposto al questionario chiedono che la scuola sia aperta di pomeriggio per attività sportive e autogestione degli spazi per attività di studio, circa il 36% chiede attività di recupero degli apprendimenti con il supporto dei docenti, ma anche iniziative di volontariato (34,9%) e attività musicali (23,9%).

## Programmi di investimento

La scuola necessita di essere posizionata al centro delle comunità e dei territori come leva di emancipazione sociale e crescita collettiva. L'attuale patrimonio edilizio è vetusto e poco curato, questo è quanto risulta da un'indagine fatta da Legambiente su un campione di 6.156 edifici scolastici frequentati da quasi 1,2 milioni di studenti<sup>17</sup>.

Il Ministro Bianchi<sup>18</sup> ha annunciato, in una lettera alle scuole di luglio 2022<sup>19</sup>, che alla ristrutturazione degli edifici scolastici sono destinati 500 milioni di euro. Si consideri che le amministrazioni beneficiarie di fondi nazionali per l'edilizia scolastica nel 2020 vedono una media di investimento di 215.551 euro a edificio e di ben 378.177 euro quelle che hanno usufruito di fondi regionali.

Secondo il XXI rapporto di Legambiente, il 41% degli edifici scolastici necessitano di manutenzione urgente; se questa percentuale venisse applicata al numero complessivo di edifici scolastici italiani, circa 40mila, le risorse destinate a ogni singolo edificio supererebbero di poco i 30mila euro.

La cifra prevista nel PNRR per la ristrutturazione degli edifici rischia quindi di incidere molto poco sul numero complessivo delle scuole italiane, se non vengono compiute scelte prioritarie che vanno a beneficio delle situazioni strutturali più precarie nelle aree più fragili con due priorità della qualità strutturale: la messa in sicurezza delle scuole in area sismica 1 e 2 e l'efficientamento energetico.

Ad oggi, il 60% delle scuole in area sismica 1 non sono state progettate o adeguate secondo normativa, nella zona sismica 2 questa percentuale supera il 90%. Così come non è più prorogabile la scadenza della verifica di vulnerabilità sismica di tutte le scuole, oggi effettuata dalle amministrazioni solo sul 15,5% degli edifici. Invece, a proposito di transizione ecologica e di abbattimento delle emissioni di CO<sub>2</sub>, serve intervenire con maggiore forza e lungimiranza sul vetusto patrimonio edilizio scolastico italiano che vede ancora più del 73% degli edifici nelle ultime tre classi energetiche e solo il 5,5% in classe A.

Ad oggi esistono misure eccezionali a disposizione dei Comuni per poter affrontare questa partita dell'efficientamento energetico degli edifici scolastici, così come la messa in sicurezza, ma bisogna affrontare alcuni nodi di efficienza ed efficacia amministrativa e progettuale: ridurre la forbice fra fondi stanziati e fondi spesi (su circa 47mila euro a edificio stanziati per la manutenzione

---

<sup>17</sup> Legambiente - XX Rapporto sulla qualità dell'edilizia scolastica e dei servizi.

<sup>18</sup> Ministro dell'Istruzione Patrizio Bianchi.

<sup>19</sup> lettera del Ministro Bianchi alle scuole beneficiarie della prima tranche di risorse del Piano contro la dispersione.

straordinaria nel 2020, meno della metà poi sono stati realmente spesi), ridurre i tempi di durata dei cantieri (300 giorni) e supportare le amministrazioni che faticano a produrre progettualità e a reperire fondi rispetto soprattutto ad un fabbisogno importante di messa in sicurezza delle scuole. Positivo in tal senso e probabilmente da incrementare, l'investimento annunciato dal Governo di 200 tecnici a disposizione di Comuni e scuole per consulenza e supporto nella partecipazione ai bandi.

La scuola, quale educatrice delle nuove generazioni e principale leva culturale, è al centro della transizione ecologica del Paese che deve affrontare le nuove sfide di cambiamento.

Investire fortemente nella sostenibilità ambientale favorisce la transizione ecologica: una scuola che pratica modelli organizzativi sostenibili e inclusivi e dà dignità e vivibilità nell'abitare edifici scolastici sicuri e a basso impatto è una scuola che sa guardare ed educare al futuro.

I Comuni capoluogo di provincia che hanno partecipato all'indagine XXI sono 98 su 111. I dati restituiscono una fotografia circa lo stato di salute di 7.037 edifici scolastici, frequentati da oltre 1,4 milioni di studenti, che cerca di mettere in luce l'impegno delle amministrazioni, per renderli più sicuri e sostenibili e per garantire servizi a sostegno delle famiglie.

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 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 tre è in regola con la certificazione di prevenzione incendi.

Da evidenziare come, per effetto del decreto Milleproroghe<sup>20</sup>, slitta dal 31 dicembre 2021 al 31 dicembre 2022 il termine per completare l'adeguamento alla normativa antincendio negli edifici scolastici e nei locali adibiti a scuola.

Gli edifici dotati di accorgimenti per il superamento delle 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

---

<sup>20</sup> decreto legge del Consiglio dei ministri volto a risolvere disposizioni urgenti entro la fine dell'anno in corso.

rendere le scuole accessibili a tutti.

	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%

*Figura 26 - Ecosistema scuola, certificazioni e accessibilità*

In crescita gli edifici in cui sono state effettuate le indagini diagnostiche dei solai anche se insufficienti (30,4%), un intervento di fondamentale importanza per prevenire fenomeni di crollo, il principale motivo di incidente e di pericolo per la vita di studenti, docenti e personale scolastico. Alle indagini hanno fatto seguito interventi di messa in sicurezza dei solai sull'11,4% delle scuole.

Sul fronte della manutenzione straordinaria gli edifici in cui si è intervenuti negli ultimi cinque anni sono il 57,7%, tuttavia non si è riusciti a soddisfare tutte le necessità visto che il 41% richiede interventi urgenti. Urgenza che nel caso delle scuole del Sud e delle Isole sale al 55% e al 56,7%, scendendo al 31,2% nel caso di edifici del Nord.

Manutenzione	Nazionale	Nord	Centro	Sud	Isole
<b>Edifici in cui sono state effettuate indagini diagnostiche dei solai - ultimi 5 anni</b>	30,4%	33,6%	33,1%	20,2%	24,1%
<b>Edifici in cui sono stati effettuati interventi di messa in sicurezza dei solai - ultimi 5 anni</b>	11,4%	14,0%	8,4%	7,6%	7,4%
<b>Edifici che hanno goduto di manutenzione straordinaria negli ultimi 5 anni</b>	57,7%	64,8%	48,4%	52,3%	54,4%
<b>Edifici che necessitano di interventi di manutenzione urgenti</b>	41,0%	31,2%	42,2%	55,0%	56,7%

*Figura 27 - Ecosistema scuola, manutenzione*

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 troppi pochi e insufficienti per poter parlare di vere e proprie scuole sostenibili.

Gli interventi di efficientamento energetico, realizzati negli ultimi cinque anni, hanno riguardato solo il 15% degli edifici scolastici, con una media del 20% al Nord e del 5,6% nelle Isole. Gli interventi 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 (Legambiente, 2021).

Riguardo i finanziamenti, una prima inefficienza da affrontare riguarda la loro pluralità.

Ad oggi i finanziamenti risultano frazionati in diverse linee che, pur confluendo in un unico fondo per l'edilizia scolastica, non consentono agli Enti Locali proprietari degli edifici, Province, Aree Metropolitane e Comuni una linearità di accesso alle risorse. Coesistono ancora diverse fonti di finanziamento: fondo comma 140, scuole antisismiche, decreto del fare, scuole sicure e mutui BEI I e II annualità. Queste sei linee, quasi 3,4 miliardi, hanno permesso 6.457 progetti su circa 40.000 edifici scolastici italiani che necessitano di interventi straordinari e di permanente manutenzione ordinaria.

#### RIPARTIZIONE FINANZIAMENTI (GRAFICO 1)

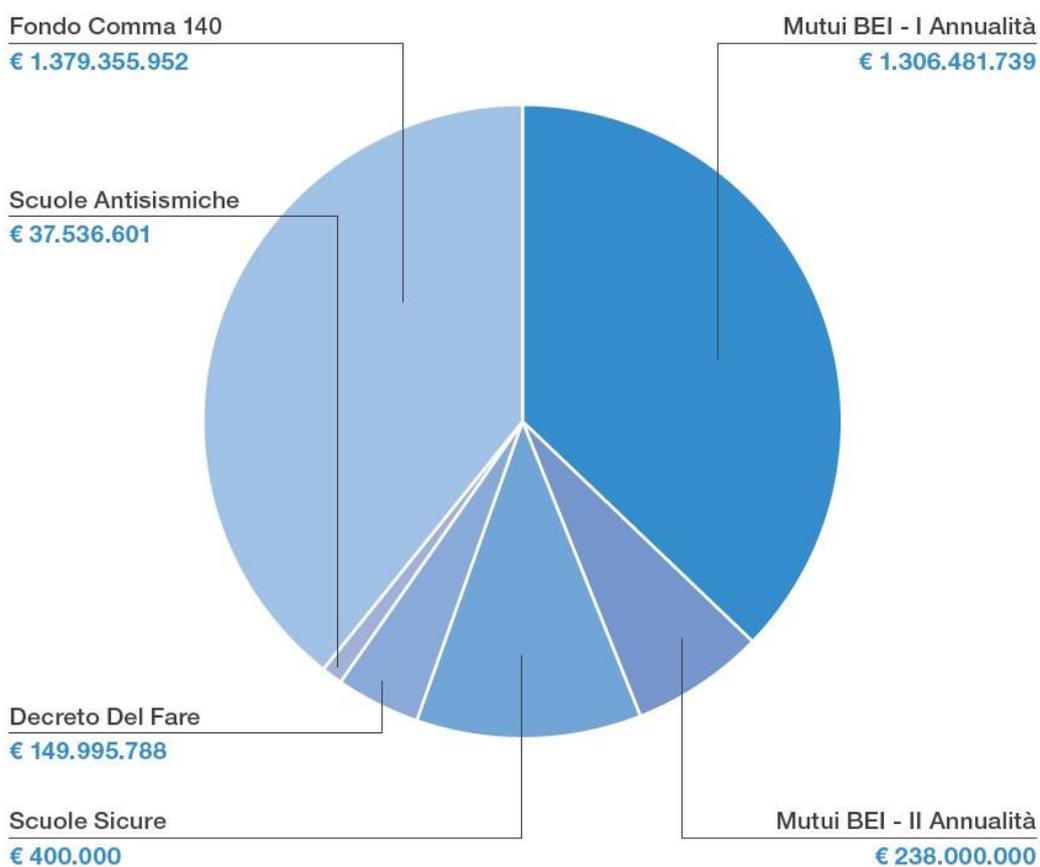


Figura 28 - Elaborazione Legambiente su dati GIES - ripartizione finanziamenti

Un'ulteriore necessità è quella di semplificare e velocizzare le procedure per ridurre il divario esistente tra i progetti finanziati e quelli conclusi. Dal 2014 al 2020 dei 6.547 progetti previsti, soltanto un terzo risulta concluso a dimostrazione delle enormi difficoltà nell'intero percorso di sviluppo ed esecuzione nel progetto. Ad oggi i tempi che intercorrono fra la fase di avvio e la conclusione dei lavori sono mediamente di 300 giorni.

STATUS PROGETTI FINANZIATI (GRAFICO 3)

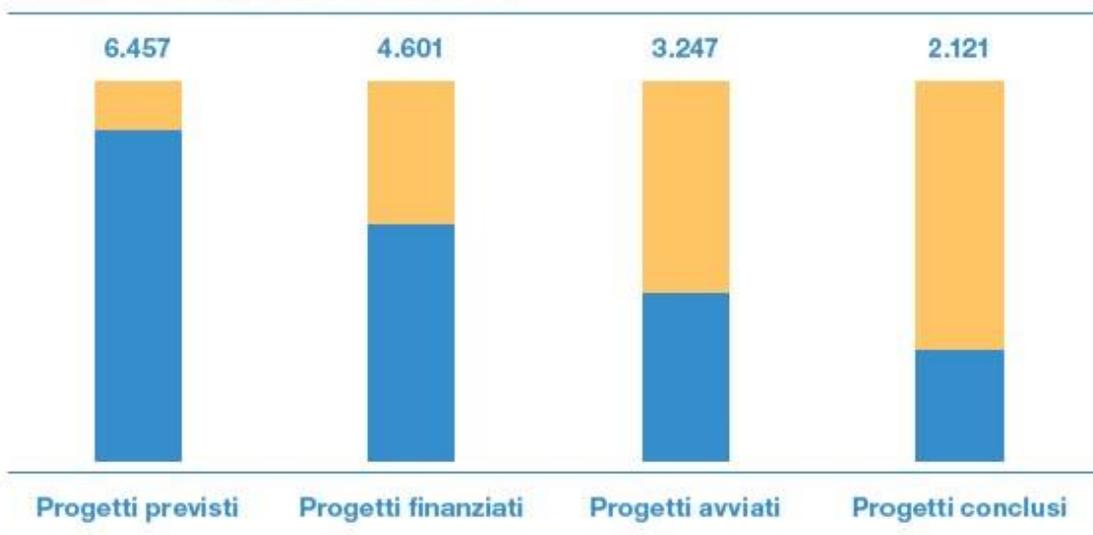


Figura 29 - Elaborazione Legambiente su dati GIES - status progetti finanziati

Per garantire una gestione virtuosa dei fondi e una capacità di interventi significativi e diffusi per una migliore qualità degli edifici scolastici è necessario: mappare i bisogni attraverso lo strumento dell'anagrafe dell'edilizia scolastica che deve essere costantemente aggiornata; programmare gli interventi secondo una scala di priorità a partire dall'efficientamento energetico alla messa in sicurezza; sostenere le strutture tecniche delle amministrazioni nel reperimento dei fondi e nella progettazione; semplificare le linee di finanziamento il loro accesso e la loro gestione.

Durante la pandemia è stato evidente quanto i servizi pubblici a disposizione delle scuole non siano stati in grado di rispondere alle relative necessità. I servizi di trasporto pubblico come lo scuolabus tra il 2010 e il 2018 sono passati dall'essere presenti in quasi il 33% degli edifici ad un 23%, senza sviluppare in alternativa una mobilità casa-scuola eco compatibile.

Circa la metà delle scuole non prevede le classi a tempo pieno a causa di problemi organizzativi, didattici e di personale, ma anche strutturali se si pensa che per incrementare il tempo pieno occorre avere gli spazi idonei per il servizio mensa. La stessa percentuale riguarda le scuole che non propongono progetti educativi e iniziative extrascolastiche che spesso rappresentano un importante sostegno alla formazione della cittadinanza. Un quadro che indica la necessità sempre più auspicata di una integrazione scuola-territorio, possibile solo con patti educativi di comunità capaci di integrare più soggetti e realtà per rispondere adeguatamente ai crescenti bisogni educativi.

Un ulteriore investimento strategico per gli edifici riguarda la digitalizzazione della pubblica

amministrazione; nel 2019 solo il 34% degli edifici scolastici presenta reti Wi-Fi mentre il 29% dispone di una rete completamente cablata (Legambiente, 2021).

Dopo la pandemia la scuola avrà un ruolo determinante nel mantenere legami di coesione, integrazione e presidio territoriale. L'edificio scolastico in questo contesto assumerà valore non solo per studenti e docenti, ma sempre più per le famiglie e il resto dei cittadini. L'edilizia scolastica e i sistemi che ruotano attorno all'ecosistema scuola devono essere ripensati e rilanciati, in una dimensione di sostenibilità ambientale e sociale, verso la transizione ecologica. Le scuole nella loro dimensione educativa, infrastrutturale e dei servizi, possono essere protagoniste di un rilancio complessivo del paese, a tal fine però è necessario orientare correttamente le risorse che saranno a disposizione da qui al 2030.

In particolare, dovranno essere affrontati con maggiore attenzione i seguenti aspetti:

- Completare l'anagrafe dell'edilizia scolastica e approvare un piano delle priorità di intervento;
- Procedere al miglioramento e adeguamento sismico di tutti gli edifici scolastici in area sismica 1 e 2 e all'efficientamento energetico degli stessi;
- Inaugurare una generazione di cento scuole sostenibili e innovative, aperte anche in orario extrascolastico e dotate di un'integrazione di servizi;
- Decretare tutte le scuole plastic free, accompagnando il processo con percorsi formativi nell'ottica di promuovere il green public procurement<sup>21</sup>;
- Sostenere piani di mobilità scolastica con l'incremento del trasporto pubblico e pratiche di mobilità ecosostenibile,
- Formare classi meno numerose, una necessità oggi causata dall'emergenza sanitaria, ma che in vista del calo demografico dei prossimi 10 anni vedrà diminuire di un milione la popolazione 0-18 anni;
- Procedere al completamento della bonifica e messa in sicurezza degli edifici scolastici che presentano amianto.

## MIUR

Nel sito del MIUR è possibile consultare tutte le linee di finanziamento previste per l'edilizia scolastica. I fondi stanziati dal governo sono molteplici, primo tra tutti il già citato Progetto Futura

---

<sup>21</sup> L'integrazione di considerazioni di carattere ambientale nelle procedure di acquisto della Pubblica Amministrazione.

facente parte del PNRR.

Il MIUR finanzia molteplici progetti finalizzati a sensibilizzare le scuole sul tema dell'edilizia scolastica al fine di rendere gli ambienti di apprendimento a misura di studente.

La Mia Scuola Accogliente è un concorso diretto alla valorizzazione e al recupero di spazi comuni presenti nelle istituzioni scolastiche per la realizzazione di "cantieri" e laboratori permanenti di creatività intesi come ambienti vivi di partecipazione, di incontro e di apertura della scuola al territorio per favorire l'integrazione, il senso di responsabilità e di cura dei beni comuni.

Invece La Mia Scuola Sicura è un concorso diretto alla promozione della cultura della sicurezza degli edifici scolastici. Le istituzioni scolastiche statali di ogni ordine e grado, anche in rete tra loro, elaborano proposte progettuali con il fine di promuovere la diffusione della cultura della sicurezza nelle scuole, la condivisione di buone pratiche e la prevenzione e la protezione dai rischi connessi alla fruizione degli ambienti di apprendimento (MIUR, 2022).

## 4. INDUSTRIA 4.0

In questo capitolo si intende descrivere l'attuale conoscenza del processo BIM e come un passaggio all'industria 4.0 possa ottimizzare il processo edilizio, allungando il ciclo di vita dell'edificio e riducendo i costi e l'inquinamento ambientale.

### Processo BIM

La digitalizzazione è un processo di conversione di misure fisiche in dati numerici. La conservazione, l'analisi e il controllo di questi dati costituiscono il fenomeno della digitalizzazione che nel mondo delle costruzioni parte dal BIM e arriva all'applicazione di modelli per la gestione. Le applicazioni del digitale sono ormai così vaste e numerose da abbracciare tutte le fasi del costruito e del post costruito.

Il BIM è fondamentale nella progettazione e, se applicato correttamente, influisce sul processo di costruzione rendendo più semplici i passaggi e più facile la gestione e manutenzione. La filiera delle costruzioni, per quanto lunga e complessa, non può prescindere da un'integrazione che ponga tutti i soggetti a operare insieme già dalla fase di progettazione. Questa evoluzione sta compendosi lentamente e uno dei protagonisti è senz'altro il processo BIM, che risulta essenziale per individuare dei linguaggi comuni, delle procedure condivise, delle strategie definite. Questo lavoro sta alla base dell'integrazione e aiuta tutti gli interlocutori a muoversi consapevolmente e coerentemente.

#### *I livelli di maturità e le dimensioni del BIM*

Il BIM si riferisce ad un metodo di lavoro collaborativo basato sulla generazione e lo scambio di dati e informazioni tra le varie parti del progetto. Sulla base di queste informazioni è possibile gestire l'intero ciclo di un edificio, dall'idea e progettazione fino al completamento. In questo senso il BIM è una parte indispensabile del processo decisionale. Vi sono diversi livelli di collaborazione condivisa in un progetto di costruzione: questi sono noti come livelli di maturità BIM; man mano che saliamo di livello, la collaborazione tra le varie parti è in aumento.

Attualmente vengono distinti quattro livelli di maturità BIM:

BIM Level 0 (collaborazione bassa) non comporta alcuna cooperazione, è il primo passo del processo di generazione delle informazioni. Le informazioni vengono prodotte e condivise con l'aiuto di documenti elettronici ma non interoperabili. I disegni CAD vengono utilizzati durante il Livello 0, ma non c'è condivisione dei modelli di informazioni generate.

BIM Level 1 (collaborazione parziale) in questo caso viene utilizzato un Common Data Environment (CDE), che in Italia è stato definito come Ambiente di Condivisione Dati (ACDat). Questi sono archivi condivisi online nei quali vengono gestiti tutti i dati necessari per il progetto; tuttavia, i modelli non vengono distribuiti tra i diversi agenti. In pratica possiamo parlare di Livello 1 della modellazione BIM in presenza di standardizzazione del modello tra i membri del team di progetto e gestione in maniera organizzata della progettazione, pur senza un unico modello condiviso.

BIM Level 2 (collaborazione completa) le informazioni sono condivise con i vari membri del progetto. Sono introdotte due nuove dimensioni connesse alla gestione del progetto: il 4D relativo alla gestione del tempo e il 5D riguardante l'ambito economico. Il lavoro collaborativo è al centro di questo livello, ma non necessariamente si deve operare sugli stessi modelli CAD 3D. Ognuno può utilizzare un modello CAD distinto, ciò che è veramente importante è l'esistenza di un tipo di file comune che contenga tutte le informazioni di progettazione. Si tratta di un modello di piena collaborazione tra le numerose parti del progetto che possono avere una panoramica di tutte le informazioni. I componenti del team lavorano in sinergia ognuno sul proprio modello 3D al fine di ottenere un modello federato con le caratteristiche specifiche di ogni disciplina di progettazione.

BIM Level 3 (integrazione completa) è l'obiettivo finale per il settore delle costruzioni. In questo livello si raggiunge la piena integrazione delle informazioni in un ambiente cloud a mezzo di un modello condiviso e accessibile. Quindi il Livello 3 rappresenta un unico modello su cui lavorare: questo modello diventerà l'elemento da condividere e conservare in un cloud, al fine di consentire alle figure coinvolte nel progetto di accedere alle stesse informazioni. Il team di progetto in tempo reale verifica gli effetti delle singole azioni sul modello.

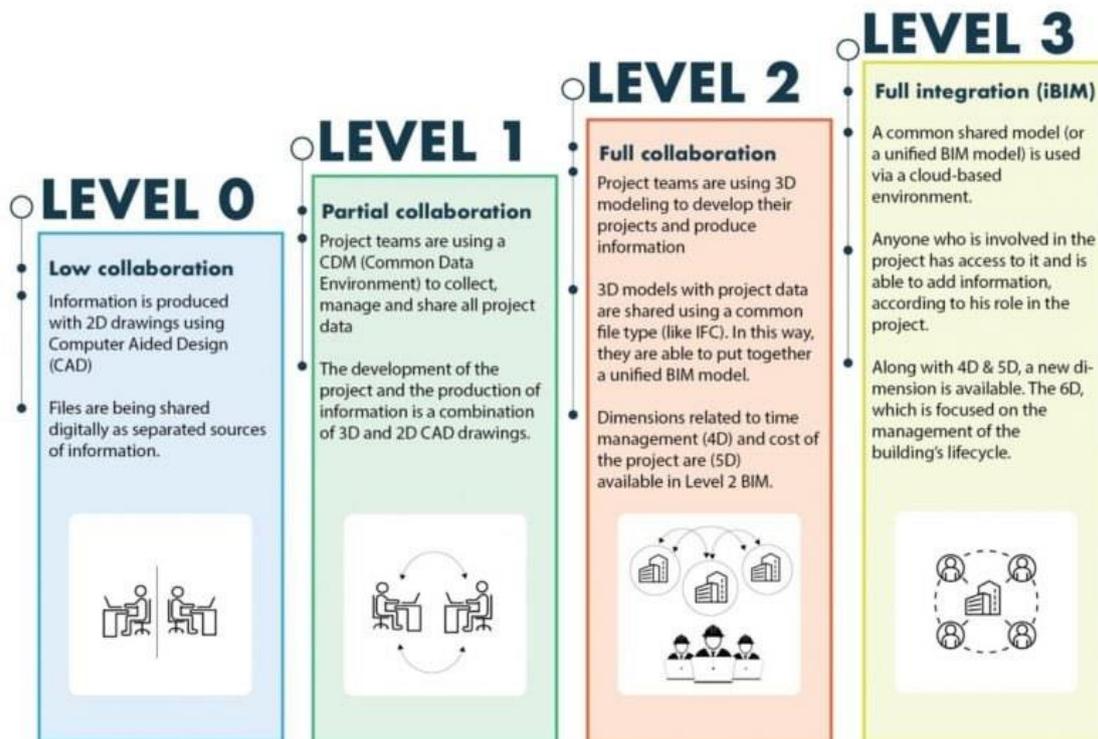


Figura 30 - Livelli di maturità BIM

I livelli di maturità BIM sono diversi dalle dimensioni dei dati del modello di informazioni. Non vanno quindi confusi i quattro livelli di maturità con le sette dimensioni del BIM. Le “dimensioni del BIM” identificano gli aspetti e le informazioni che caratterizzano il processo di digitalizzazione. Il BIM, oltre alla semplice modellazione tridimensionale (3D), può abbracciare altre “dimensioni” che servono ad aggiungere informazioni utili all’opera da realizzare o da gestire. Oltre alle informazioni ricavabili da un modello 3D, i dati degli attributi possono essere inclusi nelle seguenti dimensioni:

4D analisi dei tempi di realizzazione delle opere;

5D analisi dei costi;

6D fase di gestione delle opere realizzate;

7D valutazione della sostenibilità.

Tutti questi elementi possono essere trovati all’interno di un modello BIM di Livello 2 o Livello 3.

Oltre alle sette dimensioni normate, ad oggi esiste un dibattito aperto sulle tre “nuove dimensioni del BIM”:

8D sicurezza in fase di progettazione e realizzazione dell’opera;

9D costruzione snella;

10D industrializzazione delle costruzioni.



*Figura 31 - Dimensioni BIM*

Il passaggio al livello 2 e al livello 3 porterà alcuni inevitabili vantaggi per il settore delle costruzioni. La possibilità di condividere le informazioni più velocemente e facilmente può offrire un significativo aumento della produttività. La collaborazione riduce il tempo di lavoro garantendo una maggiore produttività che comporta una riduzione dei costi e una maggiore efficienza. La gestione più efficace dei big data cambierà il modo in cui lavorano molti dei professionisti all'interno della costruzione. L'ottimizzazione del processo di costruzione potrebbe portare allo sviluppo di nuovi mercati che, grazie all'utilizzo del metodo BIM, trovano le potenzialità per espandersi.

La capacità gestire i dati con maggiore efficienza porterà ad un notevole miglioramento degli edifici. Parametri come l'ambiente e la modernizzazione delle strutture progettate saranno più facili da prendere in considerazione durante la procedura di costruzione.

Il BIM contribuisce a migliorare il processo di rilevamento delle interferenze; si potranno evitare tutti i potenziali errori che emergono durante la progettazione e la costruzione di un edificio.

#### *Metodi e strumenti informativo rappresentativi*

Il flusso di lavoro digitale, soprattutto nel momento in cui prendiamo in esame rigenerazioni edilizie e progetti sul costruito, fino a toccare la scala urbana, si configura come una vera e propria rappresentazione integrata, intesa in modo inclusivo su tutta la filiera, in relazione alla necessità espressa dai diversi professionisti di interfacciarsi tramite un linguaggio comune. Lo strumento rappresentativo è quindi parte integrante del processo progettuale e, poiché le innovazioni

produttive sono sempre collegate ai processi edilizi, dalla progettazione, al cantiere, fino alla gestione, diviene anch'esso elemento da valutare per definire la qualità progettuale.

È ormai evidente come la rappresentazione digitale del progetto si rivolga, e a maggior ragione come debba farlo quella del progetto sul costruito, in maniera sempre più costante e progressiva verso una evoluzione contrassegnata dal passaggio dalla staticità del disegno alla dinamicità del modello. Il modello digitale del costruito è una rappresentazione fisica, una simulazione, effettuata tramite software, atta a studiarne il comportamento in determinate situazioni. La modellazione è uno dei processi fondamentali della mente umana, senza però che in questo se ne voglia avere una rappresentazione esaustiva del reale. Il modello, infatti, in quanto prodotto critico di un atto creativo-interpretativo, rappresenta un contributo di conoscenza sull'edificio. "Lo studio del modello come rappresentazione geometrica non solo della forma, ma quale contenitore di tutte le proprietà fisiche, dimensionali e peculiari della genesi di quella costruzione (pieno/vuoto), è la logica conseguenza della costruzione di un modello conforme, discretizzato che nelle analisi per operare si sostituisce al vero.

L'adozione di strumenti informativo-rappresentativi non permette solamente di condurre in modo trasparente le fasi progettuali al fine di realizzare elaborati tradizionali corretti dal punto di vista rappresentativo, ma si estende all'intero processo edilizio, mettendo in relazione elementi compositivi, tecnologici e strutturali con le fasi di costruzione e cantiere (BIM 4D), stima dei costi (BIM 5D), certificazione (BIM 6D) e gestione del ciclo di vita (BIM 7D).

Sebbene si possa considerare il BIM come naturale evoluzione degli strumenti CAD, è necessario precisare che questi non sono basati sulla stessa tecnologia. Il BIM va infatti ben oltre uno strumento per generare disegni digitali, sia 2D che 3D. Il BIM è qualitativamente differente rispetto al CAD poiché non è solamente una descrizione ma bensì una definizione object-based dell'edificio. Le informazioni contenute nel BIM inoltre differiscono dalle informazioni contenute nel CAD, ad esempio, una parete è un oggetto che contiene un vasto insieme strutturato di informazioni unitamente alla geometria o alla forma fisica.

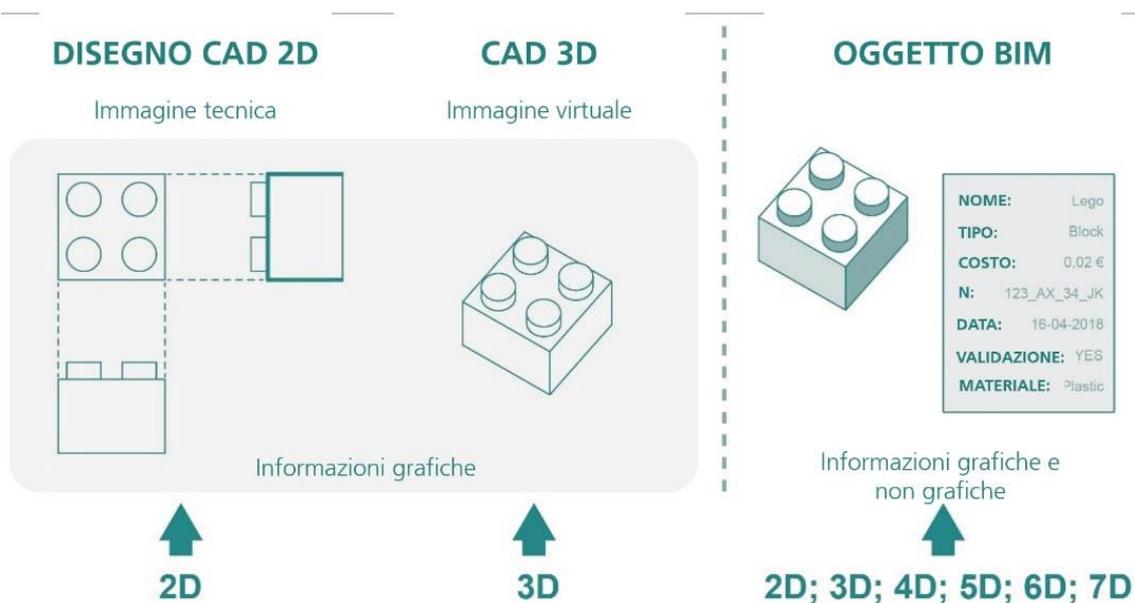


Figura 32 - Evoluzione dal CAD alla rappresentazione per oggetti BIM

Grazie a questa metodologia, emerge la possibilità di esplorare un ulteriore livello di analisi progettuale: il BIM non è più solamente una documentazione di progetto ma si può estendere anche oltre le informazioni contenute nei modelli *object-based* abilitando ed incentivando il Data Management System nel momento in cui tutte le informazioni divengono collegate ad un modello centrale.

L'ambito collaborativo, l'approccio di creazione del modello, la struttura e il livello di dettaglio del modello così come gli strumenti a supporto di questi processi devono essere delineati in base alla complessità del progetto e agli obiettivi dei diversi attori coinvolti nel processo di riqualificazione. Utilizzando il BIM tutte le informazioni di processo e di prodotto sono combinate, archiviate, elaborate ed interattivamente distribuite a tutti i soggetti interessati. Come modello centralizzato per tutti gli stakeholders<sup>22</sup> in tutte le fasi di progetto, il BIM si sviluppa e si evolve parallelamente ai progressi del progetto. È concepito per essere un modello vivente che può essere utilizzato durante la pianificazione, la progettazione, la costruzione e la gestione dell'edificio. Utilizzando il BIM le soluzioni architettoniche ed ingegneristiche proposte possono misurarsi con i requisiti e le aspettative prestazionali poste dai committenti.

Il processo BIM per essere efficace deve riguardare tutte le fasi del processo edilizio. In prima fase, a partire dall'acquisizione dello stato di fatto del costruito mediante metodologie e strumenti di

<sup>22</sup> Letteralmente "portatori d'interesse" sono i membri del team di un progetto.

rilievo laser scanner 3D integrato, alla verifica di coerenza del dato di interscambio mediante la restituzione tridimensionale in database informativi BIM. Conseguentemente si procede alla creazione di un modello di progetto caratterizzato da geometrie dettagliate compatibili con gli strumenti BIM che dimostrano buone capacità di gestione del dato in fase di modellazione. La relativa difficoltà di realizzazione del modello BIM rende necessario un controllo di interoperabilità del dato, sia in direzione verticale, ovvero sui software che operano in fasi successive del processo edilizio, sia in direzione orizzontale, vale a dire sui software che operano in ambiti paralleli di utilizzo progettuale, dove è possibile riscontrare i maggiori ostacoli ancora presenti rispetto agli strumenti disponibili.

Infine, è possibile condurre alcune esperienze di implementazione degli strumenti BIM nelle procedure del Facility Management. L'aumentare della complessità dei dispositivi installati direttamente negli immobili richiede una sempre maggiore necessità di documentazione informativa tridimensionale da trasferire ed utilizzare sul campo per la manutenzione ordinaria dei sistemi. È già possibile ad ogni modo riscontrare che buona parte dei vantaggi fondamentali che il BIM può portare nell'ambito del Facility Management sono correlati alla sua natura oggettuale e semantica. Il modello BIM, infatti è una descrizione object-based di un manufatto edilizio: la possibilità di indagare i singoli elementi, con particolare riferimento ai metodi semantici, svincolandosi pertanto dalla necessità di gestire l'intero modello diviene uno dei requisiti fondamentali per condividere il dato con il maggior numero di professionisti (Balzani, Maietti, & Medici, 2016).

### *Il processo HBIM*

Il processo Heritage Building Information Modeling (HBIM) contribuisce alla salvaguardia del patrimonio architettonico esistente tramite una pianificazione degli interventi e una manutenzione programmata, il BIM è sempre più partecipe nei progetti di restauro e conservazione e anche il quadro normativo si sta evolvendo.

Il metodo BIM viene per la prima volta considerato nel 1974 da Charles Eastman che introduce il concetto di Building Description System (BDS), ad oggi non si parla di un semplice modello 3D ma di un approccio conoscitivo multidisciplinare che permette la digitalizzazione, la gestione e la previsione degli interventi.

Il termine ha una duplice valenza: come processo riguarda l'intero ciclo di vita del progetto che accompagna l'edificio anche nelle sue trasformazioni, è un modo di lavorare puramente coerente

con la rivoluzione digitale che sta vivendo l'edilizia. Considera il costruito anche con quelle che sono state le sue evoluzioni temporali, coinvolge competenze specifiche e figure professionali molto differenti che possono lavorare insieme utilizzando delle regole comuni e degli standard condivisi; come strumento è una descrizione digitale che non interessa solo la componente geometrica ma anche tutti gli aspetti che riguardano l'architettura, è un modello realizzato in maniera collaborativa che deve essere continuamente aggiornato.

Esistono dei principi fondamentali del BIM: un modello digitale parametrico dove i parametri vengono espressi in funzione di una serie di variabili, la geometria è arricchita da una serie di dati eterogenei che vanno a compilare il database relazionale che è associato direttamente alla geometria; un processo integrato perché coinvolge diverse figure professionali che devono condividere i dati in un ambiente unico, il CDE, che è lo spazio strutturato con un'organizzazione gerarchica; un approccio collaborativo che implica la condivisione delle informazioni, questo significa avere degli standard comuni e che i dati siano interoperabili, cioè possono essere scambiati senza avere perdita delle informazioni. L'interoperabilità riguarda anche la relazione che si instaura tra le diverse discipline che convergono all'interno di questo processo per consentire un'efficace trasmissione delle informazioni secondo i requisiti standard.

La Building Smart International ha sviluppato cinque standard aperti internazionali per lo scambio di informazioni: IFC (Industry Foundation Class), IFD (International Framework for Dictionaries), IDM (Information Delivery Manual), MVD (Model View Definition) e BCF (BIM Collaboration Format). Il formato di interscambio dei dati più utilizzato in ambito BIM è l'IFC che definisce il modello in una struttura di dati sia per componenti geometrici che per attributi. Questo formato permette di gestire la geometria degli oggetti, la relazione tra oggetti, la proprietà degli oggetti, i metadati e gli attributi.

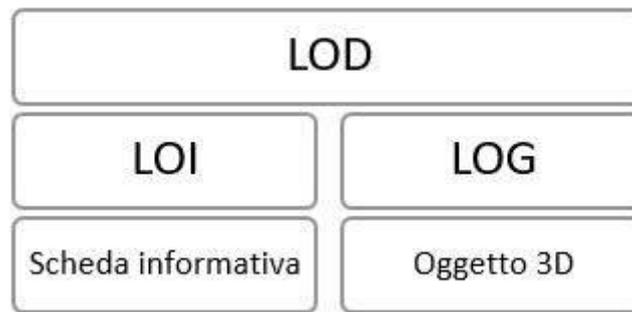
Ulteriore principio è la definizione della realtà accurata ed affidabile, questa avviene attraverso dei livelli che vanno a descrivere l'affidabilità del modello stesso. Con Level of Development (LOD) si definisce il livello di sviluppo ed il grado di dettaglio del modello non solo da un punto di vista geometrico ma anche informativo.

La norma UNI 11337 considera il LOD come la composizione di due altri livelli:

Il Level of Geometry (LOG) che rappresenta l'accuratezza geometrica degli oggetti del modello informativo digitale;

Il Level of Information (LOI) che rappresenta la maturità e accuratezza del contenuto informativo correlato agli elementi del modello.

LOG e LOI definiscono il livello di sviluppo delle geometrie e delle informazioni contenute nel modello, la loro somma restituisce il LOD.



*Figura 33 - Level of Development*

Questi livelli sono caratterizzati da un ordinamento crescente denominato dalla progressione delle lettere alfabetiche dalla A alla G:

LOD A rappresentazione simbolica;

LOD B rappresentazione generica;

LOD C sistema geometrico definito;

LOD D sistema geometrico dettagliato;

LOD E oggetto specifico;

LOD F oggetto eseguito;

LOD G oggetto aggiornato.

L'introduzione dei livelli F e G, si relaziona con la necessità di adeguare il BIM all'ambito del restauro ossia nei confronti di un'architettura già realizzata, LOD F viene utilizzato per l'oggetto già costruito quindi fornisce una documentazione dello stato di fatto, mentre il LOD G considera l'aggiornamento dell'oggetto e fornisce le basi per la gestione degli interventi da definire.

Il Level of Accuracy (LOA) è un livello dedicato all' accuratezza del modello nell'ambito del rilievo, risulta fondamentale quando si interviene nel patrimonio architettonico attraverso un rilievo che assicuri una precisione coerente con l'utilizzo che poi ne verrà fatto. Il LOA considera la precisione intrinseca del rilievo e quella che poi sarà la precisione del modello.

Le potenzialità rappresentate dal metodo BIM sono: la gestione di un unico progetto; la verifica delle interferenze che consentono di ridurre i rischi nella fase di cantiere; unico database; un lavoro collaborativo; e la gestione della componente tempo, importante per conoscere il pregresso

dell'esistente che condiziona le scelte progettuali.

HBIM viene introdotto nel 2009 con una definizione che considera questo strumento nel momento in cui deve essere applicato al patrimonio esistente, in questo modo si possono aumentare le conoscenze legate al patrimonio realizzando un database multidisciplinare. L'utilizzo del BIM applicato al patrimonio esistente pone requisiti differenti ma allo stesso tempo grandi potenzialità, rispetto al patrimonio storico artistico le criticità e le problematiche aumentano ulteriormente ma questa metodologia continua ad essere efficace. HBIM riguarda un processo Scan to BIM che richiede una maggiore competenza del rilievo all'interno di questo processo, in riferimento al patrimonio architettonico si considera l'intervento con finalità di rinnovo, si concretizza con dei rilievi definiti As Built che devono garantire un livello di accuratezza pari a quanto richiesto dagli interventi progettati. Dal rilievo si ottiene una nuvola di punti che è già un modello discreto, questo verrà successivamente trattato attraverso una classificazione semantica degli elementi che consiste nell'individuare muri e solai e tutti gli altri componenti che andranno a creare il modello.

Ad oggi gli strumenti a disposizione del BIM sono insufficienti per rappresentare tutte le anomalie e la complessità dell'architettura, il BIM restituisce un modello parametrico utilizzando una libreria di famiglie standardizzata che molto spesso non corrisponde alle reali necessità dell'architettura costruita.

## Transizione digitale

Le infrastrutture di tipo sociale contribuiscono a determinare le condizioni di vita della collettività, incidendo su aspetti quali la salute e il livello di istruzione dei cittadini. Sono importanti non solo perché accrescono il benessere della società, ma anche perché indirettamente, agendo sulla qualità del capitale umano, accrescono la produttività complessiva del sistema.

Tradizionalmente il cantiere viene visto unicamente come una fase realizzativa, successiva e slegata dalla progettazione, che non debba in alcun modo riportare al progettista tutte le modifiche apportate durante la costruzione. Questo rapporto dev'essere superato così da ottenere un legame di reciproco interscambio di informazioni in tutte le fasi del processo edilizio.

La transizione digitale non deve essere intesa come una semplice conversione dell'edificio in un modello digitale, bensì come una lavorazione del dato per migliorare la comprensione dei fenomeni generando processi decisionali migliori (Osello, 2012).

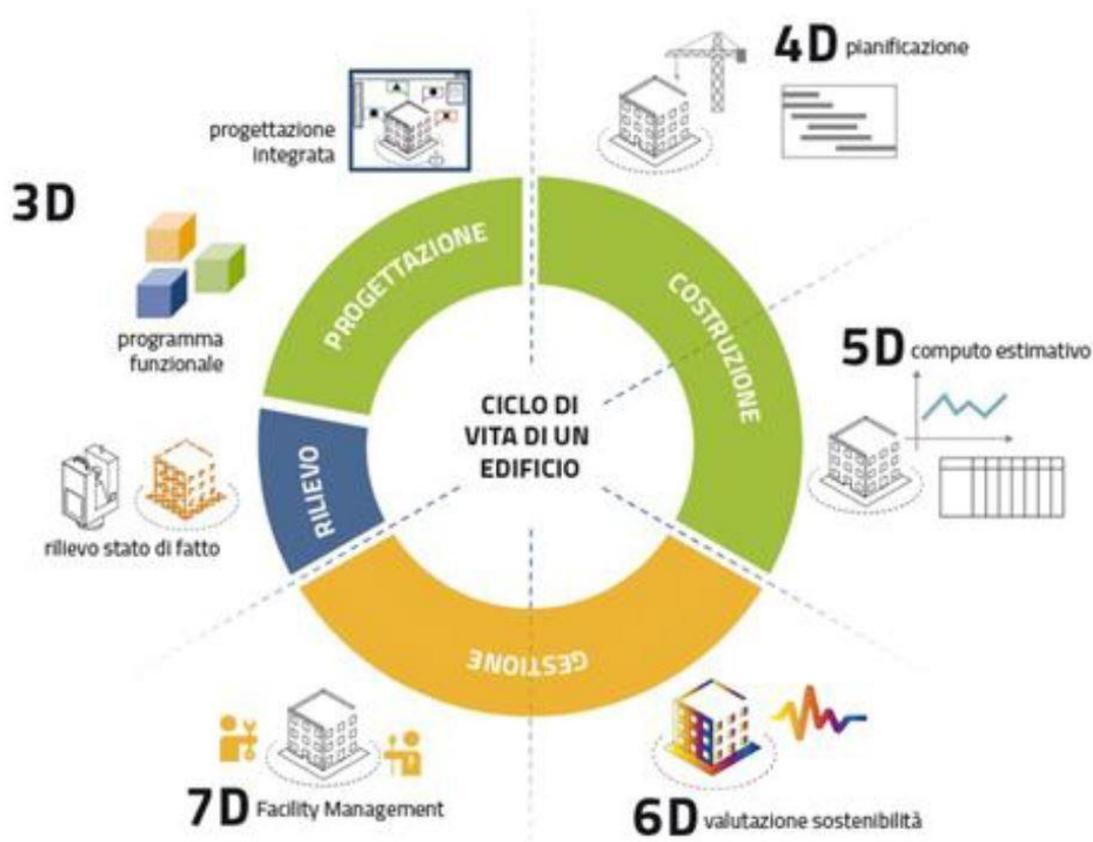
La digitalizzazione coincide con la gestione delle informazioni contenute nei documenti su supporto digitale, viene utilizzata per accrescere la comprensione dei fenomeni allo scopo di migliorare i processi decisionali, sfruttando le potenzialità computazionali del dato. Il cantiere, infatti, genera un'immensa quantità di dati legati ad aspetti molto diversi tra loro.

Nell'epoca dei Big Data<sup>23</sup> e dell' Internet of Things (IoT) risulta evidente che occorre innanzitutto consentire una migliore gestione dei dati a partire da uno studio accurato del flusso di lavoro per garantire una struttura affidabile. Quando le tecnologie e gli strumenti vengono introdotti senza uno studio preventivo dei flussi informativi e decisionali, si rischia di introdurre una proliferazione di dati che possono produrre disagi non indifferenti.

Nell'ambito dell'edilizia il processo operativo può essere riassunto attraverso quattro stadi principali, consequenziali e strettamente connessi tra loro: il rilievo, fase di acquisizione dei dati; la progettazione che rappresenta il fulcro del processo, ogni componente che si andrà a modellare effettua un percorso digitale dal modello BIM fino alla fabbrica di produzione ed un percorso fisico dalla fabbrica al cantiere; la costruzione, fase di realizzazione del prodotto; e la gestione, fase di analisi e manutenzione nel tempo.

---

<sup>23</sup> una raccolta di dati informatici così estesa in termini di volume, velocità e varietà da richiedere tecnologie e metodi analitici specifici per l'estrazione di valore o conoscenza.



*Figura 34 - Schematizzazione del ciclo di vita di un edificio in relazione alle “dimensioni” degli strumenti BIM*

Propedeutica alla fase di pianificazione e programmazione dei tempi e dei costi di progetto è la rilevazione delle quantità totali delle singole lavorazioni. Con il procedere della modellazione, se il modello è impostato e utilizzato in maniera corretta, è possibile ricavare informazioni sempre più dettagliate dal punto di vista quantitativo (precisione nelle misure) e qualitativo (tipologie e proprietà dei materiali). Per realizzare un computo metrico estimativo, elemento fondamentale per valutare la fattibilità di un progetto, si estraggono gli abachi delle quantità o si importano direttamente i modelli nei software di analisi economica.

Alla base della rivoluzione digitale deve esserci una cultura del dato del modello accessibile ed aggiornabile dai diversi operatori della filiera dell’edilizia. Al fine di raggiungere questo obiettivo è necessario avviare un processo di innovazione capace di condurre ad una definizione di nuove strategie del sistema industriale delle costruzioni orientate ad una riprogettazione complessiva di prodotti, di processi e di modelli di offerta basati sulla certezza del dato.

*ANCE Osservatorio 2022*

Secondo un rapporto condotto da ANCE a febbraio 2022, le imprese edili credono nella

digitalizzazione e la considerano una priorità di cui tenere conto.

Il 60% degli intervistati si ritiene soddisfatto del proprio livello di digitalizzazione, per lo più messo in pratica con software per la contabilità e l'archiviazione documentale. Da questi dati è possibile capire che un primo step di digitalizzazione, è già a regime seppure consolidato a livello di singolo utente. Manca, infatti, una visione comune, a causa di azioni deboli o assenti di alcuni player. A mancare è il funzionamento degli strumenti digitali in maniera sistemica. La filiera delle costruzioni ha ancora dei divari da colmare per permettere un flusso di dati continuo lungo il ciclo di vita del progetto. Il 45% degli intervistati ha affermato che il BIM è uno strumento utile, ma solo l'8% lo ha adottato come processo. Questo dimostra che uno dei punti critici è all'avvio del processo edilizio: tanti committenti, in particolari quelli pubblici, sono ancora incapaci di affrontare un progetto in maniera digitale. Di conseguenza, il virtuosismo tecnologico è ancora demandato all'iniziativa dei singoli attori piuttosto che a una consapevolezza diffusa di come affrontare un processo di lavoro digitale.

Osservando gli esiti delle risposte sugli ambiti di digitalizzazione ritenuti utili per il settore, è possibile vedere che il digitale viene percepito più come uno strumento a supporto del management piuttosto che per il lavoro sul campo. Un risultato in contro tendenza con quanto è avvenuto nel settore manifatturiero in cui l'automazione connessa ha fatto la differenza nella produzione. Lo scenario in cui: robot, Realtà Virtuale e stampa 3D entrano in cantiere è ancora ritenuto lontano dalle imprese, anche se il mercato sta iniziando a offrire una serie di prodotti di crescente interesse.

Il 30% degli intervistati ha individuato nella mancanza di tempo l'ostacolo a digitalizzare, esattamente il doppio di chi invece ritiene che la difficoltà sia economica. La risposta è in linea con il fatto che ad oggi ci sono diversi strumenti finanziari a supporto dell'innovazione, ma a causa del notevole volume di lavoro risulta difficile introdurre delle innovazioni nel proprio processo lavorativo. Una modernizzazione che però è indispensabile per affrontare le nuove richieste del mercato, dove le grandi committenze stanno già avviando il cambiamento sulla spinta del PNRR. Una possibile risposta a questa esigenza è quella di avvalersi del supporto dei Digital Innovation Hub<sup>24</sup> (DIH) per intraprendere dei percorsi di sviluppo ben definiti. ANCE partecipa alla call europea per la creazione di DIHCUBE: un Hub europeo per l'innovazione digitale delle costruzioni.

Sono ancora pochi i contatti tra imprese e pubblico in via digitale; solo il 40% degli intervistati ha utilizzato strumenti di comunicazione elettronica con la PA, e di questi il 30% era finalizzato alle procedure di appalto. Mentre l'uso per adempimenti amministrativi e processo BIM è ancora scarso,

---

<sup>24</sup> Ecosistema su base territoriale, generalmente regionale o interregionale, che ha il ruolo di stimolare la conoscenza e l'adozione di tecnologie 4.0.

questi dati evidenziano ulteriormente la mancanza di un “disegno” coordinato di digitalizzazione del settore. È necessario che la PA assuma il ruolo di regista che gli spetta, in particolare accelerando la creazione di una piattaforma nazionale delle costruzioni quale strumento per garantire lo sviluppo diffuso e condiviso della filiera (Ance, 2022).

#### *Copernico 4.0*

Il Quotidiano Immobiliare ha creato il Tavolo Copernico 4.0 con scopo divulgativo riguardo l'innovazione tecnologica. Copernico 4.0 è un progetto di rete nato nel 2015 per iniziativa del giornale online il Quotidiano Immobiliare. La ricerca di una piattaforma comune di dialogo organizzato e coordinato tra tutti i protagonisti del settore immobiliare è stata l'elemento che ha portato alla creazione del progetto Copernico 4.0, che si articola in vari tavoli professionali, ognuno composto da operatori in rappresentanza dell'industria manifatturiera, immobiliare e dei servizi.

La crescente adozione del BIM nella conduzione del processo edilizio necessita l'adozione di uno standard capace di mettere in relazione tutti i componenti da costruzione con l'intero progetto e con i sistemi di gestione dei dati nelle diverse fasi.

Si rende opportuno definire un insieme di informazioni organizzate e congruenti al variare del componente da costruzione, così da dare forma ad un prodotto digitale denominato Product Building Information Modeling (PBIM), contraddistinto da un unico linguaggio informatico. Per poter identificare un linguaggio informatico comune a tutti i PBIM rispondenti alle specifiche indicate nelle linee guida, è necessario creare una serie di regole e un'opportuna semantica condivisa, capace di trasmettere all'intero progetto BIM le informazioni dei singoli PBIM, così da ottenere come risultato finale un vero e proprio patrimonio documentale ed informativo comprensibile, fruibile, rintracciabile e congruente agli standard normativi nazionali ed internazionali.

La definizione di uno standard di riferimento per i prodotti digitali da costruzione ha anche l'obiettivo di limitare quello che definiamo effetto data squander<sup>25</sup>, quindi di identificare un set di dati capace di rispondere adeguatamente alla condizione necessaria e sufficiente.

Il linguaggio così definito dovrà essere costantemente revisionato e integrato, al variare delle tecnologie e delle esperienze acquisite, così da essere ritenuto sempre attuale per la corretta gestione del Processo BIM e in generale del Processo Edilizio.

---

<sup>25</sup> Lo sperpero di informazioni non utilizzabili, non coerenti o non correttamente organizzate.

## Riferimenti normativi

Negli ultimi anni il quadro internazionale, in particolare quello di estrazione anglosassone, ha più volte manifestato l'esigenza di misurare la performance esprimibile da chi è parte di un processo nel quale la digitalizzazione di metodi e strumenti influisce enormemente sul risultato atteso. Il principio di "maturità BIM" è indispensabile per valutare la conformità alle necessità di produzione digitale del mercato.

Per quanto attiene il quadro delle norme in essere, già nel 2011 in un rapporto al Government Construction Client Group del governo britannico, il BIM Working Group delineava una richiesta minima di abilità nel dominio BIM prefigurando la definizione di standard, linee guida e programmi formativi per traghettare l'ecosistema delle costruzioni nel Regno Unito verso il traguardo della digitalizzazione.

Il governo inglese è forse quello che ha impegnato più risorse per agevolare la transizione digitale, affrontando diverse problematiche, tra le quali proprio quella della definizione dei livelli di maturità. Riprendendo lo schema di Mark Bew and Mervyn Richards dove vengono espressi graficamente i regolamenti e le linee guida vigenti nel Regno Unito in ragione dei livelli di maturità richiesti per la pubblica commessa, si può evincere come il piano normato non possa discostarsi da una valutazione più ampia, collegata indissolubilmente alla performance delle figure operanti nel mercato delle costruzioni (Bew & Richards, 2008).

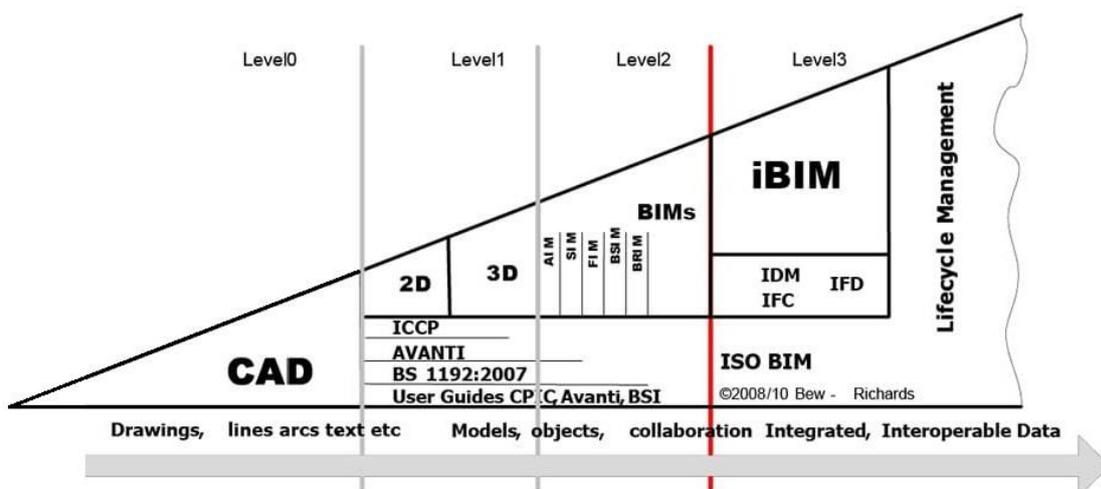


Figura 35 - Bew-Richards UK BIM Maturity Model

Le prime prescrizioni a livello normativo sono rappresentate dalle British Standard (BS) del 2007 che regolamentano il BIM come processo di scambio tra discipline e le Publically Available Specification (PAS) del 2013 che descrivono i modelli federati condivisi per l'intero ciclo di vita del progetto.

Le PAS sono norme sviluppate dal British Standards Institution per fornire una risposta rapida ed esaustiva alle specifiche esigenze dei vari settori produttivi. Le PAS 1192 rispondono all'esigenza del governo britannico di implementare l'adozione del metodo BIM nell'industria delle costruzioni. Se il BS è un codice di pratica professionale che fissa uno standard, le PAS sono state linee guida che ne hanno indicato il rispetto nel perseguimento delle finalità BIM, compresa la definizione del livello di maturità degli attori.

Da diversi anni l'International Organization for Standardization (ISO) ha attivato tavoli di lavoro allo scopo di formalizzare una normativa internazionale relativa all'applicazione dell'approccio BIM, in grado di svolgere una funzione di riferimento per le procedure di appalto sovranazionali. Le raccomandazioni contenute nei BS e nelle PAS sono pertanto confluite rispettivamente nelle norme EN ISO.

#### *Maturità digitale del processo delle costruzioni*

Il grafico Bew-Richards che illustra il maturity level è diventato nella ISO una matrice, che serve per rappresentare lo scambio informativo come una sequenza di stages di maturità: il fine ultimo nello sviluppo degli standards, nell'avanzamento della tecnologia e delle modalità di gestione delle informazioni è quello di migliorare il business benefit.

In Italia il livello di maturità BIM è al momento trattato nella norma UNI 11337:2017; al capitolo 5 di tale documento, che ha valenza di linea guida ma non di cogenza normativa, si legge quanto normato per la maturità digitale del processo delle costruzioni. La gestione dei processi informativi può avvenire attraverso elaborati informativi (digitali e non digitali), mentre per un più efficace ed efficiente flusso informativo è raccomandato l'impiego di modelli informativi o sistemi misti. A tale scopo nella norma sono definiti i seguenti livelli di maturità informativa digitale in ragione delle differenti regole di trasferimento dei contenuti informativi ad essi ascritti:

Livello 0, non digitale: riferito a tutti gli ambiti disciplinari, i contenuti informativi vengono trasferiti tramite elaborati non digitali e su supporto cartaceo. Gli elaborati informativi non digitali possono anche derivare da elaborati informativi digitali ma il veicolo informativo contrattuale è composto dai soli elaborati non digitali.

Livello 1, base: per tutti gli ambiti disciplinari coinvolti, il trasferimento di contenuti informativi

avviene attraverso elaborati informativi digitali. Il contenuto informativo dell'elaborato digitale viene riprodotto su supporto cartaceo. L'insieme di elaborati informativi digitali e non digitali costituisce un progetto digitale di base.

Livello 2, elementare: per gli ambiti disciplinari ambientale e tecnico il trasferimento di contenuti informativi avviene prevalentemente attraverso modelli informativi grafici, eventualmente accompagnati da elaborati informativi grafici digitali per specifiche necessità di dettaglio. Per tutti gli ambiti disciplinari, il trasferimento degli ulteriori contenuti informativi (non trasferibili attraverso i suddetti modelli grafici) avviene attraverso elaborati informativi digitali. La prevalenza contrattuale si affida al supporto cartaceo del contenuto informativo degli elaborati, accompagnato dal supporto digitale con riferimento al modello grafico.

Livello 3, avanzato: al fine di favorire la connessione dei dati tra modelli informativi grafici ed elaborati informativi possono essere impiegate apposite schede informative digitali di prodotto e di processo. Le schede informative digitali dialogano direttamente con i modelli grafici. La prevalenza contrattuale riguarda la riproduzione su supporto digitale dei contenuti informativi.

Livello 4, ottimale: per tutti gli ambiti disciplinari, il trasferimento di contenuti informativi avviene attraverso modelli informativi (digitalizzabili in senso grafico, documentale, multimediale). I modelli sono eventualmente accompagnati da elaborati informativi digitali per specifiche necessità di dettaglio. Gli elaborati grafici sono comunque sempre estrapolati dalle rispettive digitalizzazioni. L'insieme delle digitalizzazioni coordinate costituisce il modello informativo (anche nel caso di un edificio o infrastruttura esistenti).

## 5. CASI STUDIO

In questo capitolo si intende individuare e descrivere gli edifici che si utilizzeranno, nei capitoli successivi, come riferimento nel processo di riqualificazione edilizia.

### Scuola Primaria “Dante Alighieri” di Meleto Valdarno (AR)

#### *Relazione generale*

Il plesso scolastico facente parte dell’istituto comprensivo “Dante Alighieri” di Meleto Valdarno a Cavriglia, in provincia di Arezzo, è composto da tre corpi di fabbrica realizzati rispettivamente negli anni ’30, negli anni ’70, e nel 2013, il cui stato di conservazione dei manufatti richiedeva senz’altro un intervento di riqualificazione; in particolare, si è scelto come obiettivo la trasformazione del plesso in un edificio Nearly Zero Energy Building (NZEB).

L’edificio, oggetto d’intervento, è situato nella zona centrale di Meleto, a circa 230 metri s.l.m. in un’area prevalentemente collinare; confina a Nord con Viale Barberino, dal quale si accede all’immobile, ad Est con un’abitazione e a Sud-Ovest con un campo sportivo ed un parco pubblico comunale



*Figura 36 - Scuola Meleto inquadramento*

I tre corpi di fabbrica sono così caratterizzati:

- Corpo A: porzione originaria dell'edificio costruita attorno agli anni 30, con una muratura portante in sassi e pietrame, a due piani con copertura a due falde in legno e rivestimento in tegole di laterizio, serramenti interni ed esterni in legno; attualmente, al piano terra (Livello 0) sono ubicati la sala mensa, la cucina e la lavanderia, mentre al piano primo (Livello 2) si trovano due aule per le attività didattiche e doppi servizi igienici; al Livello -1, a cui si accede dalla lavanderia si trovano due bagni con antibagno a servizio della Palestra, ubicata nel Corpo B; la centrale termica è collocata sotto il vano scale esistente ed è accessibile solo dall'esterno;
- Corpo B: porzione intermedia costruita negli anni 70, realizzata con un telaio in c.a. e tamponamenti in laterizio, copertura piana con rivestimento in guaina bitumata dove si trova l'impianto solare termico, ospita la palestra al livello -1 e due aule con servizi igienici al livello 1;
- Corpo C: porzione più recente, costruita attorno al 2013, realizzata con lo stesso sistema costruttivo del corpo B, presenta una copertura piana calpestabile ed ospita al suo interno gli spogliatoi a servizio della Palestra e del campo sportivo adiacente.

Gli esterni si compongono di una piccola area verde nel fronte Nord con una rampa di accesso pedonale direttamente da Viale Barberino che conduce agli ingressi dell'edificio, quello principale sul lato Nord e quello secondario sul lato Ovest; ad Est si trova un piccolo parcheggio pubblico di circa 7-8 posti auto, sempre su questo lato, si trova la porta d'accesso al locale tecnico; a Sud, si trova invece un'area pedonale lastricata che permette l'accesso al campo sportivo.



*Figura 37 - La scuola primaria “Dante Alighieri” di Melegnano come si presentava il 25 gennaio 2018*

Gli interventi previsti per questo immobile riguardano la riqualificazione energetica al fine di ridurre i consumi energetici e migliorare il comfort per gli utenti.

Possono essere riassunte le seguenti lavorazioni:

- Ristrutturazione dell’involucro edilizio attraverso l’applicazione di un sistema a cappotto sulle pareti perimetrali, la sostituzione dei serramenti esistenti presenti sul Corpo A e l’isolamento della copertura inclinata del Corpo A e piana del Corpo B al fine di assicurare anche l’impermeabilizzazione;
- Sostituzione integrale dell’impianto di climatizzazione estivo-invernale con nuovo impianto ad espansione diretta “VRF” composto da un’unità motocondensante esterna a ciclo reversibile in pompa di calore e più unità interne per l’emissione del calore negli ambienti;
- Sostituzione integrale dell’impianto di illuminazione con sistema Led a regolazione automatica mediante sensori di presenza-luminosità;
- Produzione di energia elettrica rinnovabile mediante impianto fotovoltaico installato sulla copertura del Corpo A;
- Applicazione di un sistema di telegestione Building Management System (BMS) al fine di supervisionare il funzionamento degli impianti, effettuare ottimizzazioni di funzionamento

ed eseguire le manutenzioni;

- Contabilizzazione dell'energia consumata/prodotta al fine di aumentare la consapevolezza degli utenti rispetto agli obiettivi di risparmio energetico prefissati.

In riferimento alla classificazione energetica del plesso scolastico la stessa è stata calcolata nella situazione ante e post intervento. Prima dell'intervento, l'edificio ricadeva in classe F con un indice della prestazione di energia non rinnovabile pari a 216,49 kWh/m<sup>2</sup>anno e una emissione di CO<sub>2</sub> pari a 45 Kg/m<sup>2</sup>anno. L'intervento di efficientamento energetico ha comportato un notevole miglioramento sia in termini di un migliore comfort abitativo sia riguardo la riduzione dei consumi e delle emissioni. Dopo l'intervento, l'edificio ricade in classe A4 NZEB con un indice della prestazione di energia non rinnovabile pari a 16,68 kWh/m<sup>2</sup>anno e una emissione di CO<sub>2</sub> pari a 5 Kg/m<sup>2</sup>anno.

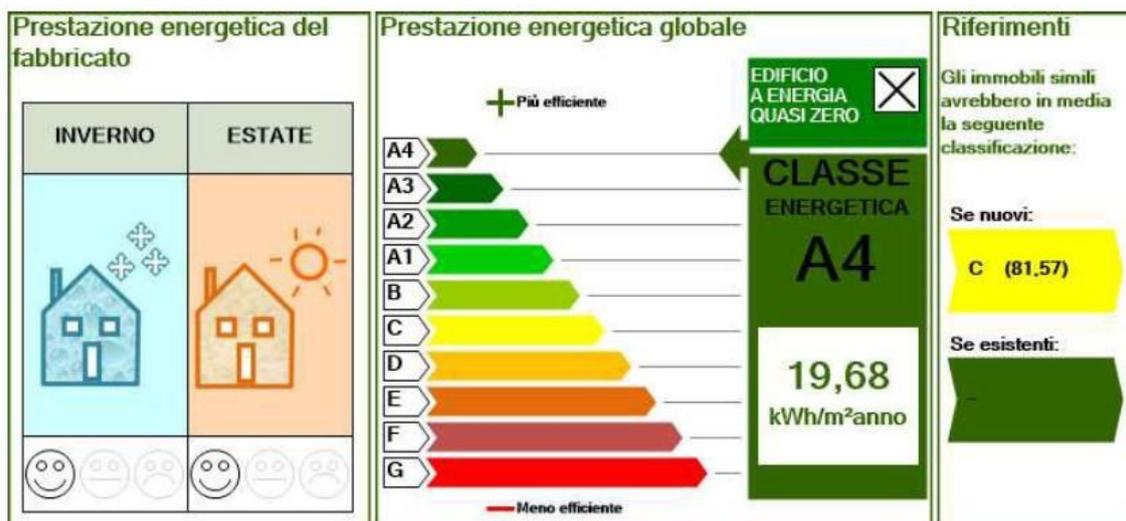
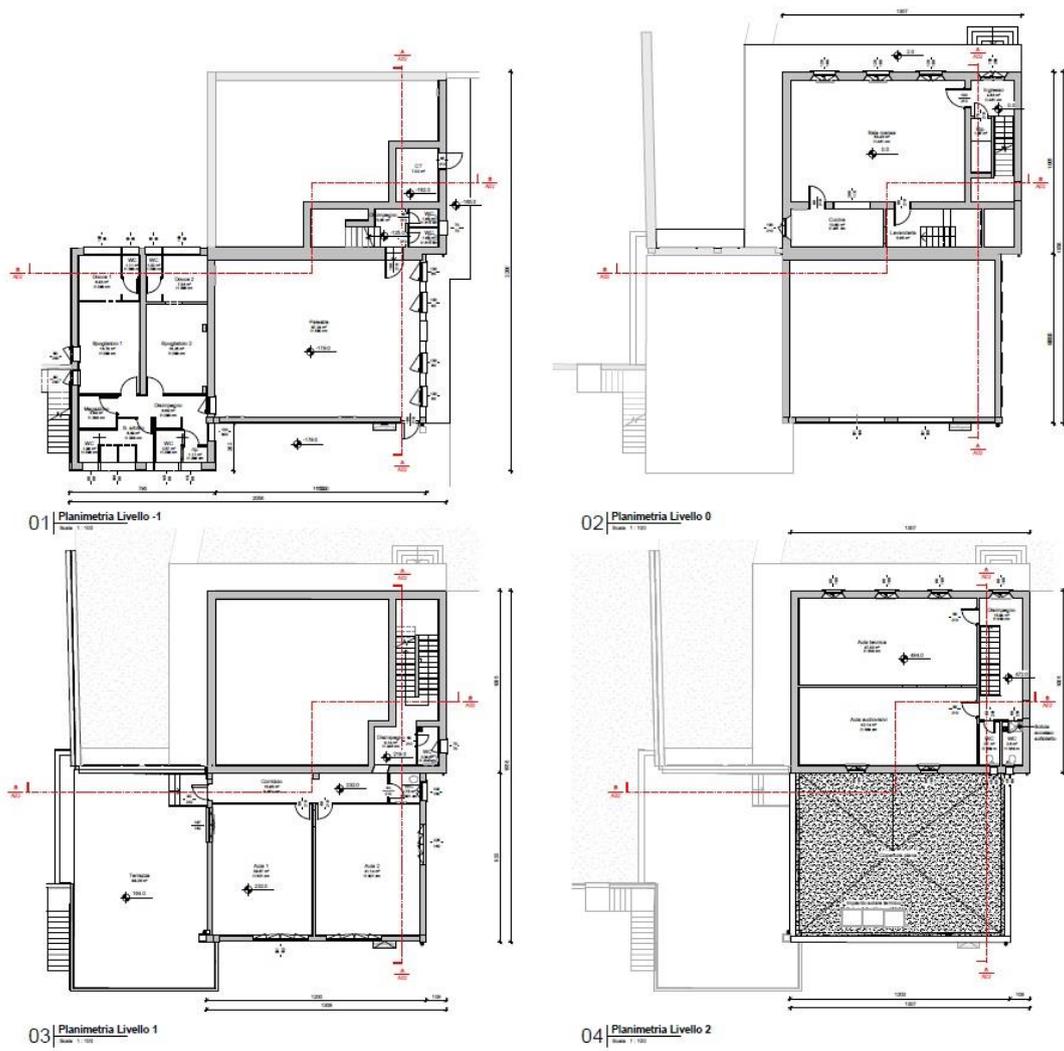


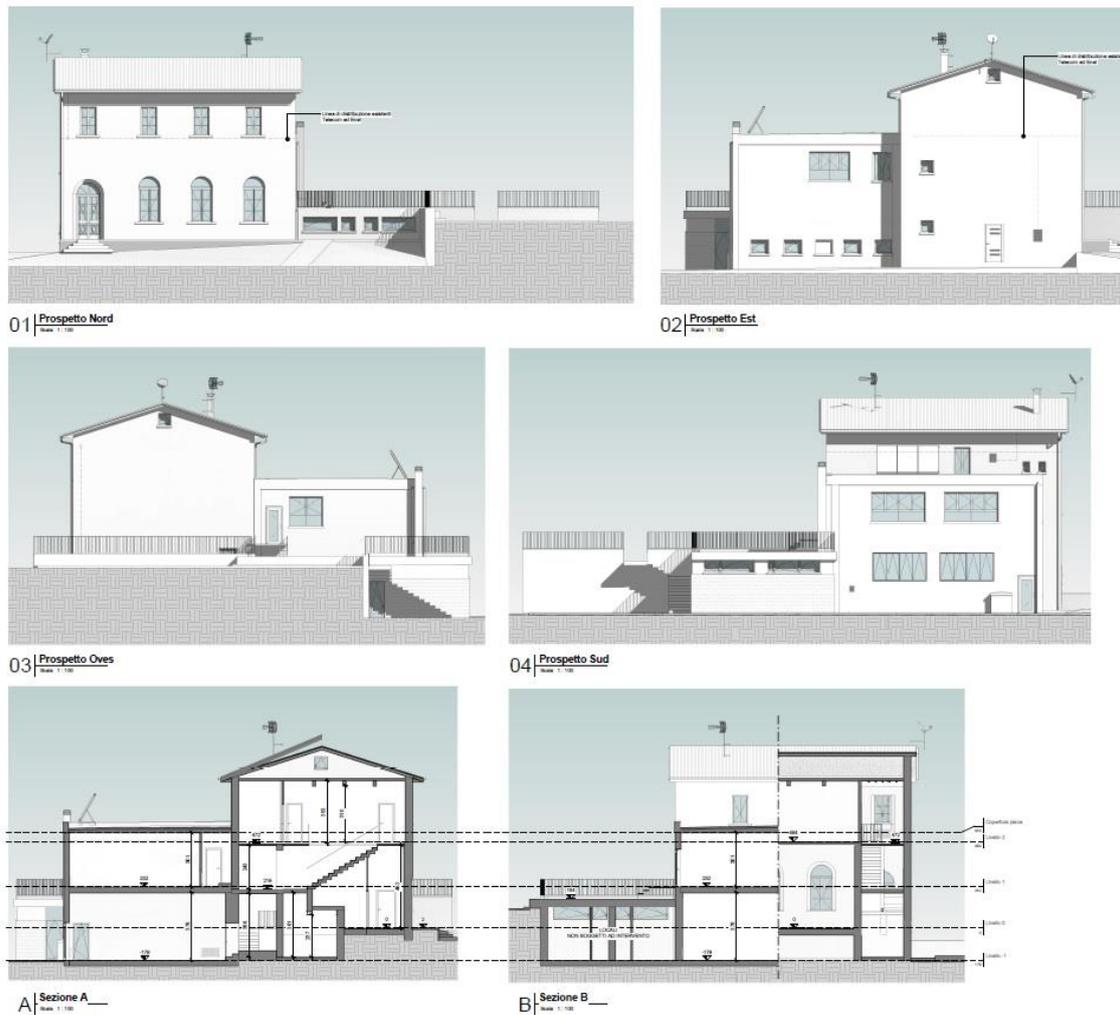
Figura 38 - Meleto classe energetica post intervento

*Elaborati grafici*

Si riportano gli elaborati grafici dello stato ante intervento quali piante, prospetti e sezioni.



*Figura 39 - Piante stato ante intervento*



*Figura 40 - Prospetti e sezioni stato ante intervento*

### *Modello educativo*

La scuola elementare di Meleto si configura nello schema tradizionale che prevede la suddivisione degli spazi in aule e ambienti di connessione. Le aule si presentano secondo l'impostazione classica con tutti i banchi allineati e rivolti verso la cattedra dell'insegnante.



*Figura 41 - Un'aula della scuola Meleto*

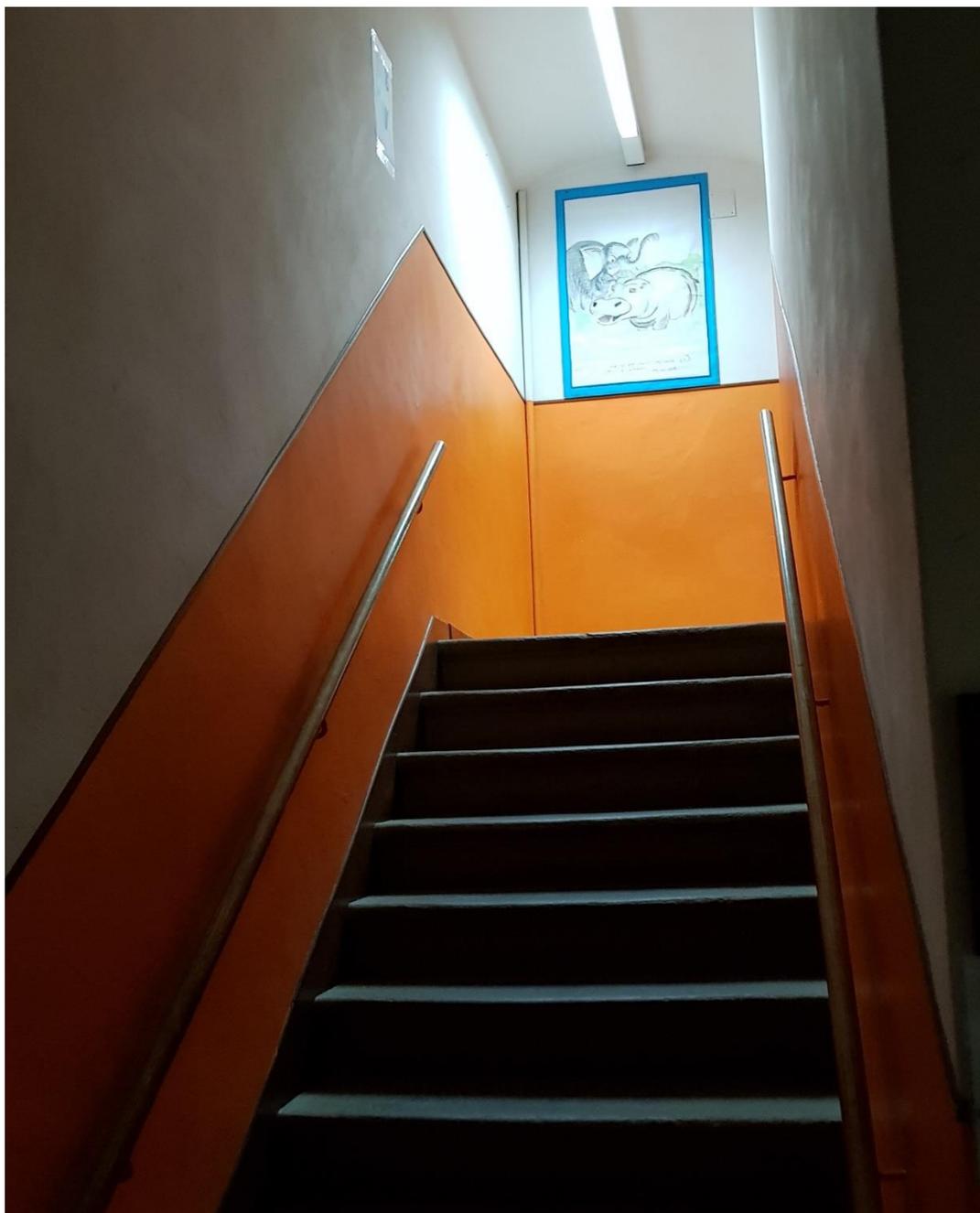
Tutte le aule presentano un'impostazione rigida che non permette nessuna riconfigurazione della spazialità interna. L'arredo scarno e asettico con sedie e tavoli poco confortevoli non agevolano le normali esigenze dell'alunno rendendo l'ambiente poco adatta all'apprendimento. La stessa conformazione degli ambienti impedisce di utilizzare questi spazi per attività differenti dalla didattica frontale, lasciando così le aule vuote fuori dall'orario scolastico.

Anche l'aula mensa è caratterizzata da una rigida configurazione spaziale e da una disposizione dei tavoli che non consente agli alunni di esprimere la propria socialità. Un'ambiente che dovrebbe essere il fulcro della crescita personale diventa invece l'ennesimo punto di passaggio, uno spazio dove dedicare una singola attività in una singola fascia oraria.



*Figura 42 - Aula mensa*

Corridoi e vano scala sono caratterizzati da spazi angusti e spesso bui che hanno la sola funzione di transito e collegamento senza lasciare spazio ad opportunità di dialogo e scambio reciproco di opinioni.



*Figura 43 - Vano scala*

Ogni ambiente di questa scuola era stato concepito secondo il vecchio schema che prevedeva gli spazi suddivisi in aule e corridoi, senza nessun riguardo per la collettività e la flessibilità funzionale. Le aule, la mensa e gli altri spazi della scuola non dialogano con l'ambiente esterno impedendo così ai bambini di poter fruire di un giardino durante l'orario scolastico. Non sono presenti tettoie o elementi filtro tra l'interno e l'esterno che possano rendere il plesso un'ambiente più inclusivo e aperto verso la comunità.

## Scuola Media “Enrico Pea” di Seravezza (LU)

### *Relazione generale*

Il complesso scolastico “Enrico Pea” di Seravezza, in provincia di Lucca, è stato realizzato in più fasi di lavoro, a partire dalla fine degli anni ‘70 fino agli inizi degli anni ‘80, e attualmente si presenta in tre corpi di fabbrica distinti tra loro. La tipologia costruttiva è caratterizzata da un sistema costruttivo in calcestruzzo armato prefabbricato con pilastri a tutt’altezza; anche in questo caso l’obiettivo è quello di trasformare il plesso scolastico in edificio “NZEB”.

L’edificio è situato a Querceta, frazione di Seravezza, a circa 35 metri s.l.m.; l’edificio si affaccia nel fronte Nord Ovest su un’ area verde di pertinenza dell’istituto scolastico, così come per il lato Sud Ovest, dove è presente anche un campo sportivo per attività all’aperto.



*Figura 44 - Scuola Pea inquadramento*

I corpi di fabbrica sono realizzati con un sistema costruttivo in calcestruzzo armato prefabbricato con pilastri a tutt’altezza 40x40 con mensole alle quali sono imbullonate le travi a T rovesce; i solai intermedio e di copertura sono realizzati con tegoli in c.a.p.<sup>26</sup> di altezza 50 cm. I tamponamenti esterni sono realizzati in pannelli di calcestruzzo alveolare di spessore 24 cm, agganciati alle travi di bordo dei solai.

Le coperture erano inizialmente piane, con un isolamento a doppio strato di sughero, guaina in PVC

---

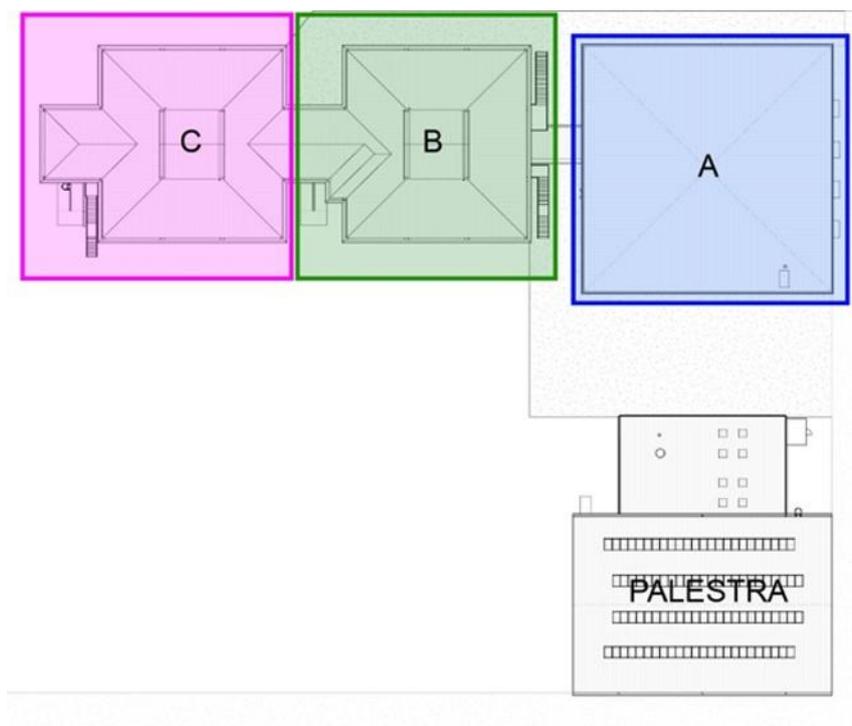
<sup>26</sup> Calcestruzzo armato precompresso.

e ghiaino di protezione; successivamente è stata installata una copertura inclinata in lamiera grecata di alluminio per ovviare ai problemi di infiltrazioni d'acqua. Il rivestimento con lamiera ha interessato anche le lanterne sopra i corpi B e C e il collegamento tra Auditorium e corpo B.

I serramenti esistenti sono realizzati con profili in alluminio e vetro singolo, in alcuni di essi sono presenti sistemi di oscuramento quali tende veneziane o tendaggi in tessuto; queste vetrate non poggiano su davanzali ma direttamente sui pannelli del tamponamento.

A chiusura dei tegoli del solaio, è presente in tutta la scuola sia negli ambienti interni che nei portici, un controsoffitto in lastre di fibra di legno tipo Celenit, con una struttura in metallo agganciata ai tegoli stessi.

Il collegamento tra i due livelli di cui si compongono i corpi B e C avviene tramite due vani scala interni, sporgenti rispetto la sagoma quadrangolare dell'edificio, tamponati con pannelli di vetro strutturale tipo U-glass; sono presenti tre scale metalliche antincendio aggiunte in epoca successiva e un ascensore interno.



*Figura 45 - Identificazione dei corpi edilizi*

I tre corpi di fabbrica sono così caratterizzati:

- Corpo A: ospita principalmente l'Auditorium ed alcune aule e locali accessori, si sviluppa ad un solo livello con un'altezza netta interna di 4,20 m, a differenza dei corpi B e C che hanno

un'altezza di 3 metri in ogni piano; questa porzione è connessa direttamente al corpo B tramite un collegamento interno, realizzato con lo stesso sistema costruttivo della struttura principale;

- **Corpo B:** costruito in un secondo momento assieme all'Auditorium, si presenta strutturalmente molto simile al corpo C, ospita anch'esso aule ed uffici appartenenti alla scuola Pea e il collegamento tra i due piani è ulteriormente facilitato dalla presenza di un ascensore interno. Entrambi i corpi edilizi hanno subito successive integrazioni rispetto al progetto originale: alla fine degli anni '90, sono stati realizzati una serie di interventi di adeguamento alla normativa antincendio tra i quali l'aggiunta di scale di sicurezza metalliche esterne ai due corpi, una parallela al vano scale del corpo C e due lungo il lato Nord Est del corpo B. All'inizio degli anni 2000, è stato installato un nuovo rivestimento in copertura con lamiera grecata in alluminio, posizionata su appositi supporti al fine di ottenere una maggiore inclinazione e garantire lo smaltimento della acqua piovane; tale intervento infatti era motivato dalla presenza di infiltrazioni d'acqua;
- **Corpo C:** rappresenta il blocco iniziale realizzato nel primo stralcio dei lavori, si sviluppa per due piani fuori terra, ospita al primo piano alcune aule per la didattica della scuola Pea mentre il piano terra, è dedicato alla scuola per l'infanzia "Carlo Collodi", dove troviamo alcune aule ed il refettorio. Il collegamento tra i due livelli è garantito da un singolo corpo scale, ubicato nella parte più stretta del blocco ed è realizzato con una struttura in calcestruzzo armato, racchiusa da un rivestimento in vetro portante U-glass. In copertura, è presente una lanterna con delle finestre a nastro che apportano luce naturale agli spazi attorno al ballatoio del piano primo.

L'accesso carrabile e pedonale principale avviene da Via Menchini sul fronte Nord Est dalla quale parte una laterale che porta direttamente all'ingresso del complesso scolastico e si ricollega a Via Catena, sul fronte Sud Ovest dell'edificio.



*Figura 46 - Il Corpo B della Scuola Pea: come si presentava il 22.02.2017*

Il complesso edilizio esaminato nel suo insieme, presenta alcune criticità significative. La bassa prestazione energetica invernale ed estiva è dovuta principalmente ai seguenti fattori:

- Pareti non isolate con forte influenza di ponti termici;
- Elevata incidenza della superficie vetrata, realizzata con componenti ad alta trasmittanza termica e fattore solare;
- Presenza di controsoffitto in continuità tra ambienti interni ed esterni (portici) e quindi veicolo di ponti termici;
- Alto livello di infiltrazione dell'aria esterna attraverso serramenti e le intercapedini create tra i pannelli del tamponamento;
- Solaio di copertura poco isolato (strato di sughero da 5 cm);
- Impianto di riscaldamento inefficiente dotato di regolazione centralizzata, radiatori con sistema di distribuzione inefficiente e centrale di produzione del calore centralizzata con caldaie tradizionali;
- Assenza dell'impianto di raffrescamento;
- Impianto di illuminazione tradizionale sprovvisto di regolazione;
- Assenza di automazione in tutto l'edificio.

Tali criticità saranno oggetto di significativo miglioramento durante l'intervento di trasformazione dell'edificio in NZEB. La riqualificazione energetica volta a ridurre i consumi energetici e migliorare il comfort per gli utenti riguarda le seguenti lavorazioni:

- Ristrutturazione dell'involucro edilizio attraverso coibentazione della copertura mediante insufflaggio di perle di EPS con grafite e legante a base acquosa, isolamento dei controsoffitti dei portici mediante feltro in lana di vetro trattata con leganti termoindurenti imbustato in un involucro di polistirene autoestinguento da posare al di sopra delle plotte;
- Sostituzione dei serramenti in alluminio esistenti con nuovi in PVC con vetrocamera ad alte prestazioni termiche;
- Isolamento integrale delle pareti esterne e la risoluzione dei principali ponti termici attraverso la realizzazione di un rivestimento termico prefabbricato con sistema a cappotto con pannelli in EPS;
- Smantellamento e sostituzione della centrale termica esistente con una nuova centrale di generazione del calore completata dall'installazione di accumuli inerziali, di un collettore primario e di pompe elettroniche di circolazione; per la distribuzione del calore è previsto l'impiego dei radiatori esistenti;
- Sostituzione integrale dell'impianto di illuminazione con sistema Led a regolazione automatica mediante sensori di presenza-luminosità;
- Applicazione di un sistema di telegestione BMS al fine di supervisionare il funzionamento degli impianti, effettuare ottimizzazioni di funzionamento ed eseguire le manutenzioni;
- Contabilizzazione dell'energia consumata/prodotta al fine di aumentare la consapevolezza degli utenti rispetto agli obiettivi di risparmio energetico prefissati.

In riferimento alla classificazione energetica del plesso scolastico la stessa è stata calcolata nella situazione ante e post intervento. Prima dell'intervento, l'edificio ricadeva in classe G con un indice della prestazione di energia non rinnovabile pari a 136,95 kWh/m<sup>2</sup>anno e una emissione di CO<sub>2</sub> pari a 27 Kg/m<sup>2</sup>anno. L'intervento di efficientamento energetico ha comportato un notevole miglioramento sia in termini di un migliore comfort abitativo sia riguardo la riduzione dei consumi e delle emissioni. Dopo l'intervento, l'edificio ricade in classe A4 NZEB con un indice della prestazione di energia non rinnovabile pari a 10,54 kWh/m<sup>2</sup>anno e una emissione di CO<sub>2</sub> pari a 2 Kg/m<sup>2</sup>anno.

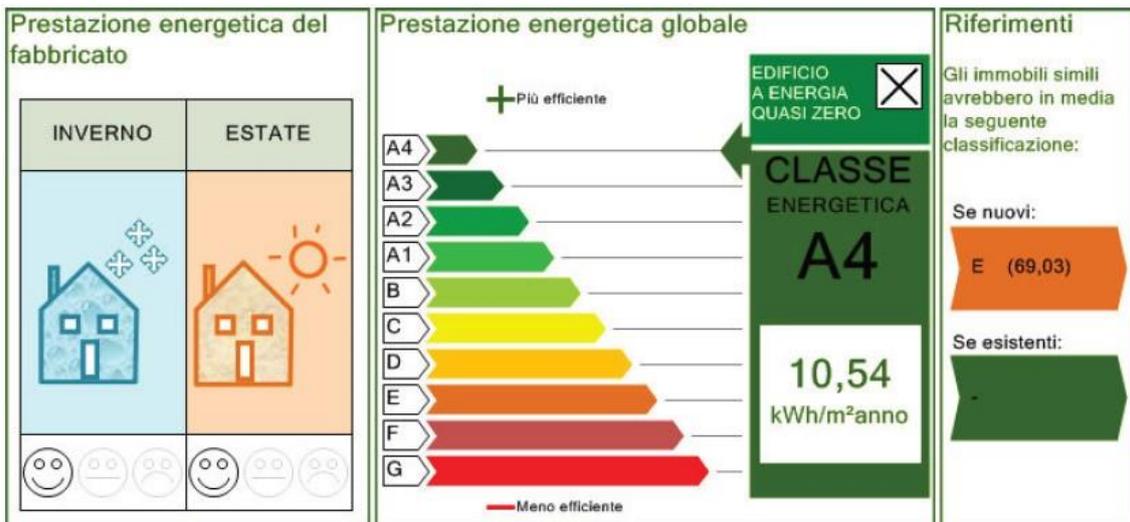


Figura 47 - Pea classe energetica post intervento

Elaborati grafici

Si riportano gli elaborati grafici dello stato ante intervento quali piante, prospetti e sezioni.

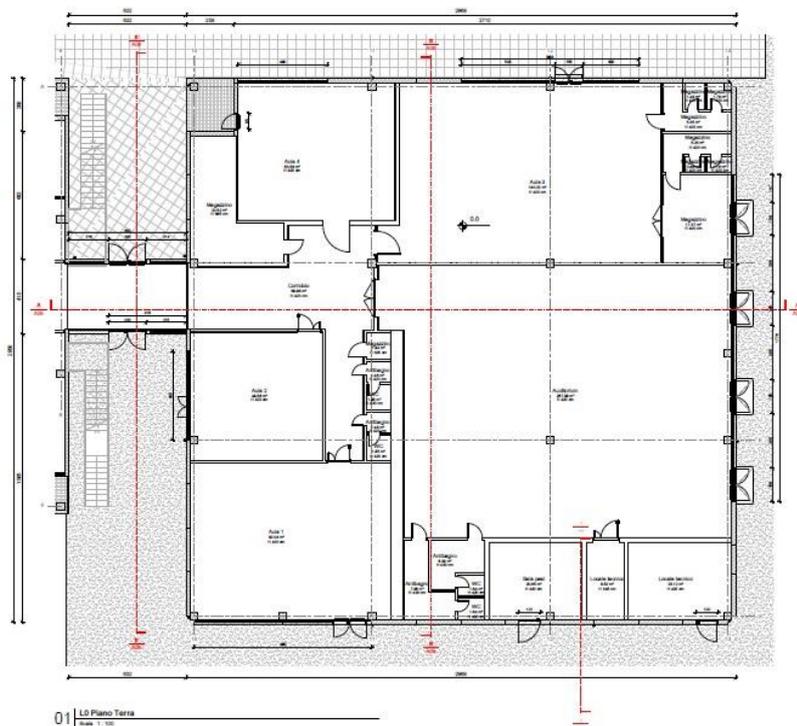


Figura 48 - Pianta corpo A

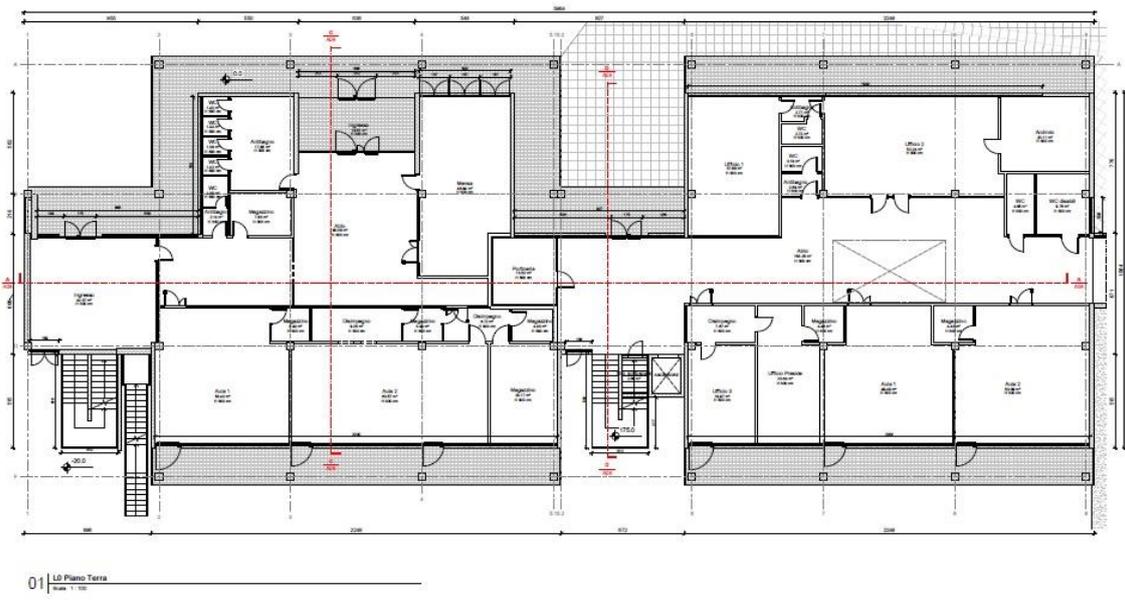


Figura 49 - Piante corpi B e C

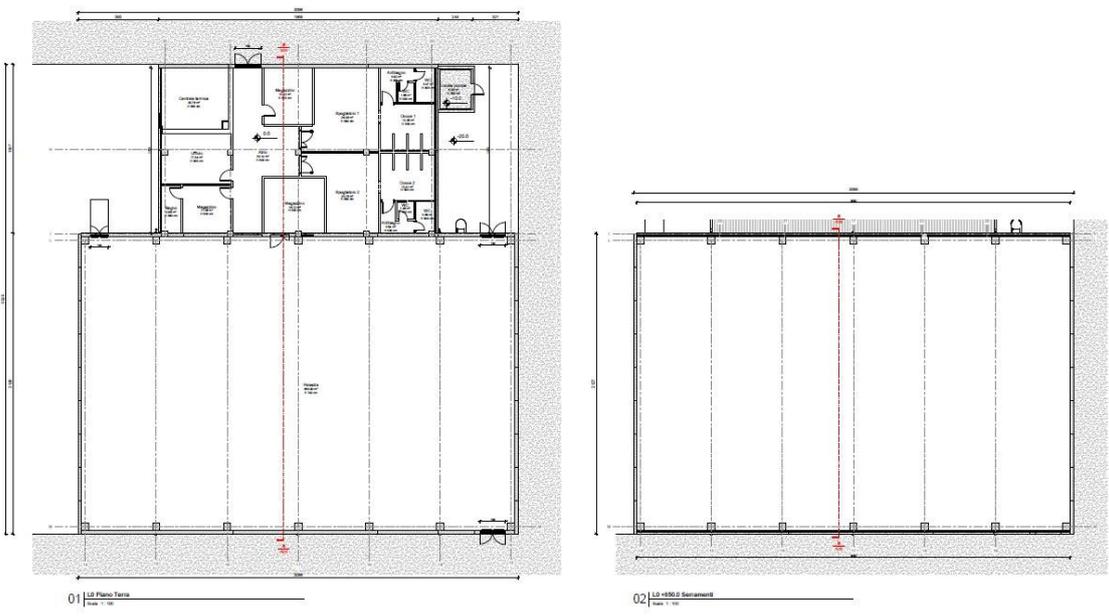
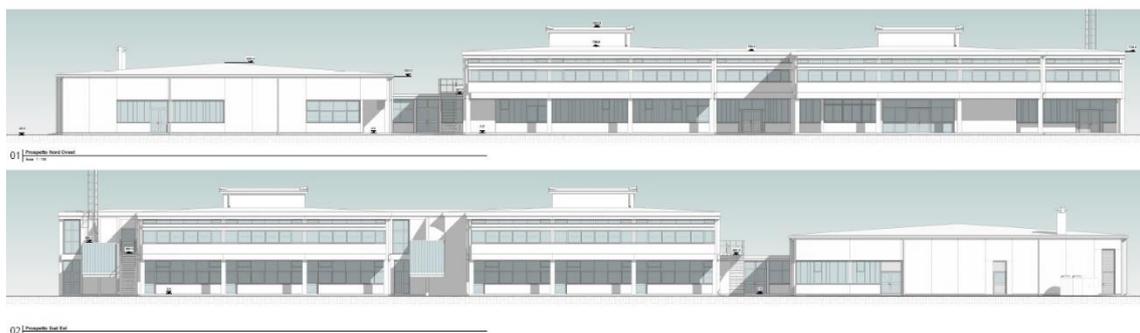
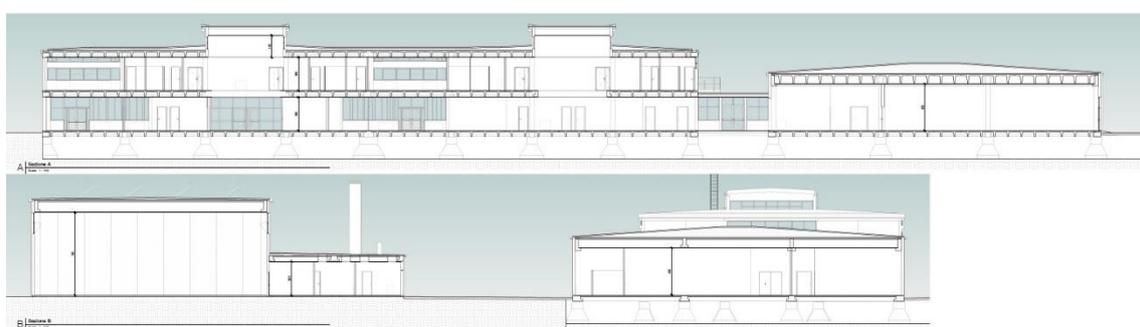


Figura 50 - Pianta palestra



*Figura 51 - Prospetti*



*Figura 52 - Sezioni*

### *Elementi prefabbricati*

La riqualificazione energetica, volta a ridurre i consumi energetici e migliorare il comfort per gli utenti, prevedeva tra gli interventi l'applicazione di un sistema di coibentazione a cappotto. Le ampie superfici dei prospetti, la regolarità delle geometrie e la presenza di una tipologia costruttiva prefabbricata hanno consentito lo studio e lo sviluppo di una nuova soluzione tecnologica per l'isolamento termico.



*Figura 53 - L'auditorium della Scuola Pea: come si presentava il 22.02.2017*

L'intero plesso scolastico è realizzato con dei tamponamenti esterni in pannelli di calcestruzzo alveolare di spessore 24 cm, agganciati alle travi di bordo dei solai. Questo sistema costruttivo prefabbricato costituito da grandi pannelli modulari montati in sequenza rappresenta un'ottima base di partenza per sviluppare una nuova soluzione di isolamento a cappotto caratterizzata anch'essa da elementi prefabbricati e modulari.

## 6. PROGETTO DI RICERCA

### SCAN TO BIM

In questo capitolo si intende descrivere come eseguire il rilievo, quali dati raccogliere, dove archivarli e come creare la nuvola di punti. Viene poi descritto come realizzare il modello digitale e come verificare la sua accuratezza metrica.

#### Rilievo

Il rilievo, fase fondamentale nel percorso conoscitivo dell'edificio, permette di analizzare lo stato dei manufatti e di valutarne eventuali criticità. La raccolta delle informazioni dev'essere dettagliata, di tipo sia quantitativo che qualitativo, referenziata e univoca poiché condiziona la corretta pianificazione dell'intervento.

Il processo Scan to BIM comporta un passaggio dalla bidimensionalità del rilievo tradizionale alla tridimensionalità di un rilievo reso possibile dall' introduzione di tecnologie che permettono la creazione di modelli digitali BIM. Grazie a questi strumenti il modello geometrico di riferimento diventa tridimensionale; all'interno della nuvola di punti<sup>27</sup> ogni singolo punto è identificato dalla sua posizione spaziale, espressa in coordinate rispetto a un punto di origine che coincide con la posizione dello strumento utilizzato per il rilievo. Il risultato è un modello digitale dell'oggetto, discretizzato in milioni di punti con caratteristiche numeriche differenti, che rappresenta la base di partenza negli interventi di riqualificazione e restauro che sono quelli a trarre maggiore vantaggio da tale metodologia di rilievo.

L'innovazione tecnologica che coinvolge il settore AEC, ha consentito di sviluppare nuove metodologie di rilievo. In riferimento alla normativa sulle opere pubbliche, la UNI 11337, risulta imprescindibile l'aggiornamento delle tecniche di documentazione del patrimonio.

#### Scan to HBIM

Si è compreso come l'utilizzo del BIM, che nasce per la progettazione ex-novo, applicato al patrimonio esistente esprima ugualmente grandi potenzialità. Quando la progettazione BIM è applicata sul patrimonio storico/artistico esistente diventa HBIM, questo concetto nasce nel 2009

---

<sup>27</sup> La nuvola di punti è un insieme di punti nello spazio ognuno dei quali definiti nella loro posizione secondo gli assi X, Y, Z in un determinato sistema di coordinate

come sistema per modellare le strutture storiche. La modellazione viene quindi anteceduta dal rilievo, che in questo caso è solitamente un rilievo 3D (laser scanner e/o fotogrammetria). I principali scenari applicativi dell'HBIM rientrano nell'ambito dei beni culturali e del patrimonio storico. Questo processo comporta molteplici vantaggi: aumenta la conoscenza del patrimonio e permette la digitalizzazione ed il catalogo in un database unico. Inoltre, la modellazione del patrimonio esistente può essere utilizzata per tour virtuali, per la progettazione di interventi di restauro, per la pianificazione di attività di manutenzione, per un'analisi strutturale ed energetica, per una gestione del monumento e una mappatura del degrado.

Il punto di partenza nel processo Scan to HBIM è il rilievo che deve essere un rilievo 3D, questo è richiesto quando è necessaria la conoscenza dello stato di fatto (As Built). Nel processo BIM la demolizione non è prevista, si considera invece un ciclo di vita continuo dell'edificio, c'è un rinnovo. Il rilievo nel processo BIM è presente anche come monitoraggio dell'avanzamento dei lavori e come As Built post intervento ovvero come controllo della rispondenza al progetto. Il processo Scan to HBIM può essere sinteticamente riassunto nei seguenti passaggi:

- rilievo 3D tramite laser scanning e/o fotogrammetria;
- modello a nuvola di punti;
- classificazione semantica degli elementi e costruzione del modello HBIM con contestuale costruzione del database informativo.

Il rilievo 3D può avvenire tramite Laser scanning (sensori attivi) o con fotogrammetria (sensori passivi) oppure con integrazione delle due tecniche. Questo processo presenta alcune criticità: l'edificio esistente può presentare deformazioni e irregolarità, mentre se si tratta di edificio storico, questo può presentare geometrie uniche e complesse. Bisogna realizzare una modellazione 3D ex-novo quindi creare nuove famiglie e questo spesso comporta una problematica di interoperabilità. La classificazione semantica risulta molto complicata, l'elemento geometrico può non coincidere con il materiale o con la tecnologia costruttiva. Il BIM presuppone la creazione di elementi parametrici che possono essere modificati geometricamente senza perdere altre proprietà, ed intelligenti che sono relazionati e vincolati ad altri oggetti host (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2016).

#### Accuratezza della misura

Sono sempre più diffuse soluzioni integrate e semi-automatiche per il rilievo metrico 3D che consentono di produrre con facilità dei modelli digitali fruibili su diverse applicazioni. Queste soluzioni rischiano di sminuire, da un punto di vista metrologico, l'accuratezza del contenuto metrico

e descrittivo, requisito fondamentale del rilievo metrico. Tali caratteristiche qualitative sono fondamentali per restituire un modello geometrico accurato e idoneo alle diverse esigenze di verifica e analisi del bene rilevato. La precisione del modello geometrico è indispensabile per le verifiche strutturali, analisi di resilienza, progettazione di interventi per la conservazione, il restauro e la riqualificazione di beni ambientali e di interesse culturale.

Ogni misura di una grandezza fisica può essere affetta da errori di tipo grossolani, sistematici e accidentali. Gli errori grossolani (disattenzioni, incapacità del misuratore nell'utilizzo corretto degli strumenti, ecc.) e gli errori sistematici (strumenti non correttamente tarati, ecc.) possono e devono essere eliminati. Restano invece non eliminabili gli errori accidentali che non hanno causa ed entità stimabili.

La stima della precisione è possibile solo quando la misura viene ripetuta un numero sufficiente di volte. Nel caso in cui la misura viene eseguita una sola volta, come nel caso dei laser scanner, come parametro della precisione si tende ad assumere quella dichiarata dallo strumento, la precisione strumentale. La precisione delle misure eseguite, pertanto, dipende sia dalla qualità dello strumento utilizzato che dalle abilità dell'operatore che deve essere in grado di utilizzare correttamente lo strumento di misura.

Nella fotogrammetria digitale automatica, le nuvole di punti vengono generate partendo dalle coordinate delle immagini di tali punti acquisite da punti di vista diversi. I software utilizzati a tale scopo richiedono sempre almeno tre immagini per ognuno dei punti da determinare e quindi grandi ricoprimenti tra immagini adiacenti. È possibile considerare che la massima precisione sia 0.3 mm per ogni metro di distanza di presa (a 10 m di distanza posso avere la precisione di 3 mm).

Nelle tecniche laser scanner invece ogni punto viene misurato con il minimo numero di misure possibili e quindi occorre conoscere la precisione con cui vengono misurati i due angoli e la distanza che poi vengono convertiti in coordinate. Anche in questo caso la precisione decade con l'aumentare della distanza di acquisizione. Negli strumenti utilizzati per il rilievo metrico di edifici si può ragionevolmente ipotizzare di avere una precisione nelle tre coordinate pari a 5 mm con distanze di acquisizione di circa 50 m.

In entrambi i casi la densità della nuvola di punti non è un indice di maggiore o minore precisione ma solo di maggior dettaglio.

La conoscenza della precisione non è però sufficiente per certificare la qualità metrica delle misure, occorre introdurre il concetto di accuratezza delle misure ossia della loro reale differenza rispetto all'oggetto rilevato. La verifica dell'accuratezza delle misure viene effettuata utilizzando punti di

coordinate note che non sono state utilizzate durante il processamento delle misure. Confrontando tali grandezze con quelle desumibili dalle misure eseguite si ottiene la vera e corretta valutazione del rilievo eseguito e dei suoi limiti di utilizzo.

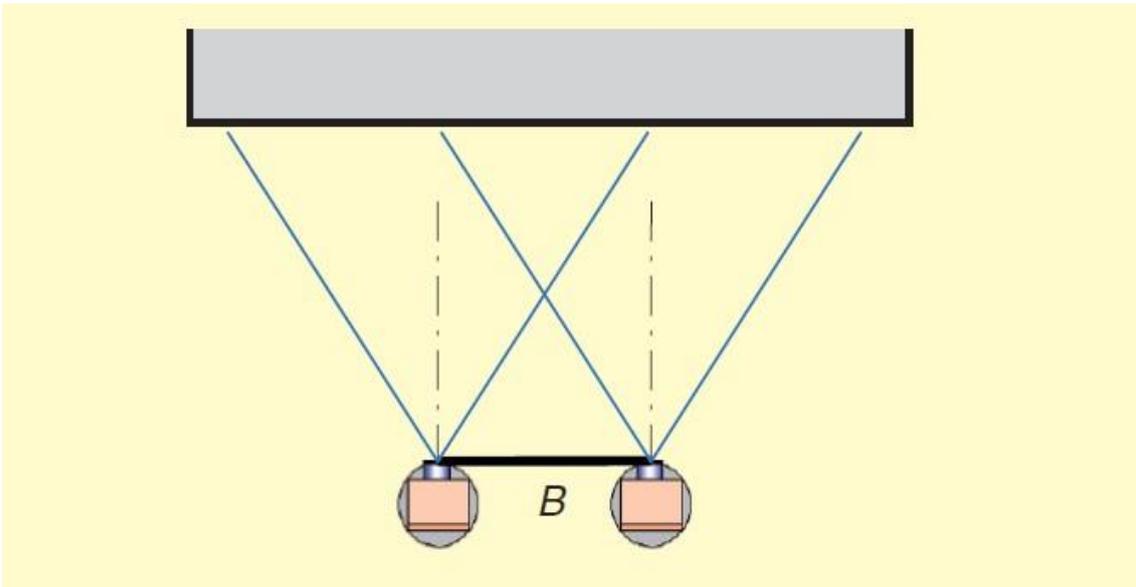
Il rilievo dell'architettura è la raccolta e l'elaborazione di tutte le informazioni necessarie e sufficienti a consentire la conoscenza di un'opera e di un contesto. Il carattere di unicità, complessità e di originalità di un manufatto e del suo contesto, non permette l'articolata scomposizione delle operazioni di rilievo in parti definibili separatamente. Occorre pertanto utilizzare un metodo iterativo che porti dal rilevamento alla modellazione integrando volta per volta tutte le attività del rilievo. Ne consegue che spesso le informazioni raccolte sono di carattere soggettivo poiché basate sull'esperienza diretta del tecnico rilevatore. La conoscenza del patrimonio costruito non può fermarsi solamente alle parti visibili o alla diagnosi dei fenomeni solo visibili in superficie, è essenziale spingersi oltre il dato numerico che descrive in maniera indistinta la superficie. La principale difficoltà per garantire lo stesso livello di affidabilità per tutti i dati in un modello HBIM deriva dall'impossibilità di rilevare gli elementi non visibili.

#### La fotogrammetria

La fotogrammetria è quella tecnica che consente di definire la posizione, la forma e le dimensioni degli oggetti sul terreno, utilizzando le informazioni contenute in opportune immagini fotografiche degli stessi oggetti, riprese da punti diversi (Cannarozzo, Cucchiarini, & Meschieri, 2012).

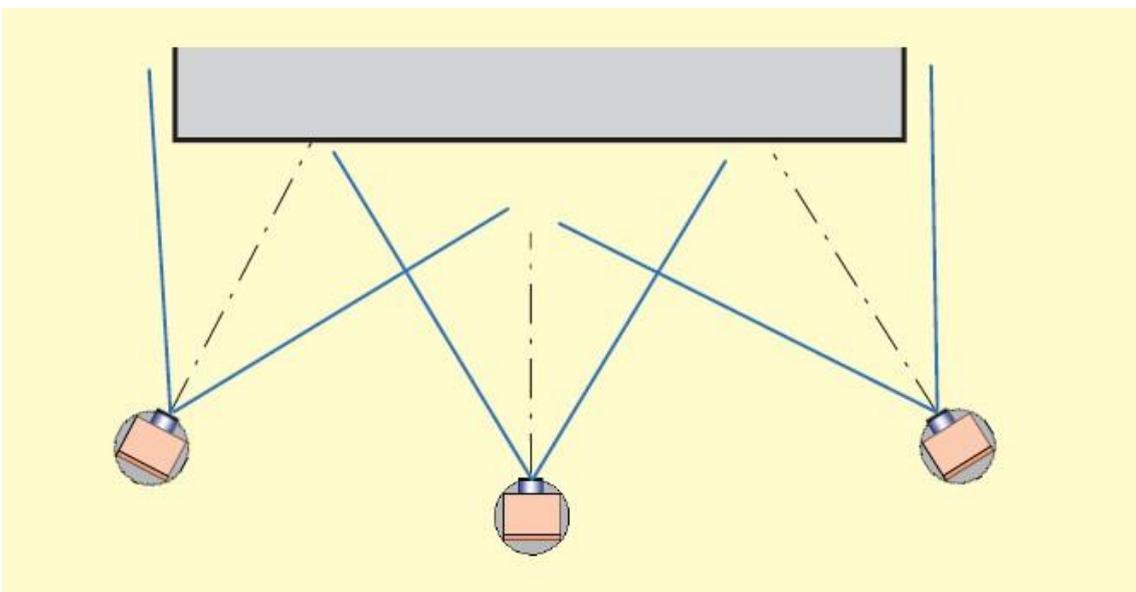
L'immagine è suddivisa in Metadati (Exif), Pixel (RGB) e Chiusura. I Pixel esprimono il valore radiometrico, la qualità dell'immagine invece è data dal numero di pixel (dimensione) e dalla dimensione dei pixel (risoluzione). Ogni pixel è composto da tre bite RGB, i valori RGB variano da 0 a 255.

La fotogrammetria terrestre è impiegata prevalentemente per il rilievo di monumenti e di edifici; il rilievo fotogrammetrico si sviluppa in tre fasi temporali: la presa, l'orientamento e la restituzione. Esistono due modalità di schemi di prese: la strisciata fotogrammetria e le prese radiali. La strisciata fotogrammetrica necessita di una sovrapposizione di almeno il 60% tra le foto e di almeno il 20% tra le strisciate.



*Figura 54 - Schema della presa stereoscopica nella fotogrammetria tradizionale (presa normale)*

Le prese radiali vengono utilizzate solitamente per gli oggetti isolati, queste avvengono muovendosi circolarmente attorno all'oggetto e con gli assi delle camere convergenti.



*Figura 55 - Schema della presa non stereoscopica nella fotogrammetria non convenzionale (presa convergente)*

Per gli edifici viene comunemente utilizzata la tecnica della strisciata fotogrammetrica, per risolvere gli angoli è possibile utilizzare una presa radiale oppure una strisciata inclinata di  $45^\circ$ . Quando queste due tecniche vengono utilizzate assieme si parla di contaminazione. Per una corretta fotogrammetria degli spazi interni, si utilizza la strisciata nelle pareti e la presa radiale per gli angoli. Fotogrammetria

significa fotografare da punti differenti, non è possibile stare fermi in un punto e ruotare senza spostamento.

L'operazione di orientamento si può suddividere in fasi successive: l'orientamento interno nel quale avviene la ricostruzione delle stelle proiettive, l'orientamento relativo nel quale si accoppiano i raggi omologhi dando luogo al modello e l'orientamento assoluto nel quale mediante opportune rototraslazioni con variazioni di scala si trasformano le necessarie coordinate modello in coordinate terreno. Le fasi di orientamento relativo e assoluto possono avvenire contemporaneamente in tal caso si parla di orientamento esterno del modello (Guerra, 2013).

La misurazione all'interno dei modelli orientati avviene nella fase di restituzione; gli strumenti che permettono l'orientamento e la successiva restituzione sono i restitutori e si distinguono in tre categorie: gli analogici, gli analitici e i digitali. La restituzione digitale si concretizza nella nuvola di punti densa, Dense Cloud.

In fase di acquisizione delle immagini, al fine di un risultato ottimale, è necessario rispettare alcune indicazioni: utilizzare focali corte (grandangolari) e sempre la stessa focale (no zoom); ogni focale necessita di una sua specifica calibrazione; tenere tempi di esposizione veloci, anche maggiori di 250 millesimi di secondo; il diaframma non deve essere troppo aperto, impostato sul valore 11 o massimo 16; valori ISO fissi compresi tra 100 e 200. Infine, è sempre raccomandato scattare foto ferme e nitide utilizzando un cavalletto ed effettuando il rilievo in condizioni meteorologiche idonee quindi senza ombre e con esposizione costante.

Soluzioni regolari (strisciata e prese radiali) generano dei sistematismi. Questa problematica si verifica quando non si utilizzano i punti di ancoraggio e quando non si applicano dei correttivi. Per evitare i sistematismi si possono inserire nel rilievo delle fotografie convergenti e divergenti in modo da poter avere delle immagini dell'edificio nel suo intero. Altra soluzione è utilizzare dei punti d'appoggio come in topografia.

### [Il laser scanner](#)

Si considerano scanner 3D tutti gli strumenti capaci di acquisire, in modo sistematico, automatico e ad alta velocità, le coordinate spaziali della superficie di un oggetto. La proiezione di un raggio o di un fascio di luce sull'oggetto e l'analisi del segnale di ritorno rappresentano il principio base che riassume le differenti tipologie di laser scanner. È la fase di analisi del segnale di ritorno che determina la differenza tra i diversi principi operativi dei laser scanner; la distanza tra oggetto e trasmettitore può essere calcolata sulla base di due diverse metodologie. Un metodo consiste nel

determinare il Time of Fly (TOF) ossia il tempo che impiega il segnale emesso a ritornare allo strumento:  $Distanza = (\text{tempo di volo} \times \text{velocità della luce}) / 2$ . Un secondo metodo prevede di comparare la fase del segnale emesso rispetto a quello ricevuto; altre tipologie di scanner si basano sul principio della triangolazione del segnale.

L'acquisizione avviene seguendo dei criteri specifici di organizzazione dei dati raccolti, il metodo è analogo a quello degli strumenti di scansione tradizionali per questo motivo il laser viene definito "scanner". Questi criteri differiscono nella velocità d'acquisizione, nella capacità di operare in modo automatico e sistemico e nell'accessibilità dei dati in tempo reale. Alcuni laser scanner integrano i dati con il valore della riflettanza, oltre alle coordinate spaziali; questa indica la proporzione di luce incidente che una data superficie è in grado di riflettere. Ha quindi un significato fisico ben preciso, ed il suo valore è legato alle caratteristiche del materiale di cui è costituita la superficie scandita.

I laser scanner disponibili sul mercato si differenziano nelle modalità di acquisizione, nella risoluzione della nuvola, nelle accuratezze di misura e nella distanza. Ad oggi tutte queste esigenze non possono essere soddisfatte contemporaneamente da un unico strumento; la scelta dello scanner deve considerare le specifiche esigenze di utilizzo sulla base delle seguenti caratteristiche:

- accuratezza;
- velocità di acquisizione;
- range di misura;
- lunghezza d'onda del segnale in base alle possibili sorgenti di rumore esterno (luce solare, umidità) e delle caratteristiche di riflettività delle superfici esterne;
- campo visivo dello strumento;
- dotazione di camere digitali interne o esterne;
- facilità di trasporto;
- tipo di alimentazione;
- qualità del software d'acquisizione.

## Point cloud

Una nuvola di punti può essere definita come una rappresentazione tridimensionale di un oggetto fisico reale. La nuvola di punti, in inglese “point cloud”, è composta da milioni di punti non collegati tra loro e definiti da coordinate geometriche univoche; i punti contengono informazioni sul colore della superficie. Tra i metodi migliori per l’acquisizione dei dati vi è la tecnica del rilievo 3D la quale consente la raccolta di tutte le informazioni geometriche e cromatiche dell’oggetto.

La nuvola di punti è il risultato, attraverso dei software specifici, dell’elaborazione del set di foto di un rilievo fotogrammetrico o dalla scansione con laser scanner; rappresenta un modello 3D dell’ambiente rilevato.

I modelli realizzati con laser scanner si avvicinano molto a quello che viene definito un modello continuo, in cui l’interdistanza tra i punti, se paragonata alla dimensione dell’oggetto rilevato è tutt’al più trascurabile. Di conseguenza è possibile apprezzare l’effetto “nuvola”, ovvero la densità dei punti. Esistono diversi software per la creazione e la gestione delle nuvole di punti, alcuni specifici per le sole rilevazioni laser scanner, altri che comprendono anche i rilievi fotogrammetrici sono detti “structure from motion”.

La completa visibilità e accessibilità alle superfici da rilevare è fondamentale al fine di ottenere un ricoprimento completo, così come la combinazione di differenti posizioni di scansione consentono di generare una nuvola di punti completa e realistica dell’ambiente rilevato.

Tutte le scansioni e/o fotografie realizzate vengono unite attraverso il processo di allineamento che consente di associare e sovrapporre le differenti nuvole di punti così da ottenere un unico modello coerente con la realtà. Quando si devono rilevare delle superfici complesse, ricche di dettagli o con piani sfalsati, la creazione della nuvola può generare dei punti sparpagliati, discontinui ed esterni al modello. Questi punti definiti “disturbo” non appartengono al modello e devono pertanto essere eliminati così da ottenere una nuvola pulita ed evitare incongruenze in fase di progettazione. I software di creazione e gestione delle nuvole permettono di eliminare i punti di disturbo attraverso dei sistemi di rilevamento automatico oppure con la selezione manuale. Una volta eliminati i punti di disturbo, è possibile esportare la nuvola pulita in diversi formati compatibili con i programmi di modellazione; questa, infatti, rappresenta la base grafica per la modellazione parametrica BIM.

## Pulire una nuvola di punti

Il rilievo 3D consente di acquisire dati tridimensionali con un’altissima densità di informazioni; ne consegue che i software di creazione della nuvola elaborano e generano accidentalmente dei punti

che non appartengono all'edificio oggetto del rilievo. È quindi opportuno rimuovere questi punti superflui attraverso un'operazione di "pulizia" che consente di rimuovere le parti in eccedenza che non appartengono alla superficie effettiva del rilievo.

Sono diversi i motivi per i quali questi punti vengono generati, alcuni di questi sono:

- nessun utilizzo di filtri in fase di generazione;
- bassa qualità di elaborazione della nuvola densa;
- elementi complessi con oggetti disposti su piani sfalsati;
- condizioni particolari di luce durante la presa grafica.

Ulteriore fattore di disturbo della nuvola è dato dalla presenza di punti doppi, generati dal principio passivo dell'elaborazione fotogrammetrica; questi sono punti distinti ma con le stesse coordinate (x,y,z). Si tratta di punti sovrapposti che appesantiscono il modello senza dare nessuna informazione aggiuntiva. L'utilizzo dei laser scanner sopperisce in parte a questa problematica essendo il principio di misura attivo meno soggetto alla creazione di rumore e punti doppi.

La pulizia della nuvola può avvenire con degli strumenti automatici che ne consentono l'editing ottenendo un modello pulito e coerente con la realtà dell'oggetto. Questi applicativi si basano su regole di calcolo che determinano la superficialità di un punto in base alla sua distanza dai punti limitrofi; quando un punto risulta troppo "isolato" significa che non appartiene alla superficie dell'oggetto e pertanto verrà eliminato. La stessa operazione di pulizia può essere eseguita selezionando per micro aree i punti che vengono reputati superflui ed eliminati manualmente.

## Modellazione dello stato di fatto

Terminata la fase di rilievo le informazioni devono essere correttamente inserite all'interno del modello BIM. Mentre tutto il patrimonio informativo legato alla gestione dello storico viene inserito in un database associato al modello, i dati e le caratteristiche intrinseche dell'edificio vengono inserite come parametri degli oggetti che costituiscono il modello. La costruzione del modello BIM si compone di due fasi: la modellazione tridimensionale e la parametrizzazione degli oggetti.

La fase di modellazione tridimensionale ricrea, virtualmente, l'oggetto edilizio e tutte le sue componenti così come rilevate. In questo contesto è molto utile identificare gli elementi spaziali e tecnologici costituenti l'edificio. Il modello BIM diventa la copia, semplificata ma fedele, del fabbricato. Per la modellazione degli elementi componenti l'edificio generalmente viene creato un primo modello strutturale all'interno del quale vengono inserite le componenti architettoniche ed impiantistiche. Il telaio di travi e pilastri fa da riferimento per il successivo inserimento di elementi architettonici, come pareti e solai, che a loro volta permettono l'inserimento di quelli impiantistici, come canali di ventilazione o terminali.

Il livello di dettaglio della modellazione degli edifici esistenti rispetto all'oggetto di intervento dipende dalle finalità e dalle risorse messe in gioco. È possibile realizzare in una prima fase dei modelli più semplificati per fare delle analisi meno approfondite e poi affinare la modellazione e il livello di dettaglio informativo per studiare più a fondo il comportamento dell'edificio e le soluzioni progettuali.

La fase di parametrizzazione consiste nella sistematizzazione delle informazioni raccolte all'interno del modello virtuale: il modello tridimensionale diventa quindi BIM, ovvero è in grado di gestire l'intero sistema informativo. Ad ogni elemento vengono associati i dati rilevati e le caratteristiche dell'oggetto nelle condizioni dello stato di fatto. Questa operazione viene fatta per discipline: elementi architettonici, strutturali ed impiantistici. Per ogni elemento vengono infatti definiti i set di parametri da associare agli elementi tecnici e alle unità ambientali, in relazione al contenuto informativo scelto.

## Plug-in di modellazione

La modellazione dalla nuvola di punti può avvenire con la modellazione semi-automatica attraverso l'utilizzo di tools di modellazione e la modellazione manuale che rappresenta la scelta appropriata nel caso di oggetti complessi. In ambiente BIM il riconoscimento degli oggetti avviene tramite l'identificazione e l'estrazione delle informazioni semantiche e delle relazioni. Esistono diversi tools

e metodi per il riconoscimento dell'oggetto che si differenziano sulla base del livello di dettaglio richiesto, la complessità geometrica dell'edificio, il tempo di processamento e la tecnica di cattura. Oggigiorno sono disponibili molteplici metodi supportati da algoritmi di calcolo che agevolano la modellazione (Chiabrando, Sammartano, & Spano, 2016).

La modellazione automatica a partire dalle geometrie della nuvola è possibile grazie all'utilizzo di plug-in che utilizzano specifici algoritmi di riconoscimento. Questi plug-in consentono il riconoscimento automatico o semi-automatico degli elementi descritti dalla nuvola di punti modellando quell'elemento di conseguenza: muri, finestre, tetti e solai così da creare la geometria generale dell'edificio in maniera speditiva.

Il modello generato attraverso la modellazione semi-automatica necessita di essere valutato in merito alla sua accuratezza e al suo grado di sviluppo. A tale proposito sono stati introdotti i Grades of Generation (GOG) e i Grades of Accuracy (GOA).

I livelli GOG indicano il grado di sviluppo del modello generato con metodo semi automatico dalla nuvola di punti, mentre i livelli GOA identificano il grado di accuratezza del modello.

L'applicazione dei GOG consente la generazione corretta di ogni singolo elemento architettonico in base ai requisiti del progetto. Attraverso questi ulteriori metri di giudizio, è possibile affidarsi alla modellazione semi-automatica dalla nuvola di punti (Matrone, 2018).

### Modellazione HBIM

Il nostro paese possiede un elevato numero di edifici di altissimo valore storico, architettonico e monumentale. Per questo motivo l'HBIM, che riguarda il patrimonio esistente, risulta essere una disciplina con un enorme potenziale consentendo di creare modelli digitali che raccolgono tutte le informazioni relative all'edificio. questi modelli rappresentano un importante strumento per il restauro, la gestione, la manutenzione e la conservazione del patrimonio edilizio.

Un processo fondamentale è il monitoraggio del ciclo di vita dell'edificio, per questo la riqualificazione degli edifici è sempre più connessa con la gestione delle informazioni che permettono di coordinare in modo efficiente l'uso e la manutenzione. L'obiettivo dell'HBIM è quello di ottenere un modello informativo, sia da un punto di vista geometrico tridimensionale che materico quantitativo, identico all'edificio nel suo stato conservativo attuale. Nel modello generato sarà possibile pianificare le attività di manutenzione garantendo accuratezza, precisione e qualità di rappresentazione coerenti con l'edificio reale.

L'HBIM è un modello geometrico al quale viene associata una banca dati esterna. Da un punto di

vista metrico (o geometrico) un modello 3D è un insieme di superfici connesse in modo tale da delimitare gli spazi pieni e vuoti che caratterizzano l'oggetto del rilievo. Il modello 3D deriva da un oggetto esistente sottoposto ad una operazione di misurazione, oltre alle informazioni geometriche si possono associare informazioni semantiche.

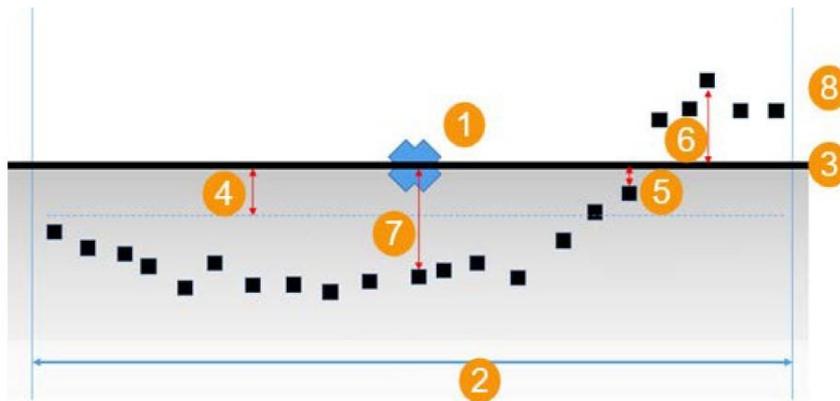
Nel modello 3D si distinguono elementi geometrici ed entità di modello, quest'ultime vengono utilizzate nei modelli HBIM per associare le informazioni. Gli elementi geometrici derivano dalle operazioni di misura. Le entità di modello derivano dalle operazioni di segmentazioni e modellazione che seguono le operazioni di misura delle coordinate dei punti. Le entità di modello nel HBIM rappresentano le banche dati di informazioni e raccolgono tutte le informazioni semantiche di quell'elemento (tipologia, colore, modello, materiale ecc.). Il Modello 3D è l'unione del contenuto metrico con il contenuto semantico e nasce da un'operazione di misura di coordinate di punti a partire dai quali, con le successive fasi di segmentazione e modellazione si giunge al risultato finale. Applicare il processo BIM al patrimonio storico è una sfida sia per quanto riguarda la realizzazione dei modelli 3D che per quanto riguarda la gestione delle attività da condurre sull'edificio stesso. Nell'HBIM, la costruzione del modello parte dal rilievo e non dalla progettazione. Il modello informativo dev'essere costantemente arricchito con dati, non solo geometrici, quali analisi del degrado e dei materiali e notizie storiche.

## Accuratezza del modello

Una volta eseguito il modello, è possibile valutarne l'accuratezza attraverso la verifica dello scostamento metrico. Il confronto viene condotto valutando la deviazione delle geometrie costruite nel modello dalla nuvola di punti utilizzata come dato di riferimento. Nello specifico, vengono misurate e categorizzate tutte le distanze che intercorrono tra le superfici del modello e i punti della nuvola. Il risultato è una restituzione grafica che caratterizza le superfici colorandole in base alla distanza tra i punti rilevati e quelli del modello, ossia indicando se un punto coincide con la data superficie oppure se si discosta in positivo o in negativo. La verifica dello scostamento permette di verificare l'accuratezza della modellazione geometrica evidenziando le irregolarità dell'edificio come elementi fuori piano o muri strapiombanti.

Esistono diversi tools e plug-in che permettono di condurre questa verifica. Come prima operazione viene misurata la deviazione dalla superficie del modello alla nuvola di punti caricata, vengono quindi visualizzati i risultati sotto forma di immagini a colori in ciascuna delle rispettive superfici. Per questa verifica è possibile impostare la dimensione media della griglia che definisce l'altezza e la larghezza di ogni cella della griglia e la distanza massima dalla superficie che definisce il corridoio intorno alla superficie in cui punti della nuvola devono essere presi in considerazione per l'analisi della deviazione.

Di default come valore predefinito viene visualizzato il valore medio ossia la deviazione media della nuvola di punti, in totale è possibile visualizzare quattro valori di analisi: Valore medio, indica la distanza media tra tutti i punti della nuvola di punti in una data cella; Valore minimo, indica la deviazione minima assoluta all'interno della cella della griglia, i valori positivi si trovano all'esterno del componente mentre i valori negativi si trovano all'interno; Valore massimo, indica la deviazione massima assoluta all'interno della cella della griglia, i valori positivi si trovano all'esterno del componente mentre i valori negativi si trovano all'interno; Valore più vicino, indica la distanza tra il centro della cella della griglia e il punto più vicino al centro quando questo è proiettato su una superficie.



*Illustrazione dei valori*

1	Centro della cella della griglia
2	Larghezza cella
3	Taglio superficie
4	<b>Valore medio:</b> distanza media tra tutti i punti della nuvola di punti in questa cella.
5	<b>Valore minimo:</b> deviazione minima assoluta all'interno della cella della griglia. I valori positivi si trovano all'esterno del componente, i valori negativi all'interno.
6	<b>Valore massimo:</b> deviazione massima assoluta all'interno della cella della griglia. I valori positivi si trovano all'esterno del componente, i valori negativi all'interno.
7	<b>Valore più vicino:</b> distanza tra il centro della cella della griglia e il punto più vicino al centro, quando proiettato su una superficie.
8	Punti della nuvola di punti: correlato a <b>Numero punti</b> , numero totale di punti nella cella.

*Figura 56 - Schema dei valori per il calcolo dello scostamento metrico*

Oltre allo stile standard della deviazione della nuvola di punti è possibile creare uno stile per la visualizzazione delle deviazioni secondo il livello di accuratezza LOA, definito da USIBD. Lo stile USIBD LOA 20-50 colora le aree selezionate con lo schema di colori definito che va da rosso a verde, le aree verdi si trovano dentro la tolleranza definita dal LOA mentre le aree rosse sono fuori dalla tolleranza.



Level Of Accuracy (LOA) Ranges  
for Represented Accuracy

-  LOA 50 (0 mm - 1 mm)
-  LOA 40 (1 mm - 5 mm)
-  LOA 30 (5 mm - 15 mm)
-  LOA 20 (15 mm - 50 mm)
-  LOA 10 (> 50 mm)

*Figura 57 - Legenda USIBD*

lo stile area USIBD LOA visualizza ogni livello di accuratezza secondo una differente gradazione di colore dal rosso al verde.

## Interoperabilità

La presenza di informazioni di diversa tipologia introduce il concetto di interoperabilità ossia di condivisione e fruizione di tutte le informazioni contenute nel modello BIM tra tutte le figure che concorrono alla realizzazione del prodotto finito. Il concetto di collaborazione risulta essere parte fondamentale del processo edilizio, dove l'industria 4.0 diventa sinonimo di un cambiamento radicale che abbandona l'individualismo tra i progettisti per passare ad un nuovo rapporto basato sull'integrazione collaborativa. Il BIM non è un'applicazione software ma un sistema, basato sulle informazioni, che crea un valore a lungo termine e promuove l'innovazione (Jernigan, 2007).

In ciascuna delle fasi che concorrono alla realizzazione dell'intervento come rilievo, digitalizzazione e progettazione si è dimostrata di fondamentale importanza la condivisione del dato. Questo concetto comporta una duplice necessità, quella di avere un dato univoco quindi delle informazioni standardizzate, e di avere uno spazio di archiviazione e condivisione dinamico e accessibile trasversalmente. La digitalizzazione dell'edificio in modello 3D non è più una semplice rappresentazione grafica ma diventa un database di informazioni di tipo quantitativo e qualitativo che considera tempistiche, costi, sostenibilità e facility management.

Per ottenere un dialogo collaborativo, le informazioni devono essere universali e decifrabili in maniera univoca, per questo esistono dei formati di esportazione del modello che consentono la stessa lettura del dato tramite applicazioni differenti senza perdita o distorsione delle informazioni.

Tutte queste specificazioni introducono la complessità e le potenzialità della progettazione BIM che si esprimono ulteriormente attraverso il concetto di interoperabilità che rappresenta un processo collaborativo, uno scambio di dati. Viene considerata sia l'interoperabilità tra software che tra discipline ovvero tra i diversi professionisti che collaborano alla realizzazione del progetto. Questo processo di collaborazione richiede diversi requisiti: un workflow aperto dove tutti gli attori del processo possono partecipare senza limitazioni ed un linguaggio comune che si traduce in specifici formati di interscambio.

Una grande potenzialità della modellazione in BIM è la possibilità di organizzare le informazioni tramite un database che permette di ottimizzare la gestione, la manutenzione e la tutela dell'opera costruita e di pianificare gli interventi di restauro. I dati inseriti nel modello possono essere esportati sottoforma di abachi e consultati utilizzando diversi programmi. A partire dagli elementi del modello e dai relativi dati si possono sempre associare informazioni esterne. Esistono diversi modi per associare le informazioni, queste possono essere attribuite alle famiglie o alle masse cioè a dei

modelli generici che hanno la funzione di contenitori di informazioni.

Si possono aggiungere alle famiglie o ai progetti delle informazioni e dei parametri che non fanno parte della libreria standard del software. Questi parametri possono essere di istanza, riferiti al singolo oggetto, o di tipo, riferiti ad una categoria di oggetti, e possono essere associati ad ogni singolo componente (Rizzarda & Gallo, 2017).

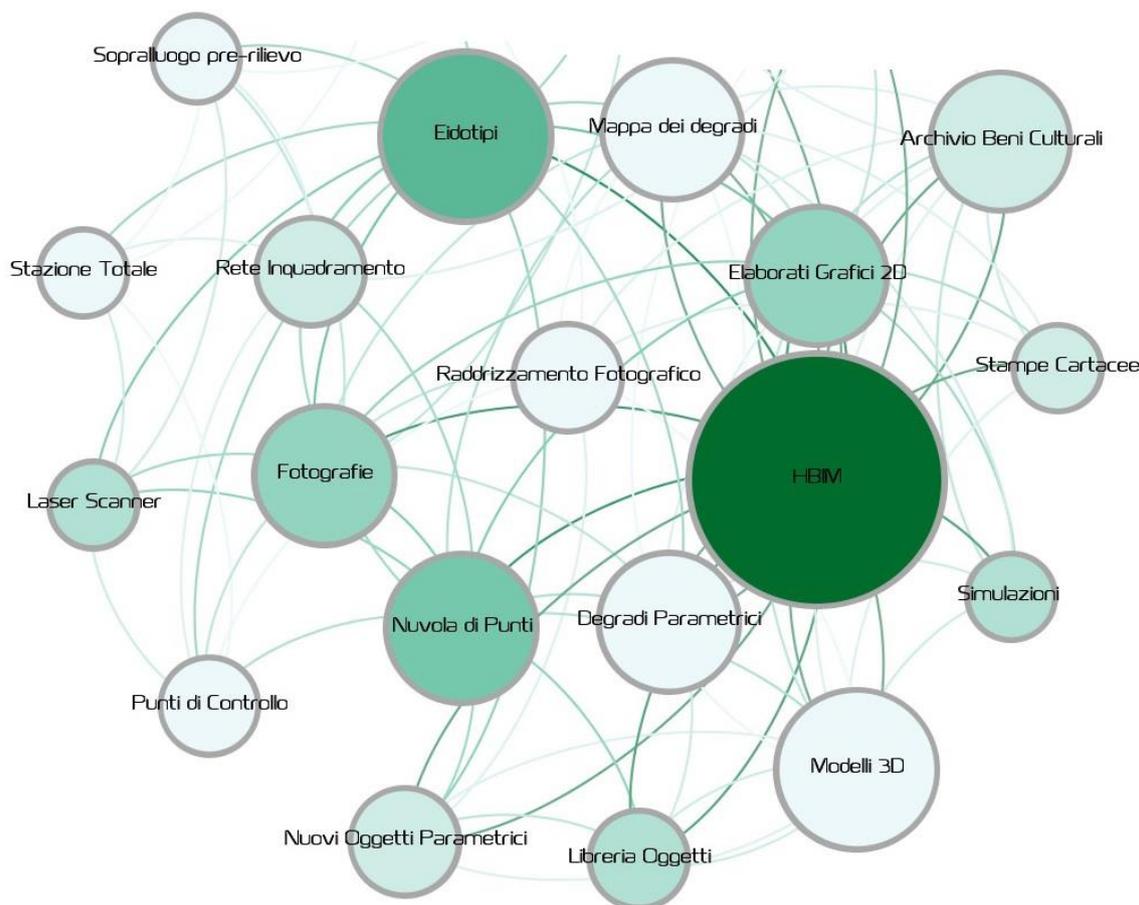
## Database

La strutturazione di un flusso di lavoro ottimizzato, al quale possono partecipare diverse figure professionali che collaborano in remoto, necessita di un passaggio fondamentale che consiste nella validazione del modello federale e della banca dati interattiva. Questo passaggio avviene attraverso l'esportazione della base dati e della loro strutturazione; i modelli BIM per definizione sono costituiti da componenti grafiche e alfanumeriche. Elemento di grande vantaggio a favore della metodologia BIM è quello di poter interrogare, con semplicità e in ogni momento, le informazioni raccolte in fase di rilievo al fine di produrre dei report di avanzamento dei lavori esaustivi incidendo positivamente nella buona riuscita dei lavori.

Gli aspetti operativi dell'intervento per essere efficaci necessitano di un Database Management System (DBMS) ossia di un sistema di gestione di basi di dati. Questo software consente la creazione, l'interrogazione e la gestione del database attraverso l'elaborazione dei modelli alfanumerici, tridimensionali e parametrici. Grazie a questo sistema informativo è possibile conservare ed estrapolare dati di natura differente: geometrica/dimensionale, normativa, estimativa, prestazionale ecc. Il modello BIM rappresenta il centro del sistema informativo, pertanto, dev'essere sempre aggiornato e integrato di tutte le informazioni che derivano dall'attività di cantiere e delle varianti che esso comporta. Altro valore aggiunto è dato dall'integrazione delle tecnologie BIM e DBMS con gli applicativi mobili che consentono di orientare il processo edilizio verso una gestione di tipo cloud based dove la consultabilità del modello è resa disponibile in qualunque luogo e in qualsiasi momento.

La realizzazione di una piattaforma informatica, snella e integrata con il corpus della banca dati dei sistemi BIM, è fondamentale per migliorare la comunicazione tra i diversi attori coinvolti nelle operazioni di rilievo e successivo intervento; ne deriva una maggiore conoscenza e consapevolezza del patrimonio architettonico, in termini qualitativi e quantitativi, attraverso univoche identificazioni di prodotti e processi, connettendo a questi i dati di cantiere e di gestione (Bocconcino, Cangialosi, Lo Turco, & Serini, 2015).

La banca dati risulta sostenibile e funzionale quando i processi di caricamento dei dati, la sicurezza, l'integrità e la stabilità del database vengono gestiti in maniera ordinata e secondo regole prestabilite. L'ordine di archiviazione e il rispetto delle regole di salvataggio e condivisione dei dati diventano delle caratteristiche imprescindibili per la corretta consultazione e gestione del database informativo.



*Figura 58 - Rappresentazione grafica delle diverse entità coinvolte nel processo HBIM*

Il database dev'essere strutturato in modo da ottenere una gestione integrata dei dati che consenta:

- l'interconnessione tra le diverse banche dati in merito alle fonti storiche, alla catalogazione d'archivio e ai progetti depositati;
- la produzione di report grafici capaci di interpolare informazioni differenti restituendo informazioni atte a qualificare la natura e l'affidabilità del dato;
- la produzione di report delle caratteristiche funzionali del modello e di tutte quelle informazioni che consentono di verificare l'efficacia dei collegamenti tra la documentazione fotografica, la documentazione d'archivio, le verifiche ispettive, la natura dei degradi, le nuvole di punti ecc.;

- l'implementazione degli archivi delle banche dati con la possibilità di verifica e compilazione da remoto, riducendo così l'attività di back office e ampliando la base dati fotografica utile per le future attività di Facility Management.

La possibilità di concorrere alla compilazione di una banca dati condivisa comporta notevoli vantaggi in termini di rilievo, restituzione, progettazione, realizzazione e manutenzione. Trattandosi di un unico spazio condiviso l'informazione è univoca, non viene duplicata e non è ridondante perché viene assegnata univocamente al suo elemento per poi essere visualizzata nei diversi report. Si garantisce dunque una ripetibilità del flusso lavorativo dove l'elemento variabile è il dato, l'invariante è il processo (Inzerillo, Lo Turco, Parrinello, Santagati, & Valenti, 2016).

Riferimento al caso studio: scuola “Dante Alighieri”

Analisi dell'intervento realizzato

**Rilievo:**

Per il rilievo geometrico della scuola “Dante Alighieri” è stato utilizzato il metodo laser scanning che risulta essere particolarmente efficace per edifici di grandi dimensioni che necessitano di misurazioni accurate. Nello specifico il laser utilizzato è il Leica P40, un sistema di scan station che offre funzionalità di imaging HDR e una velocità di scansione di un milione di punti al secondo. I sistemi laser scanning permettono di ottenere dati che rispettano le precisioni richieste nel settore dell'architettura e una raccolta di immagini in alta definizione.



*Figura 59 - Fasi di rilievo con laser scanner Leica P40*

Si è reso necessario integrare parallelamente il rilievo con una raccolta dati di tipo fotografica, annotativa e qualitativa dei particolari costruttivi, dei materiali e del loro stato conservativo. Questa ulteriore raccolta dati risulta fondamentale e dev'essere eseguita in stretta relazione con la scansione 3D al fine di ottenere una perfetta corrispondenza delle informazioni. Nel caso specifico, invece, le informazioni aggiuntive sono state raccolte senza una corrispondenza con il rilievo laser

scanner ed in fasi successive. La suddivisione della fase di rilievo ha comportato una frammentazione dei dati, anche a livello di archiviazione, e spesso un'incongruenza tra i dati stessi.



*Figura 60 - Rilievo architettonico dei serramenti*

Il rilievo architettonico tradizionale si è reso necessario per recuperare tutte le informazioni relative ai particolari costruttivi. Tutte le informazioni di dettaglio sono state annotate manualmente sugli elaborati grafici stampati ottenendo così un'ulteriore campagna di rilevamento parallela a quella laser scanner.

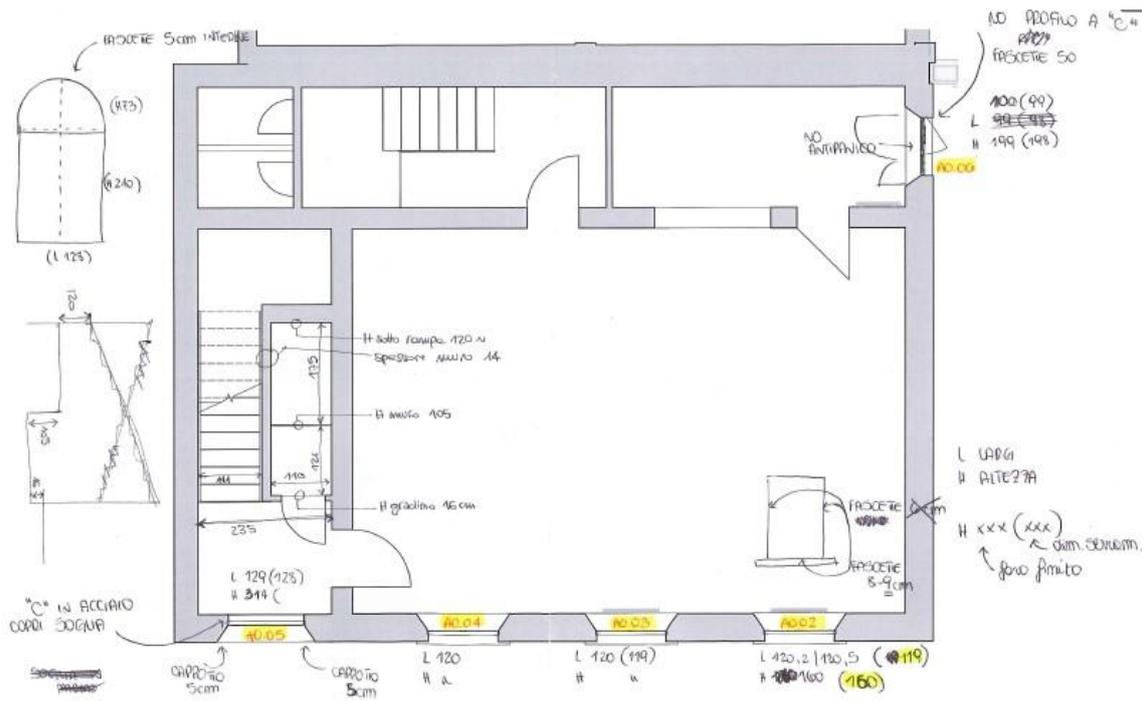
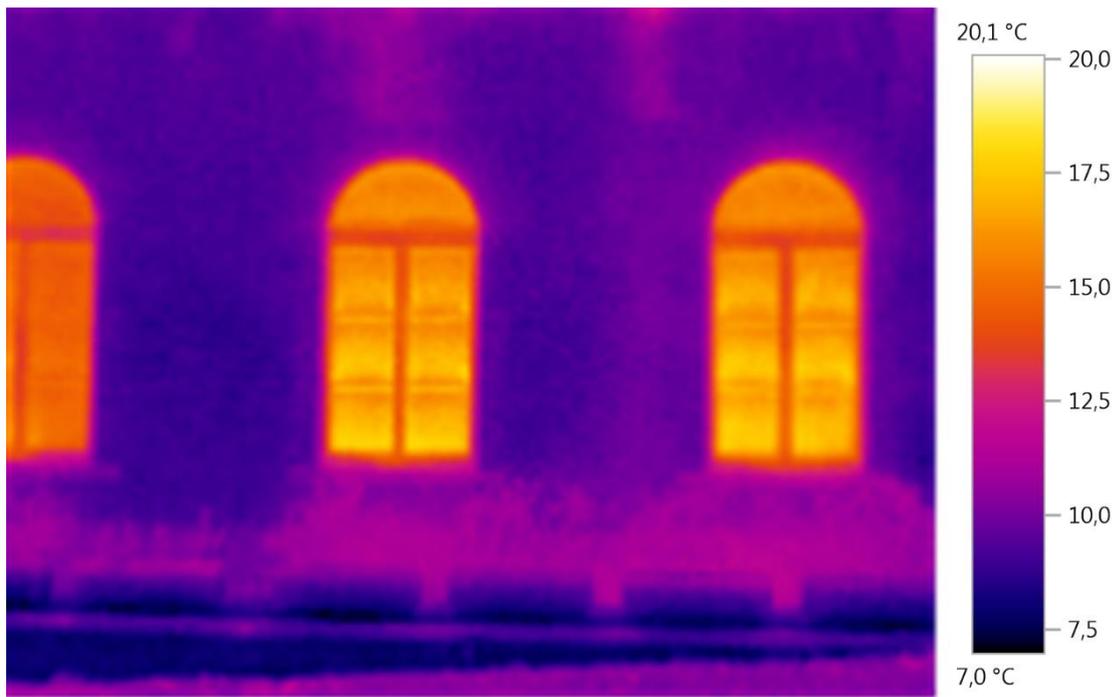


Figura 61 - Appunti utili al rilievo dei serramenti

Importante integrazione del rilievo è stata data dall'utilizzo di una termocamera utile a rilevare i ponti termici ed in generale i punti di maggiore dispersione termica dell'edificio. Nell'immagine riportata nel seguito, risulta evidente come i serramenti rappresentino dei punti importanti di dispersione termica e necessitano, pertanto, di essere sostituiti.



*Figura 62 - Rilevazioni con termocamera*

L'attività di rilevamento si è poi tradotta in un modello discreto costituito da una nuvola di punti (point cloud), oltre alla documentazione fotografica ed alla raccolta di annotazioni, quali disegni e appunti, riguardanti le caratteristiche peculiari dell'edificio.

**Point cloud:**

Il rilievo del plesso scolastico "Dante Alighieri" effettuato con laser scanner, ha riguardato quarantuno differenti scansioni tra spazi esterni ed interni. Durante la fase di rilievo, per gestire l'allineamento delle differenti scansioni, sono stati applicati dei target numerici in modo da ottenere dei punti di riferimento in ogni scansione.



*Figura 63 - Target numerico per il rilievo laser scanner*

La registrazione a mezzo di target cartacei consente un processo di allineamento delle scansioni semi-automatico che permette di ottenere una discreta accuratezza del modello complessivo. I target vengono fisicamente posizionati nell'ambiente da rilevare e sono poi riconosciuti e allineati dal software che restituisce la nuvola di punti.



*Figura 64 - Nuvola di punti*

Il modello finale ottenuto dall'allineamento delle scansioni è risultato estremamente completo ma allo stesso tempo molto complesso e quindi difficile da gestire. La nuvola di punti comprendeva anche elementi di arredo urbano, tra questi alberi e macchine, che non erano utili ai fini dell'elaborazione del modello e appesantivano il file di lavoro.

La nuvola è stata infine esportata in un file con estensione RCP compatibile con il software di modellazione Revit della Autodesk.

### **Modellazione dello stato di fatto:**

La scuola è stata modellata con metodo BIM tramite l'utilizzo del software Revit della Autodesk. Il modello realizzato contiene tutti gli elementi rilevati descritti precedentemente, comprendendo quindi al suo interno elementi strutturali, architettonici e impiantistici, oltre che l'intero bagaglio di informazioni contenute negli elementi stessi, caratteristica principale della metodologia BIM.

La modellazione è stata realizzata in maniera interamente manuale, senza quindi l'utilizzo di plug-in per la modellazione semi-automatica, questo ha comportato una notevole quantità di tempo. L'utilizzo di applicativi che agevolano la modellazione avrebbero potuto velocizzare questa fase garantendo ugualmente la qualità del modello finale.



*Figura 65 - Modello BIM dello stato ante intervento*

Per la creazione del modello sono state gestite separatamente la modellazione e parametrizzazione degli elementi architettonici e strutturali e la modellazione e parametrizzazione degli elementi

impiantistici. Per quanto riguarda la modellazione degli elementi si è operato generando un primo modello architettonico ed in parallelo un secondo modello per le componenti meccaniche ed impiantistiche dell'edificio. Questi differenti modelli sono stati gestiti attraverso l'utilizzo dei workset<sup>28</sup> nelle due differenti discipline ARC e MEP<sup>29</sup>.

#### **Accuratezza del modello:**

Il flusso di lavoro riguardante il caso studio preso in esame non ha previsto la verifica dello scostamento metrico della modellazione rispetto alla nuvola di punti. Questa verifica è stata condotta personalmente per verificare l'accuratezza del modello realizzato.

#### **Interoperabilità:**

Dalla consultazione del BIM Execution Plan (BEP) redatto appositamente per il caso studio, si possono ricavare le informazioni per la modellazione.

In riferimento al caso studio, è stato redatto un apposito BEP in accordo alla norma UNI 11337 cui si può fare riferimento per ulteriori approfondimenti e definizioni. In questo BEP sono illustrate le modalità e i software da utilizzare per l'interscambio delle informazioni.

Lo scambio dei dati dei modelli e di tutti gli elaborati avviene attraverso la piattaforma informatica Dropbox. I formati da utilizzare nelle comunicazioni/trasmissioni dei dati con la committenza sono formati aperti o proprietari.

La condivisione, l'archiviazione e la gestione dei dati avvengono con l'utilizzo di un ambiente condiviso in cloud (ACDat) accessibile liberamente dalla committenza. Verrà poi creato contestualmente un archivio condiviso di documenti non digitali (ACDoc) nel quale verranno conservate le copie cartacee del materiale informativo acquisito e prodotto.

La modalità di condivisione dei dati avviene attraverso una piattaforma informatica ossia un ambiente di condivisione dei dati (ACDat - CDE) in cui tutti i soggetti accreditati possono condividere le informazioni prodotte secondo prestabilite regole. Tale ambiente di condivisione è:

---

<sup>28</sup> Raccolta di elementi in un progetto condiviso.

<sup>29</sup> La modellazione MEP si occupa di gestire i tre ambiti di intervento dell'ingegneria degli impianti meccanici, elettrici e idraulici.

- Accessibile a tutti gli attori coinvolti nel processo, tramite connessione di rete, possibilità di consultazione ed estrazione e copia di documento, degli elaborati e dei modelli;
- Tracciabile in termini dei dati contenuti nell'archivio;
- Costantemente aggiornato in relazione allo sviluppo dei modelli, degli elaborati e dei documenti digitali contenuti nell'archivio dati
- Riservato e sicuro, in riferimento alle modalità di gestione dei dati in esso contenuti.

La fase di modellazione dello stato di fatto e la successiva fase di modellazione del progetto ha coinvolto diverse figure professionali quali progettisti delle opere architettoniche e impiantistiche. Tutti i disegnatori hanno lavorato utilizzando dei workset suddivisi per le specifiche discipline che concorrono a formare un unico modello collaborativo.

Il modello, una volta ultimato e validato, è stato caricato nel portale BIM 360 così da poter essere accessibile anche da utenti esterni all'azienda. Infatti, oltre ai disegnatori e progettisti interni ci sono state altre figure coinvolte nel processo edilizio che appartenevano a uffici differenti. Le principali figure esterne sono: il responsabile dei lavori; il direttore dei lavori; il coordinatore della sicurezza; Il responsabile tecnico della commessa; Il responsabile tecnico edile; ed il responsabile tecnico impianti.

La condivisione del modello in un ambiente cloud permette di consultare ed interrogare il modello, nonché di aggiornarlo in fase di cantiere. L'utilizzo di un CDE permette, a tutti i soggetti coinvolti nel processo edilizio, di avere un unico riferimento che può essere costantemente aggiornato in tempo reale.

### **Rilievo:**

I dati del rilievo sono fondamentali per la corretta realizzazione del modello digitale, questo processo è alla base della progettazione in ambito BIM.

Per la scuola in esame, è stato fondamentale il rilievo 3D dell'intero edificio che ha permesso una modellazione As Built accurata. Per ottimizzare la campagna di rilevamento, una soluzione poteva essere quella di integrare le due tecniche del laser scanner e della fotogrammetria. Infatti, mentre il laser scanner restituisce il volume complessivo dell'edificio, la fotogrammetria poteva essere utilizzata per risolvere i particolari costruttivi puntuali (come il nodo finestra).

Il rilievo della copertura a falde del Corpo A, come evidenziato nei capitoli successivi, si è dimostrato carente se non del tutto assente per la falda nord. Per il rilievo di questa copertura, vista la difficile accessibilità, era opportuno l'utilizzo di un drone<sup>30</sup> così da effettuare un rilievo fotogrammetrico completo.

Tutte le annotazioni di tipo qualitative dei particolari costruttivi, dei materiali e del loro stato conservativo potevano essere prese direttamente su un supporto digitale così da poter gestire automaticamente un'archiviazione condivisa.

Aspetto fondamentale nel rilevamento dell'edilizia scolastica è la gestione dei tempi di esecuzione: spesso il plesso scolastico si trova distante dallo studio di progettazione, pertanto, risulta importante ridurre al minimo le campagne di rilevamento; altro aspetto riguarda la disponibilità del plesso, infatti, va considerata l'attività scolastica che non consente l'accesso agli ambienti interni a tutte le ore.

### **Point cloud:**

Da questo punto inizia la ricerca di sviluppo, a posteriori, di un flusso di lavoro alternativo che si pone come obiettivo quello di descrivere le soluzioni ottimali per ogni fase del processo edilizio.

La nuvola di punti ottenuta risultava molto complessa, conteneva molti elementi superflui quali alberi, macchine e arredi che appesantivano il file e non erano necessari ai fini dell'intervento.

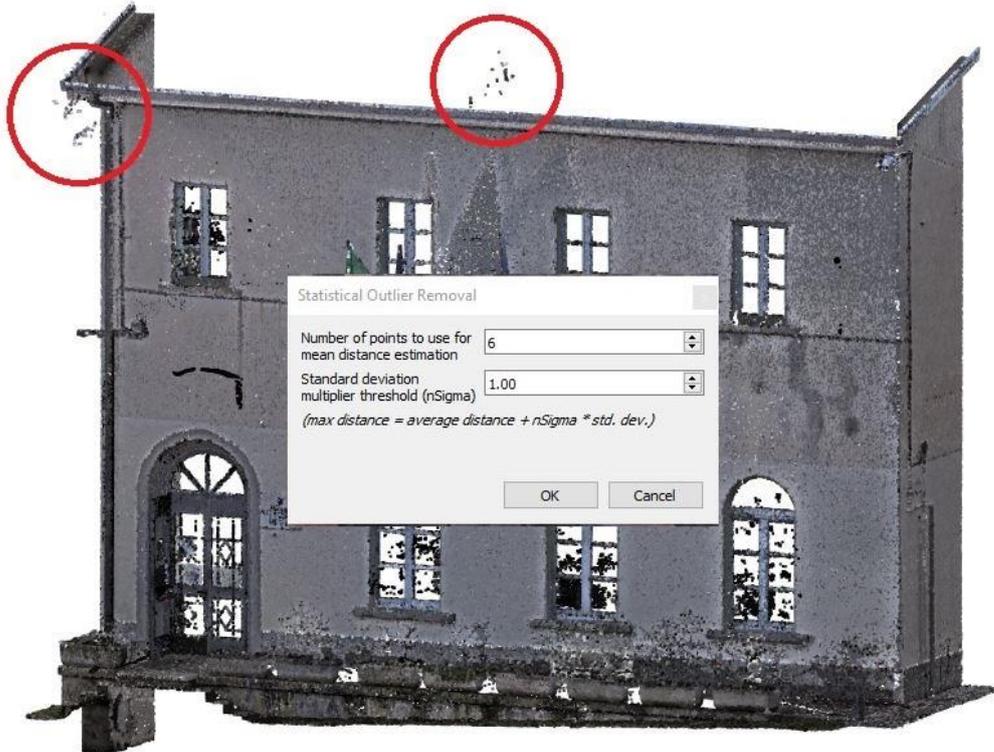
Per la gestione e pulizia della nuvola è stato utilizzato il software open source CloudCompare che consente la rimozione automatica dei punti di "disturbo". I punti della nuvola corrispondenti agli

---

<sup>30</sup> Aeromobile a pilotaggio remoto.

elementi di contorno sono stati eliminati manualmente con un'operazione di ritaglio della nuvola stessa.

Tutti i punti di "disturbo" sono invece stati eliminati utilizzando il comando SOR Filter, un filtro che permette la rimozione statistica degli outlier.



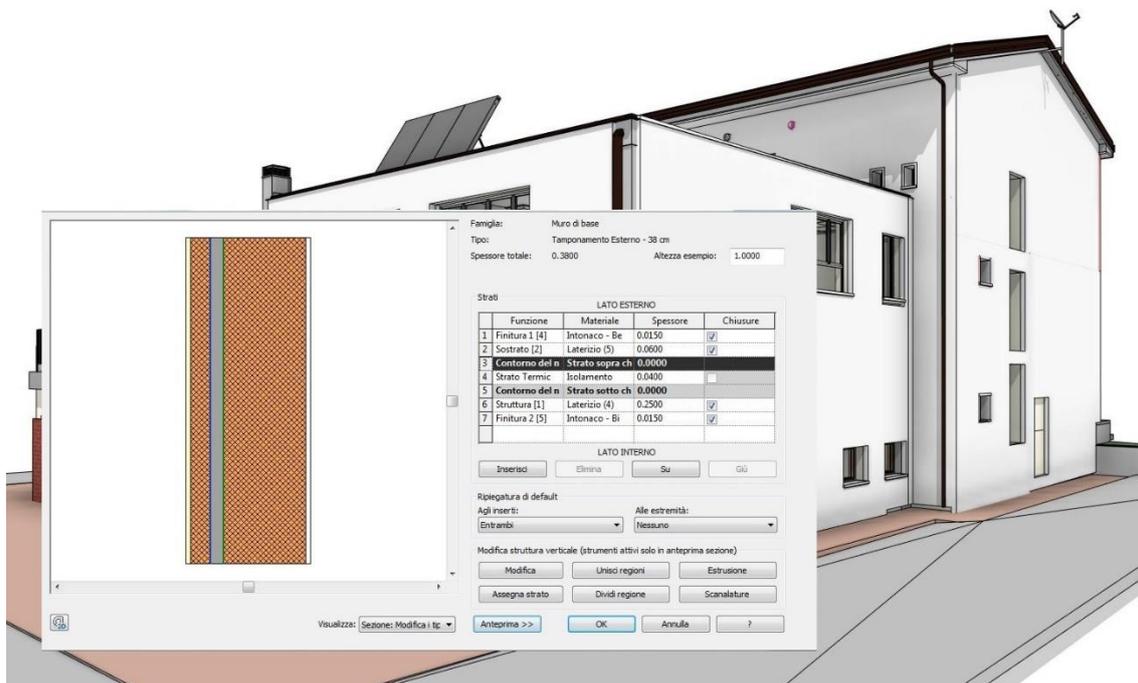
*Figura 66 - Pulizia della nuvola di punti con CloudCompare*

Gli outlier sono quei punti che occupano una posizione nello spazio tridimensionale distante dalla superficie della nuvola. Questo filtro si basa principalmente su due parametri: la distanza di soglia e la distanza media tra i punti. Per ogni punto viene calcolata la distanza media dai punti vicini e la distanza di soglia che consente di caratterizzare un determinato punto come un outlier e quindi di rimuoverlo. Più piccola verrà impostata la distanza di soglie e maggiore sarà il numero di punti che verranno eliminati in fase di pulizia. L'eliminazione automatica dei punti superflui, senza eliminare punti significativi, è condotta sulla base di due soli parametri.

Tutti questi elementi sono stati eliminati per ottenere così un modello più gestibile e per evitare interferenze in fase di modellazione.

### Modellazione dello stato di fatto:

La maggior parte degli elementi, appartenenti all'edificio nella situazione ante intervento, sono stati modellati utilizzando dei "modelli generici" quindi senza i contenuti informativi che contraddistinguono la metodologia BIM. Tutte le informazioni raccolte nella fase di rilievo riguardanti la stratigrafia delle pareti o le caratteristiche dei serramenti, sono state inserite nel modello andando ad arricchire l'abaco informativo di ogni componente.



*Figura 67 - Composizione della stratigrafia dei muri perimetrali*

L'inserimento delle informazioni qualitative nel modello è estremamente importante nei modelli HBIM riferiti alla fase AS Built, in quanto condizionano le scelte progettuali. Conoscere la tipologia costruttiva di un muro perimetrale piuttosto che lo spessore del vetro dei serramenti, comporta scelte differenti nelle soluzioni tecnologiche da adottare. Integrare il modello con tutte le informazioni metriche e descrittive risulta fondamentale soprattutto quando il rilevatore e il modellatore sono figure distinte all'interno del processo.

### Accuratezza del modello:

La verifica dello scostamento metrico è stata condotta in Revit utilizzando il plug-in "As-Built for Autodesk Revit" della FARO; questa applicazione consente di mettere a confronto la nuvola di punti

e il modello BIM valutando la distanza tra i punti. Nello specifico il software prende come riferimento una superficie del modello e valuta le relative distanze che i punti presentano da questa. Per la verifica del caso studio è stata utilizzata una griglia di dimensioni 2 cm ed una distanza massima dalla superficie di 5 cm. Il risultato è una restituzione grafica che caratterizza le superfici colorandole in base alla disposizione dei punti, viene indicato se un punto coincide con la data superficie oppure se si discosta in positivo o in negativo. Il colore verde individua i punti della nuvola coincidenti con le superfici del modello, le aree blu indicano i punti che rientrano all'interno della superficie mentre le zone rosse indicano i punti che si allontanano dalla superficie.



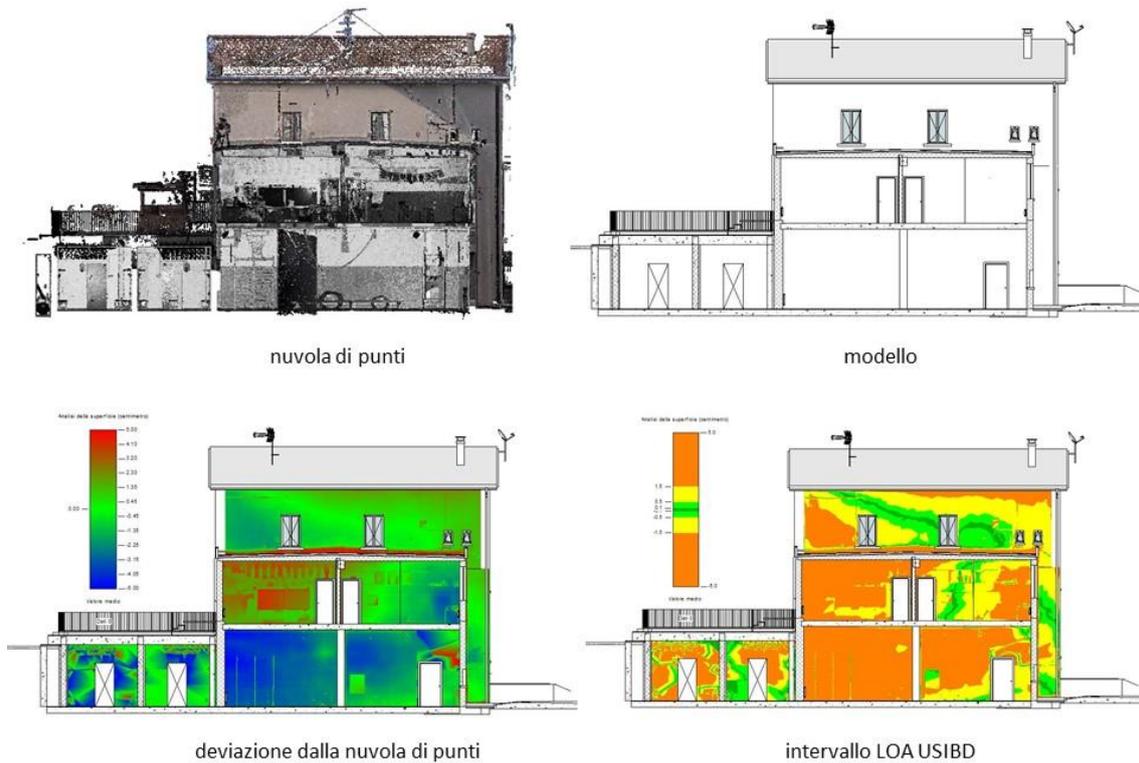
*Figura 68 - Risultati analisi As-Built Prospetto Nord*

Dalla prima analisi effettuata nel prospetto nord si può verificare che il modello risulta discretamente preciso. Lo scostamento metrico risulta essere inferiore ai 5 cm in tutto il prospetto andando leggermente a sfumare verso l'estremità destra, questo può indicare che nella realtà il muro presenta una leggera rotazione. Nel complesso la modellazione di questo elemento rispetta i parametri LOA da 40 a 20.



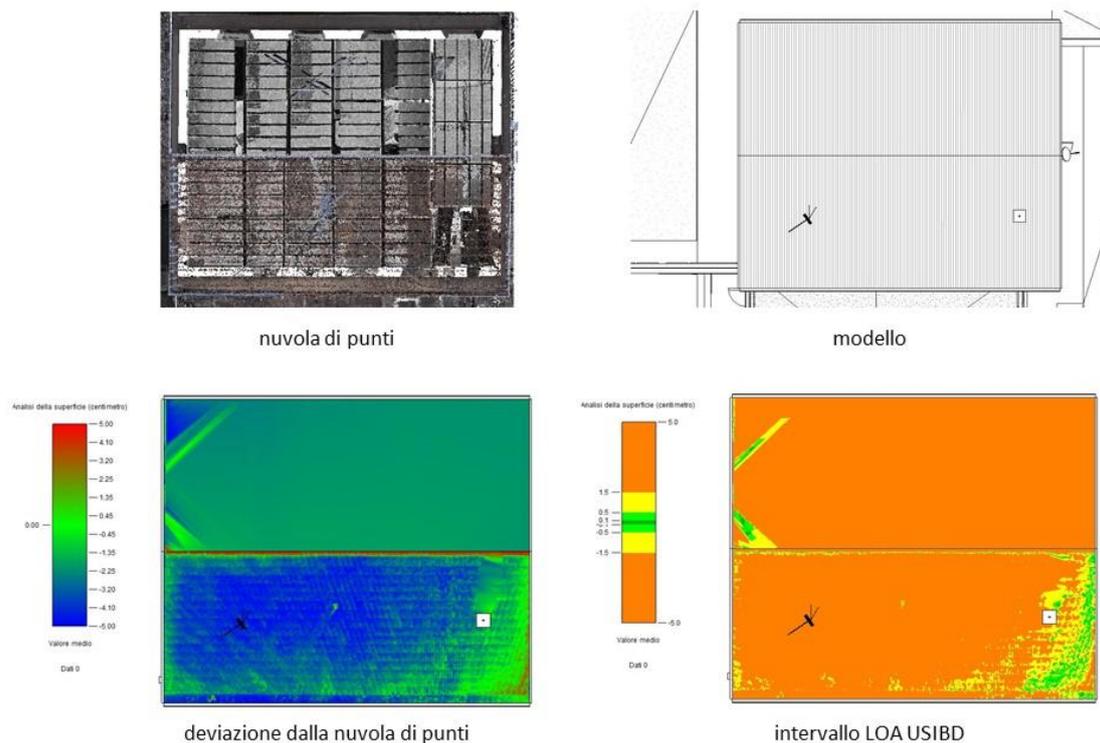
*Figura 69 - Risultati analisi As-Built Sezione AA*

Sempre riguardo la modellazione del prospetto nord ma dal lato interno, l'analisi ha evidenziato una differenza tra il piano terra e il piano primo. Il modello è stato realizzato con un muro della stessa sezione per tutta l'altezza, mentre dall'analisi risulta che al piano terra il muro sia di sezione leggermente ridotta. Sono presenti alcuni scostamenti puntuali definiti dall'arredo a parete che non è stato modellato. Per questi elementi la modellazione rispetta i parametri LOA da 30 a 20.



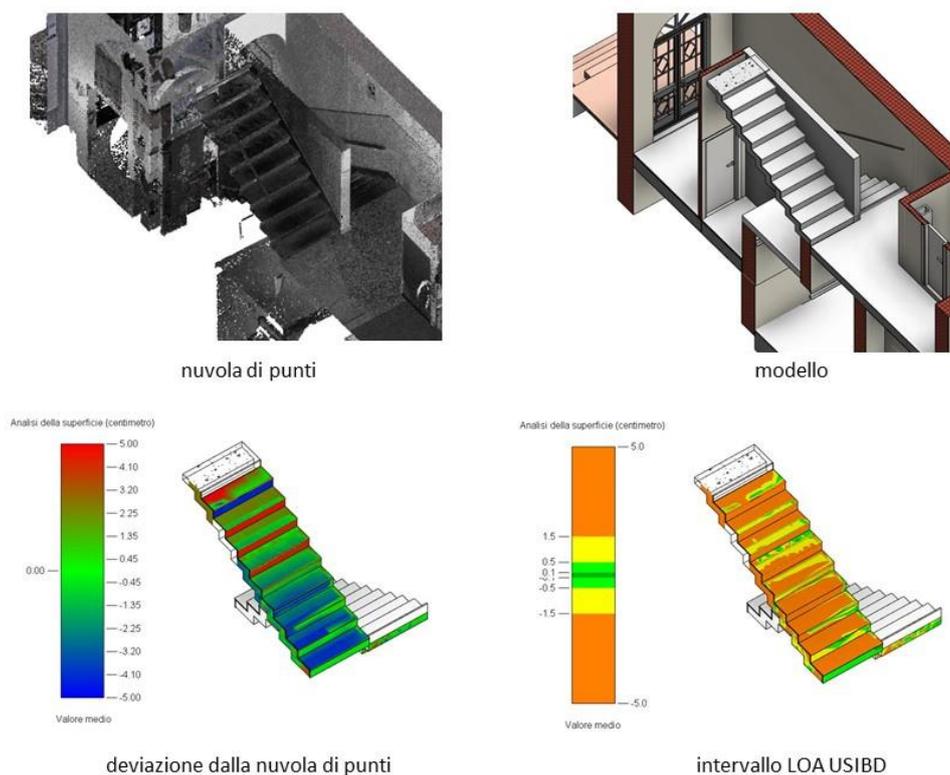
*Figura 70 - Risultati analisi As-Built Sezione CC*

L'analisi di questa sezione mostra come la modellazione dei muri sia abbastanza precisa con uno scostamento sempre contenuto nell'ordine dei 5 cm. Il confronto della copertura piana mostra come nella realtà questa sia molto più arcuata e posizionata ad una quota leggermente più alta. Per questi elementi la modellazione rispetta i parametri LOA da 30 a 20 per i muri interni mentre da 40 a 20 per la facciata esterna.



*Figura 71 - Risultati analisi As-Built Copertura*

L'analisi della copertura a due falde del corpo principale ha evidenziato che sono presenti grossi scostamenti, in questo caso non dovuti alla modellazione ma bensì al rilievo. Non è stato possibile eseguire il rilievo della copertura con laser scanner se non parzialmente della falda sud potendo accedere alla copertura piana della palestra, ne consegue che la nuvola di punti risulta totalmente assente per la falda nord. La modellazione è stata realizzata simmetrica partendo dall' inclinazione della falda sud.



*Figura 72 - Risultati analisi As-Built Scala*

Dalle analisi dello scostamento metrico condotte si può concludere che la modellazione è stata eseguita in maniera piuttosto fedele a quanto misurato in fase di rilievo laser scanner. È opportuno precisare che questa modellazione era finalizzata esclusivamente alla realizzazione dell'intervento, pertanto, non era richiesta una riproduzione digitale identica all'edificio reale.

### **Interoperabilità:**

Nella metodologia BIM lo scambio di informazioni ha un aspetto centrale, i dati vengono trasferiti tra diverse discipline in diverse fasi del processo di progettazione.

La condivisione del modello in un ambiente cloud permette di consultare ed interrogare il modello, nonché di aggiornarlo in fase di cantiere. L'utilizzo di un CDE permette, a tutti i soggetti coinvolti nel processo edilizio, di avere un unico riferimento che può essere costantemente aggiornato in tempo reale. La condivisione del modello nel CDE deve rispettare una procedura di validazione che consiste nel caricare il modello in cartelle differenti corrispondenti al proprio livello di sviluppo:

WIP (Work In Progress): ovvero la cartella all'interno della quale alloggiavano tutte le discipline riguardanti il progetto, in questa i professionisti di ogni disciplina hanno l'opportunità di inserire i

loro modelli e di lavorarci indipendentemente dagli altri attori del processo;

Shared: questa è la cartella di condivisione degli elementi, in questa cartella viene inserito tutto il materiale necessario al coordinamento dei vari professionisti e stakeholder del processo. In questa cartella, con scadenze concordate, devono essere caricati i modelli di disciplina in modo tale che sia possibile il coordinamento e la validazione successiva dei modelli digitali;

Published: in questa cartella vengono caricati gli elaborati finali o gli elaborati per le validazioni con la committenza;

Archived: rappresenta la cartella di archiviazione in cui vengono conservate le precedenti versioni degli elementi successivi alla validazione, questo archivio è fondamentale per tenere traccia delle modifiche che sono state effettuate.

## PROGETTAZIONE

In questo capitolo si intende descrivere come concepire il progetto, come creare nuove spazialità, quali soluzioni tecnologiche adottare, quali nuovi materiali, impianti e fonti rinnovabili.

### Riferimenti di innovazione

Al fine di un risultato completo in un'ottica di una nuova prospettiva di vita per l'edificio è necessario intervenire con un progetto di trasformazione globale.

Edifici e impiantistica devono dialogare, come nel caso del quartiere BedZed (UK) nuova concezione di edificio con fonti rinnovabili dove edificio e impianto si mescolano in un tutt'uno.



*Figura 73 - Quartiere BedZED, Londra*

Il fotovoltaico non può più essere un'aggiunta all'edificio ma deve nascere integrato con lo stesso come nel mercato di Bejar a Salamanca dove i lucernari sono costituiti da pannelli fotovoltaici in silicio amorfo colorato con diversi gradi di trasparenza.



*Figura 74 - Mercado Bejar, Salamanca*

L'edificio dev'essere ripensato nel complesso, non sono sufficienti solo interventi puntuali finalizzati alla risoluzione di problematiche localizzate. Un progetto per essere omnicomprensivo deve riguardare anche l'aspetto socioculturale della città e dei suoi abitanti.

La pandemia ha inevitabilmente condizionato le necessità delle persone nei confronti delle abitazioni. Sono emerse nuove necessità: esigenza di balconi e terrazze; di verde; più luce; aria interna pulita; meno rumore; attenzione per i materiali; meno spese; più tecnologia internet e nuove funzionalità. Importante l'utilizzo di materiali sostenibili e provenienti da elementi riciclati.

L'edilizia del futuro deve creare luoghi sani e salubri in cui la progettazione diviene multidisciplinare, l'edificio sarà un concentrato di tecnologie a servizio dei bisogni.

#### [Istituti scolastici per il nuovo millennio](#)

Alcuni esempi di riqualificazione di istituti scolastici per il nuovo millennio:

#### **ITIS Volta, scuola secondaria di secondo grado, istituto professionale, Perugia:**

La riqualifica del plesso scolastico consiste in un progetto che fa riferimento alla Future Classroom Lab (EUN) costituita da sei spazi di apprendimento diversi dove ogni spazio evidenzia le aree specifiche di apprendimento. Sono diversi gli aspetti che sono stati riorganizzati: lo spazio fisico, le risorse, il cambiamento dei ruoli di studenti e insegnanti e la possibilità di supportare diversi stili di apprendimento.

L'aula diventa un laboratorio disciplinare: è stato riprogettato il setting dell'aula, le aule sono

assegnate ai docenti e non più agli studenti così da rendere ogni aula idonea alla materia che si andrà ad insegnare. Sono state individuate tre tipologie di aule funzionali: uno spazio per la presentazione del lavoro, uno spazio per la ricerca ed uno spazio per la condivisione. La logistica è stata migliorata, l'appello viene sostituito da una registrazione digitale che l'alunno fa ogni mattina in maniera autonoma.

### **Istituto Artigianelli, Trento:**

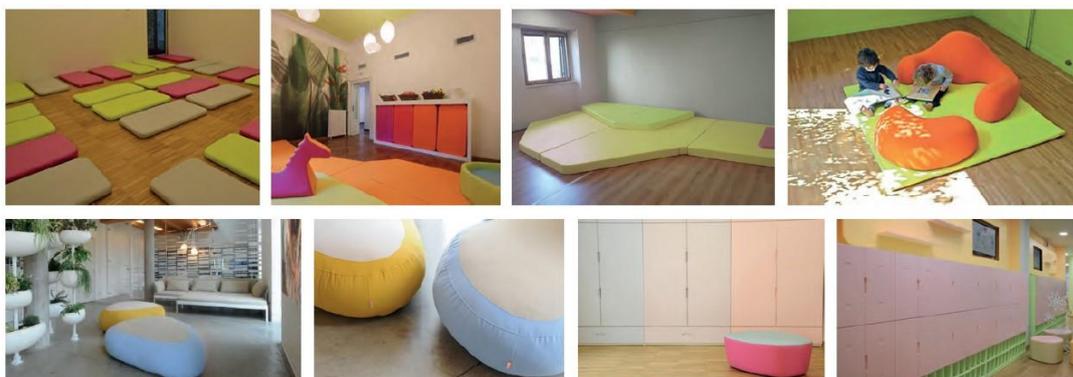
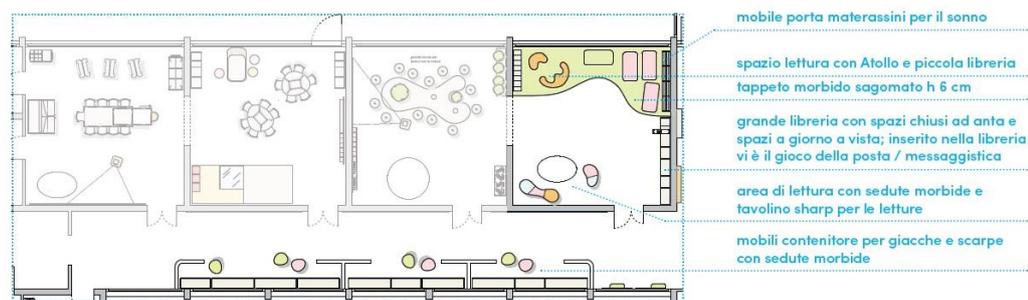
Nella riqualifica di questo istituto vengono considerati gli studenti con bisogni specifici di apprendimento e viene destrutturato il concetto di classe e di lezione. Cambia radicalmente la dimensione didattica, pedagogica e valoriale, gli spazi diventano permeabili e trasparenti. La zonizzazione permette un apprendimento differenziato, vengono valorizzati i tessuti connettivi che diventano spazi di apprendimento. Aspetto importante è la creazione di spazi dedicati all'abilitazione professionale. La funzione del colore è importante per l'equilibrio psico-fisico oltre che per migliorare l'orientamento, l'intero complesso scolastico diventa un'ambiente didattico.

### **Istituto Comprensivo Modena 3, Scuola dell' Infanzia G. Rodari:**

L'istituto Comprensivo numero 3 di Modena rappresenta un modello per gli obiettivi metodologici che si prefissa di perseguire, a partire dalla suddivisione degli spazi; le classi di alunni di questa scuola secondaria non sono intese in senso classico: i ragazzi si muovono da un'aula all'altra per raggiungere i propri insegnanti e i luoghi deputati allo studio e all'incontro, acquisendo così un'autonomia di gestione degli spazi della propria scuola.

Inclusione è una parola chiave della didattica: i compagni diventano tra loro punto di riferimento, con il proposito che nessuno sarà lasciato indietro e non ci sono barriere che separino la disabilità. L'errore è visto come una risorsa, un'opportunità di apprendimento, la cooperazione tra alunni è valore di crescita e insegnamento.

La scuola mette tutti nelle stesse condizioni, offrendo la possibilità di utilizzare device propri o in comodato d'uso a chi ne fa richiesta e non può permettersi di comprarli. Anche la responsabilizzazione dei ragazzi è favorita in quanto punto cardine per la crescita personale. Una scuola all'avanguardia, insomma, punto di riferimento per una didattica illuminata.



*Figura 75 - Scuola dell' Infanzia G. Rodari - atelier delle parole*

Il progetto non ha più i classici “spazi aula”, ma degli “Atelier” caratterizzati da spazi fluidi e polifunzionali, in cui i bambini possono svolgere molteplici attività ed affrontare diverse tematiche dell’arte, della scienza, della musica, della cucina, etc. Importante risulta anche la progettazione dell’arredo, per riuscire ad agevolare la materia di studio.

#### **Polo per l’infanzia “Firmian”, Bolzano:**

Si tratta di un complesso scolastico che offre una continuità di formazione dall’asilo nido alla scuola dell’infanzia. Il plesso è composto da tre strutture che si sviluppano in un unico edificio, caratterizzato da forme sinuose, che ben si relazionano con la natura circostante. Le aule sono disposte perimetralmente e si raggiungono attraverso ampi spazi di distribuzione che non hanno solo funzione di “corridoio”, ma sono spazi flessibili, luoghi d’incontro e di gioco per i bambini. La progettazione delle strutture promuove la partecipazione, grazie alla permeabilità degli spazi di circolazione, ai cambiamenti di altezza, alle molteplici soluzioni di illuminazione. Questi fattori stimolano il senso dello spazio nel bambino e lo invitano a interagire.



*Figura 76 - Polo per l'infanzia "Firmian", Bolzano*

L'insegnamento non avviene più solo all'interno dell'aula, ma anche all'esterno, sia nella terrazza che nei giardini. Inoltre, molte superfici diventano luoghi in cui sperimentare il senso del tatto e dell'udito: i corridoi sono rivestiti con pannelli in legno, alti quanto i bambini, con inserti tattili e pannelli acustici in tessuto. Anche dal punto di vista tecnologico l'edificio risulta un luogo ideale per l'apprendimento, con riscaldamento a pavimento e raffrescamento radiante a soffitto.

#### **Istituto tecnico economico tecnologico "Luigi Einaudi", Bassano del Grappa:**

All' Istituto Tecnico Economico e Tecnologico "Luigi Einaudi" di Bassano del Grappa tutto è rivolto all'innovazione e alle tecnologie: droni, robot, ideazione di siti e di applicazioni, una rete interna, device a disposizione di tutti. Una piattaforma che facilita il raggiungimento dell'ambiente scolastico da qualsiasi luogo, social media gestiti dagli alunni, una Web Tv nata durante il lockdown, un magazine online, sei laboratori di informatica dotati di attrezzature di ultima generazione, aule flessibili che possono trasformarsi in agorà. La coesione della comunità scolastica si rafforza anche con l'impiego degli studenti e delle studentesse più grandi in qualità di tutor dei più giovani. Ai bisogni formativi che sono cambiati, e continuano a cambiare, questo istituto risponde compiendo scelte di sistema, che fanno, del digitale, non solamente un metodo, uno strumento per l'apprendimento, ma un approccio concettuale diverso e nuovo.

**Orestad Gymnasium, scuola secondaria di secondo grado, Copenhagen:**

Si tratta di una scuola “senza carta” sono presenti ambienti differenziati per le attività didattiche ed aree per le attività di gruppo che permettono lo studio individuale. Il docente può organizzare le attività in maniera differente, il lavoro di gruppo permette il confronto con i compagni.



*Figura 77 - Orestad Gymnasium, Copenhagen*

Il metodo tradizionale, seppur con grossi limiti, rappresenta una certezza per il modello educativo. Per le nuove scuole occorre una progettazione partecipata, coinvolgere la popolazione e dei pedagogisti perché non si ha certezza del risultato finale. Le scuole estere, in particolare, non sono un modello da emulare, poiché calate in un contesto socioculturale differente da quello italiano, ma rappresentano una suggestione per rompere lo schema tradizionale (Borri, Spazi educativi e architetture scolastiche: linee e indirizzi internazionali, 2016).

## Riqualificazione architettonica e del modello educativo

Per progettare lo spazio dell'educazione serve un' educazione allo spazio. Il progetto Abitare il Paese<sup>31</sup>, presentato dal consiglio nazionale degli architetti e arrivato oggi alla sua terza edizione, ha come obiettivo quello di portare all'interno delle scuole la cultura della domanda di architettura di qualità del progetto e la consapevolezza dell'architettura come bene collettivo.

Educare deriva dal latino "educere" che significa condurre per mano e quindi lo spazio ha grande importanza nella costruzione della formazione dei ragazzi. Fondamentale partire dalla scuola per far capire la necessità della qualità dello spazio, gli spazi sono differenti all'interno della scuola come lo sono nelle città e nelle case. Fondamentale un approccio interdisciplinare, pedagogia e architettura devono dialogare oggi mai come prima a causa di questa situazione pandemica. Compito primario della scuola è quello di educare il bambino/cittadino, responsabile fin dalla nascita del suo essere cittadino.

La scuola ha sempre considerato l'educazione come una pratica successiva all'insegnamento; la pandemia Covid19 offre la possibilità di una pausa di riflessione che permette una collaborazione tra architettura e pedagogia al fine di creare una scuola nuova, idonea alle rinnovate esigenze di apprendimento. L'architettura deve essere in grado di mettere in relazione la scuola con la città e l'ambiente che la circonda progettando spazi che possano dialogare ed aprirsi verso di essa. C'è bisogno di un'architettura responsabile che assuma il suo ruolo educativo, lo spazio è parte integrante del processo educativo e la scuola deve diventare uno spazio per la collettività.

L'introduzione delle tecnologie ha comportato un grosso cambiamento all'interno delle scuole, gli studenti hanno sviluppato nuove abilità a discapito del ragionamento/pensiero lento quello che avviene utilizzando carta e penna. L'ambiente scolastico deve necessariamente essere un ambiente di ricerca; non si può introdurre la tecnologia senza una ricerca che dimostri i vantaggi apportati da quella tecnologia, bisogna dimostrare che le nuove tecnologie portano gli studenti a sviluppare delle conoscenze e degli apprendimenti migliori rispetto a prima, anche gli insegnanti devono svolgere un compito di ricerca che gli permetta di crescere come educatori.

Il plesso scolastico deve essere inteso con una triplice valenza: spazio fisico come luogo pensato per stare bene e vivere bene; spazio di aggregazione e spazio per l'apprendimento perché quest'ultimo

---

<sup>31</sup>Progetto presentato dal Consiglio Nazionale Architetti PPC in collaborazione con la Fondazione REGGIO Children - Centro Loris Malaguzzi.

passa attraverso le integrazioni e le relazioni. La pandemia ha gravemente compromesso le relazioni interpersonali, per questo la scuola dovrà diventare un luogo fortemente predisposto alle relazioni che sono fondamentali per la crescita e l'educazione dei bambini.

La città diffusa non è un modello di qualità da un punto di vista architettonico, di conseguenza non lo sono le scuole che si collocano in questi sobborghi. La prospettiva dei prossimi anni riguarderà interventi di riqualificazione di scuole esistenti con l'obiettivo di restituire un valore aggiunto alla città e alla comunità che diventano parte integrante dell'edificio scolastico. Creare scuole autosufficienti anche da un punto di vista della produzione alimentare integrando orti didattici e produttivi utilizzabili anche dalla comunità. La scuola ha un ruolo centrale rispetto alla città ma allo stesso tempo deve seguire una politica di decentramento andando ad integrarsi e interagire con la città stessa.

Nei nuovi edifici sarà di grande importanza un attento uso di alcuni aspetti immateriali dell'architettura, come luce, colore e suono, che contribuiscono in maniera determinante alla qualità di uso degli spazi, oltre all'attenuazione della luce naturale si dovrà controllare la qualità e la variabilità di quella artificiale.

Per la nuova scuola sarà molto importante la qualità progettuale, gli spazi dovranno essere più flessibili e questa necessaria flessibilità richiede impianti tecnologicamente più sofisticati. I nuovi impianti dovranno tendere a ridurre per i prossimi anni i costi di gestione per l'energia elettrica, la gestione del calore e la ventilazione e l'acustica dovrà essere più accurata. Sarà fondamentale anche porre attenzione sul dimensionamento degli edifici, si dovrà fare in modo che non vengano incrementati i costi di gestione e quelli di manutenzione.

Per realizzare i nuovi modelli scolastici occorre fare riferimento a competenze che vengono dalla produzione di edilizia industriale, sarà necessario utilizzare una prefabbricazione aggiornata e matura, adottare una razionale semplicità costruttiva, preparare un'effettiva flessibilità con la progettazione di impianti modulari, studiare edifici con ridotti o nulli consumi energetici, con bassi costi di gestione e manutenzione. Si dovranno progettare edifici con pareti esterne altamente efficienti per regolare, rispetto all'esterno, la luce, la temperatura, l'emissione di calore e la durata dei materiali nel tempo; la vera economia sugli investimenti immobiliari si traduce in risparmio di consumi e di gestione, è realistico pensare a edifici energeticamente autosufficienti (Biondi, Borri, & Tosi, 2016).

## La scuola del nuovo millennio

La scuola del nuovo millennio dovrà essere uno spazio in cui la comunità può riconoscersi e confrontarsi, dove cittadini, insegnanti e bambini sono resi partecipi nella progettazione.

Il layout delle facciate sarà caratterizzato da aperture con forme, dimensioni e sistemi di oscuramento differenti in base alle diverse esigenze funzionali. Saranno presenti aule tematiche differenti per l'informatica, le scienze, la musica e le arti oltre a spazi polivalenti e flessibili nonché un giardino botanico per le sperimentazioni didattiche all'aperto. La biblioteca potrà diventare il fulcro centrale di questi spazi nonché nuovo epicentro urbano per la comunità perché aperta anche oltre l'orario scolastico. Gli ambienti esterni ed interni saranno più permeabili, grazie ad elementi vetrati, per stimolare il confronto tra i ragazzi. L'intervisibilità può essere, inoltre, sottolineata da connessioni visive create da doppie altezze, dislivelli e superfici interamente vetrate.

La riduzione del fabbisogno energetico è possibile, da una parte, minimizzando l'impatto del clima esterno sugli ambienti interni intervenendo sull'involucro e, dall'altra ottimizzando le tecniche di climatizzazione. Superfici opache adeguatamente coibentate e superfici vetrate basso emissive con taglio termico permettono di ottenere un miglior comfort nel periodo invernale; mentre sporti e aggetti di copertura combinati con l'impiego di schermature solari nel prospetto sud consentono di evitare problemi di surriscaldamento nel periodo estivo.

In conclusione, la riqualificazione architettonica di un plesso scolastico deve riguardare la flessibilità spaziale, l'utilizzo di arredi confortevoli, materiali ecosostenibili e uno studio specifico nell'uso della luce naturale e del colore.

Risulta importante sottolineare come l'aspetto architettonico e quello pedagogico siano strettamente collegati; la trasformazione del modello educativo è imprescindibile dalla riqualificazione architettonica.

## Riqualificazione energetica

Il punto di partenza, che consente lo sviluppo di un progetto di riqualificazione energetica, consiste nella diagnosi energetica dell'edificio nella situazione ante intervento. Tale diagnosi permette di definire la classe energetica di appartenenza evidenziando le criticità sulle quali è necessario intervenire. Il progetto di efficientamento energetico dovrà riguardare tutti gli aspetti, edili ed impiantistici, che si sono rivelati carenti.

Per ridurre il fabbisogno energetico e garantire una riqualificazione energetica dell'edificio è necessario intervenire sull'involucro edilizio e sulla componente impiantistica. Gli interventi sull'involucro edilizio consistono nell'isolamento delle superfici opache verticali, orizzontali e inclinate; mentre quelli sugli impianti consistono nel migliorare l'efficienza dei sistemi di produzione termica.

Sull'involucro si può intervenire con diverse soluzioni tecnologiche che mirano a ridurre le dispersioni di calore:

- cappotto termico: rivestimento che si applica dall'esterno sulla facciata esistente, costituito da diversi materiali e spessori (lana minerale, polistirene, sugheri, materiali legnosi, ecc.) che contribuisce a migliorare l'inerzia termica della parete garantendo una continuità dell'involucro;
- insufflaggio: tecnica che prevede il riempimento delle intercapedini e dei sottotetti con un materiale termo isolante. Esistono diversi materiali che possono essere applicati con questa metodologia (perle in EPS additivate con grafite, fibra di cellulosa, lana minerale, sugheri, ecc.);
- installazione di copri davanzali termici realizzati con materiali isolanti ad alta densità che permettono l'eliminazione dei ponti termici;
- installazione di serramenti con vetri doppi o tripli basso emissivi, con telai a taglio termico ad alta efficienza energetica;
- installazione di schermature solari quali tapparelle avvolgibili coibentate che contribuiscono all'isolamento termico dell'involucro e regolano l'irraggiamento solare nella stagione estiva.

Tra i prodotti innovativi per l'isolamento termico delle superfici opache ci sono i materassini in "Aerogel" che hanno spessori compresi tra i 5 e i 10 mm e una ridotta conducibilità termica e gli intonaci termoisolanti. Altre soluzioni consistono nell'impiego di materiali innovativi come l'intonaco termoisolante, piastrelle antibatteriche con sali d'argento, biossido di titanio come elemento

autopulente e il cemento biodinamico.

Gli interventi sulla componente impiantistica, invece, hanno come obiettivo la climatizzazione invernale ed estiva con il minimo consumo energetico:

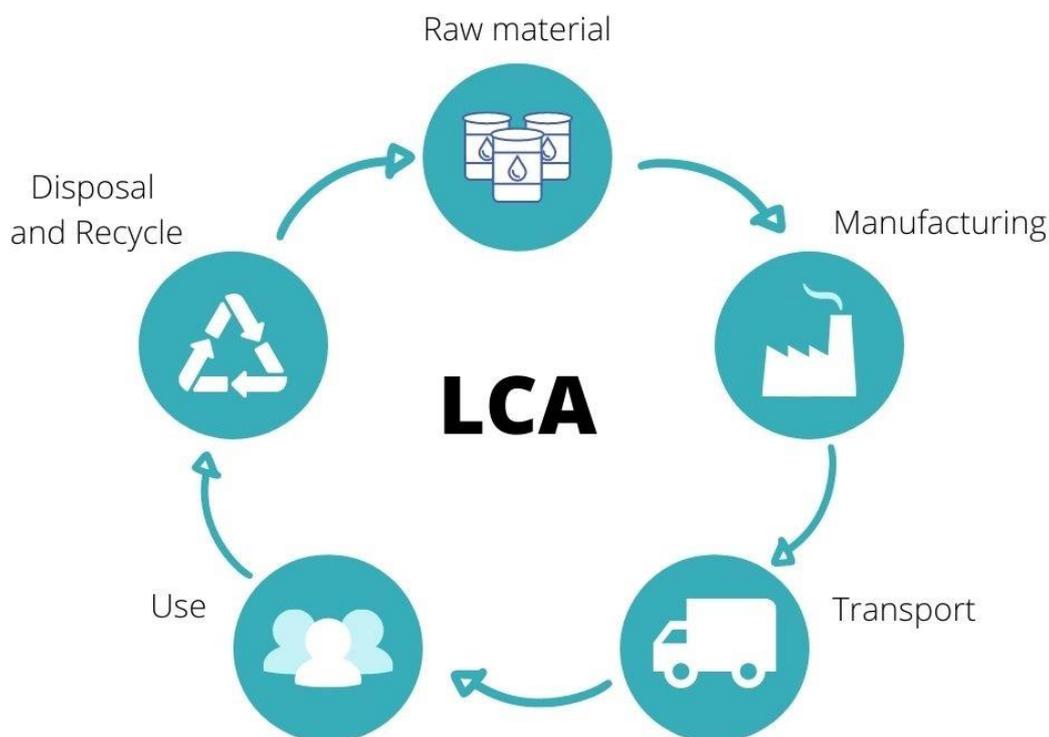
- installazione di pompe di calore a bassa temperatura per la produzione combinata di riscaldamento, raffrescamento e Acqua Calda Sanitaria (ACS);
- installazione di sistemi di termoregolazione per una migliore gestione del calore, con sistemi di telecontrollo, valvole termostatiche e contabilizzatori energetici, pompe a velocità variabile;
- installazione di Ventilazione Meccanica Controllata (VMC) con recuperatore di calore per garantire il ricambio continuo e la purificazione dell'aria interna;
- utilizzo di fonti rinnovabili quali fotovoltaico e solare termico per la produzione di elettricità e ACS;
- installazione di sistemi di microgenerazione.

Gli interventi integrati garantiscono una migliore qualità abitativa e una riduzione dei consumi. L'approccio integrato, permette l'ottimizzazione di un investimento nel tempo.

L'edificio dev'essere ripensato nel complesso, non sono sufficienti soli interventi puntuali finalizzati alla risoluzione di problematiche localizzate. La riqualificazione energetica risulta efficace quando deriva da uno studio sulla scelta dei materiali e delle soluzioni tecnologiche da adottare.

### *Life Cycle Assessment*

Il *Life Cycle Assessment (LCA)* è un metodo che permette di valutare gli impatti ambientali con riferimento all'intero ciclo di vita di un prodotto o di un servizio. Risulta importante scegliere la soluzione più ecologica dato che nella produzione si dissipa energia e nella costruzione si produce materiale di scarto.



*Figura 78 - Schema rappresentativo del Life Cycle Assessment*

La difficoltà che sorge è l'unicità di ogni processo progettuale e di conseguenza di ogni costruzione: ogni prodotto utilizzato per la realizzazione di un edificio comporta degli impatti ambientali dalla sua realizzazione fino al suo smaltimento, così come accade per l'intero sistema edificio.

L'analisi LCA risulta quindi uno strumento di progettazione per la scelta dei materiali da costruzione, per le tecniche costruttive, per gli impianti da installare, per la modalità di gestione e per la demolizione dell'edificio. Si tratta, infatti, di tutti i processi che contraddistinguono la vita di un edificio, ognuno con diversi impatti ambientali.

#### AIPE

L'Associazione Italiana Polistirene Espanso (AIPE)<sup>32</sup> è impegnata da sempre a divulgare l'elevata qualità prestazionale dell'EPS dichiarando che è un materiale durevole con caratteristiche che rimangono immutate almeno per 50 anni di vita in condizioni idonee di impiego (AIPE, 2018).

Nel settore delle costruzioni è necessario valutare l'energia necessaria per il funzionamento

---

<sup>32</sup>Associazione senza fini di lucro costituita nel 1984 al fine di promuovere e tutelare l'immagine del polistirene espanso sinterizzato di qualità e di svilupparne l'impiego.

dell'edificio, poiché è da questa che dipendono le emissioni di CO<sub>2</sub> e i consumi energetici. È importante scegliere materiali di buona qualità, perché le caratteristiche dei materiali impiegati nella realizzazione dell'edificio determinano una percentuale sui consumi.

In fase di costruzione i consumi possono essere definiti come energia grigia, ossia l'energia impiegata durante la realizzazione, il trasporto, l'installazione, la sostituzione del prodotto.

Il settore dell'edilizia è infatti responsabile di circa il 30% dei consumi energetici italiani, il ruolo degli isolanti termici consiste proprio nel contribuire alla riduzione dei consumi termici per la climatizzazione. I benefici, associati all'impiego di materiali utilizzati per la coibentazione dell'edificio, derivano dalla diminuzione della domanda di energia sia per il riscaldamento che per il raffrescamento.

Grazie a studi di tipo LCA svolti dell'AIPE si è dimostrato che per 1 MJ di energia consumata per la produzione di un pannello isolante in EPS (spessore 10 cm con densità 25 kg/m<sup>3</sup>) è possibile risparmiare, durante 10 anni di vita in opera, l'emissione di circa 1 Kg di CO<sub>2</sub>.

Il comportamento del pannello nel tempo è invariabile ed è caratterizzato da qualità intrinseche di non degradabilità, di non putrescibilità, di resistenza alle muffe e di stabilità.

Alla fine del ciclo di vita, il materiale viene avviato a riciclo o a termovalorizzazione in modo da recuperare l'energia contenuta. Gli sbocchi di riutilizzo dell'EPS, dopo essere stato riciclato sono:

- utilizzo nella produzione di nuovi articoli in EPS tramite macinazione e frantumazione ;
- utilizzo sottoforma di inerte leggero in calcestruzzi alleggeriti;
- trasformazione in granulo di polistirene compatto;
- recupero energetico tramite combustione con produzione di calore che permette il recupero dell'energia spesa durante la produzione del manufatto (energia di feedstock).

Il bilancio energetico-ambientale dei materiali isolanti per l'edilizia riveste un ruolo molto importante e singolare in tutto lo scenario dei materiali da costruzione. Gli isolanti termici durante tutta la loro fase di utilizzo generano una sorta di credito energetico proporzionale alla loro durata. Isolanti che permettono di dichiarare il mantenimento delle proprie caratteristiche fisico-meccaniche dichiarano la propria durata prestazionale e l'EPS dichiara una durata di almeno 50 anni secondo norma di prodotto specifica (UNI EN 13163) (AIPE, 2018).

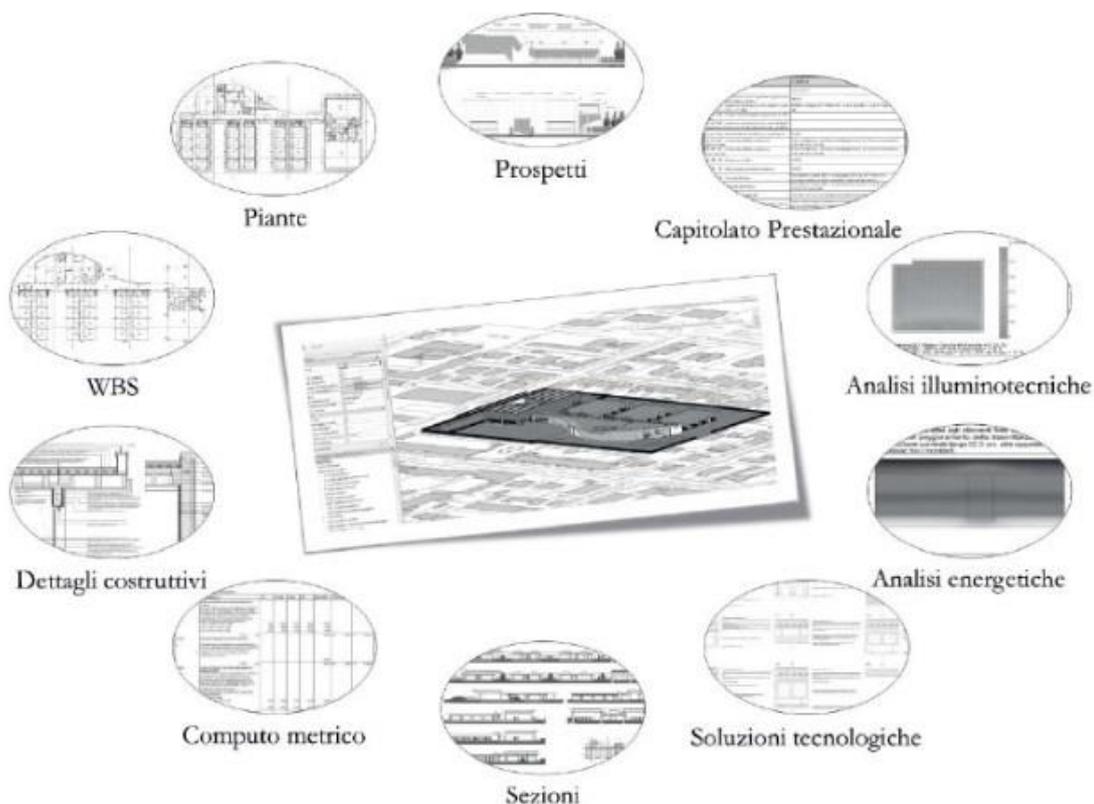
## Modellazione del progetto - BIM 3D

La fase di progettazione è il fulcro della modellazione BIM in quanto ha innumerevoli vantaggi sia in termini di rapidità e di precisione con cui vengono realizzati gli elaborati, sia in termini di controllo di rispondenza alle richieste espresse dal committente, tramite l'uso continuo di analisi dinamiche e la verifica dei feedback, seguendo un approccio di tipo iterativo.

L'impostazione di un processo di modellazione informativa permette di avere un progetto completo, chiaro e congruente. Tutti gli elaborati di progetto derivano da un unico modello tridimensionale digitale che contiene tutte le informazioni dell'edificio, strutturate secondo una codifica descritta nel capitolato informativo, in modo da identificare univocamente ogni elemento tecnico e ogni unità ambientale facente parte del progetto. L'informazione viene inserita una sola volta, secondo delle regole codificate e comuni; pertanto, tutti gli elaborati che riportano quell'informazione sono coerenti e congruenti tra loro. Le discipline di progetto crescono insieme all'interno del modello, è quindi possibile in ogni momento vedere se le scelte strutturali e impiantistiche sono congruenti tra di loro e se creano errori di posizionamento o interferenza spaziale con il progetto architettonico. Nel capitolato informativo devono essere contrattualizzate anche le regole di verifica per la Clash Detection, ovvero verifica delle interferenze tra i vari modelli, definendo le tolleranze di interferenza in relazione al livello di progettazione da eseguire.

Un altro enorme vantaggio della modellazione informativa è la possibilità di verificare se il progetto rispetta tutte le normative cogenti o volontarie, richieste nel contratto. La verifica può essere eseguita sia a livello spaziale, controllando, ad esempio, le dimensioni minime dei locali, la larghezza dei corridoi, la lunghezza delle vie di fuga, il senso di apertura delle porte sulle vie di esodo, ecc., sia a livello di parametri associati ad ogni elemento; ad esempio: se le trasmittanze degli elementi tecnici sono conformi o meno con i regolamenti regionali o nazionali, le tipologie delle superfici di finitura, le caratteristiche REI delle porte e delle partizioni, la presenza degli impianti necessari per la protezione al fuoco (estintori, naspi, ecc.). Questa verifica del progetto viene fatta dai progettisti ma deve essere richiesta e controllata dalla committenza, definendo le modalità di federazione dei modelli. Le verifiche eseguite su modello BIM danno al committente una panoramica completa dei costi progettuali e dei requisiti di progetto.

Gli elaborati derivabili dal modello BIM sono di natura grafica (piante, prospetti, sezioni, layout distributivi, dettagli costruttivi, stratigrafie, ecc.) e di natura documentale (computi metrici estimativi, capitolato prestazionale, contabilità, ecc.).



*Figura 79 - Elaborati derivabili da modello BIM*

Avere un progetto esente da incongruenze consente di ovviare ai più comuni errori di progettazione, che portano a varianti in corso d'opera, o, nella peggiore delle ipotesi, a riprogettazioni in fase esecutiva, con ingenti perdite di tempo e aumenti di costi. È inoltre possibile avere un monitoraggio costante sul progetto, valutando, in relazione alle prestazioni residue, la riduzione del gap tra esistente e soluzione proposta, controllando in parallelo i costi.

Per poter ottenere il massimo dei vantaggi dall'uso della metodologia BIM è opportuno sapere in che modo si vuole costruire il modello e quale sarà il dettaglio del contenuto informativo. "Begin with the end in mind", iniziare con la fine in mente, è l'unico modo per rendere il BIM efficiente ed efficace (Tagliabue & Villa, *Il BIM per le scuole: Analisi del patrimonio scolastico e strategie di intervento*, 2017).

Le classificazioni internazionali riportano diverse strutture; ad esempio, la classificazione impostata dall'American Institute of Architects (AIA) suddivide in 5 livelli di sviluppo le informazioni che caratterizzano i modelli BIM, identificando i LOD come i livelli attraverso i quali l'informazione del modello si implementa, si completa e raggiunge un maggior grado di affidabilità. Nell'ambito pubblico il riferimento rimane la normativa vigente in merito ai contenuti minimi dei livelli della progettazione, dove è definito il dettaglio degli elaborati da consegnare al committente, il contenuto

informativo, e gli obiettivi di ogni livello (progetto di fattibilità tecnico-economica, progetto definitivo, progetto esecutivo).

#### BIM Execution Plan

Il BIM Execution Plan (BEP), piano di gestione informativa, è un documento scritto che gestisce le informazioni BIM, aiutando il team di progettazione a gestire il flusso di lavoro per raggiungere e rispettare gli obiettivi posti e definisce i ruoli e le responsabilità di tutti i componenti.

Il BEP garantisce che tutte le informazioni siano ottimizzate e che il progetto continui ad avanzare nei tempi previsti.

Quindi lo scopo del BEP è quello di definire gli obiettivi della progettazione BIM; di decidere il LOD di progettazione; di indicare gli standard e le procedure del flusso di lavoro; di definire la matrice delle responsabilità.

Riferimento al caso studio: scuola "Dante Alighieri"

Analisi dell'intervento realizzato

**Riqualificazione architettonica e del modello educativo:**

L'intervento realizzato ha parzialmente coinvolto l'aspetto architettonico e compositivo del plesso scolastico. La distribuzione degli spazi interni, i loro collegamenti e il rapporto con gli spazi esterni non sono stati oggetto della riqualificazione. Lo stesso modello educativo non è stato ripensato con la formazione di nuove spazialità.



*Figura 80 - La scuola primaria "Dante Alighieri" di Melegnano come si presenta dopo i lavori (8 agosto 2022)*

In conclusione, l'intervento ha riguardato principalmente la riqualificazione energetica del plesso.

**Riqualificazione energetica:**

La diagnosi energetica condotta per il plesso scolastico nella sua situazione ante intervento, ha attribuito all'edificio la classe energetica F. Questa classificazione evidenzia la necessità di un intervento volto a rendere l'edificio meno energivoro.

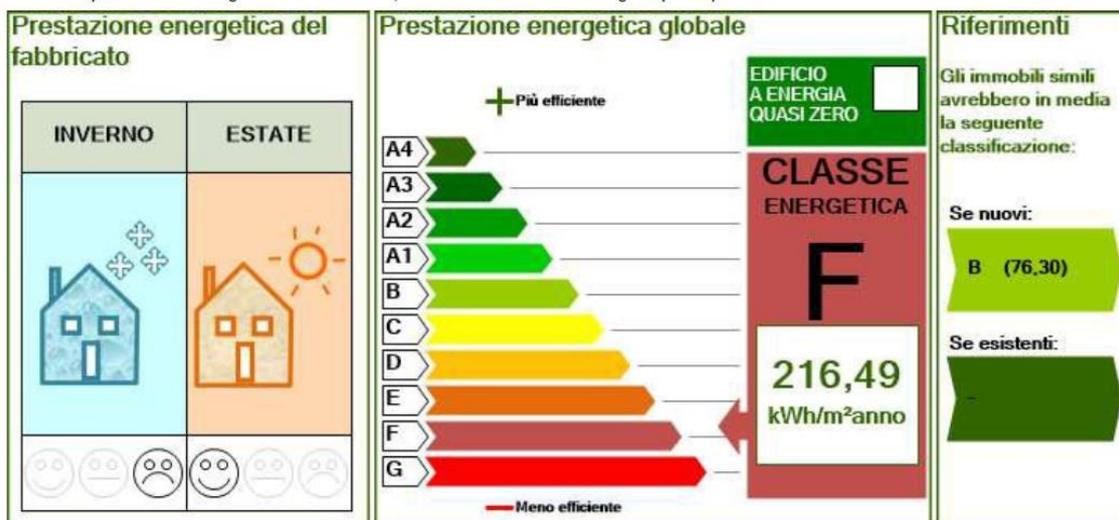


Figura 81 - Meleto classe energetica ante intervento

Gli interventi realizzati hanno avuto come obiettivo quello di migliorare la prestazione energetica del fabbricato e possono essere raggruppati nelle seguenti tipologie:

1. Isolamento involucro opaco con sistema “a cappotto”

L'intervento prevede la coibentazione delle pareti perimetrali mediante l'applicazione di un sistema “a cappotto” conformemente a quanto previsto dal Decreto Requisiti Minimi e con caratteristiche e prestazioni termiche idonee alla richiesta del fabbisogno dell'edificio stesso.

Tale isolamento esterno è stato realizzato in lastre di Polistirene Espanso Sinterizzato (EPS) spessore 12 cm applicato integralmente su tutte le superfici opache, prevedendo gli opportuni risvolti da 4 cm sugli sporti di copertura e sulle spallette dei serramenti, ove possibile, in modo da minimizzare le dispersioni termiche relative ai ponti termici. A tale scopo sono stati installati dei copri davanzali isolati in EPS in corrispondenza di tutti i serramenti.

2. Isolamento coperture in estradosso

Sono state rifatte le coperture di entrambi i corpi di fabbrica seguendo due strategie diverse, conformi alla tipologia della copertura esistente:

- Corpo A – Copertura a due falde con tegole di laterizio: è stata realizzata una nuova copertura mediante la posa di pannelli sandwich costituiti da uno strato di lamiera grecata accoppiata con strato in poliuretano tipo Isopan, fissati con appositi ancoraggi alla soletta esistente, spessore 12 cm. Sono stati previsti idonei fissaggi per la successiva posa di impianto fotovoltaico sulla falda sud.

- Corpo B – Copertura piana con guaina bitumata: è stato steso uno strato di isolamento in pannelli di schiuma polyiso espansa rigida (PIR), spessore 12 cm posati direttamente sulla finitura esistente. Una volta posizionato e fissato l'isolamento, è stata stesa una doppia guaina bitumata con scaglie di ardesia in modo tale da rivestire anche gli sporti verticali e garantire un' impermeabilizzazione dell'intera superficie.

Per entrambi i plessi sono state realizzate nuove lattonerie in lamiera preverniciata di colore scuro quali grondaie, scossaline e pluviali.

### 3. Sostituzione dei serramenti

L'intervento ha riguardato la sostituzione di tredici finestre e due porte esistenti in alluminio o legno, a vetro singolo, con una o due ante battenti, con serramenti in PVC a 5 camere con taglio termico, colore bianco, vetrocamera con doppio vetro 4 + 18 Argon canalina calda + 3+3 Basso Emissivo magnetronico, e con caratteristiche e prestazioni termiche idonee alla richiesta del fabbisogno energetico dell'edificio stesso.

Le scelte del layout dei nuovi serramenti sono state dettate da motivi funzionali e di uniformità dell'estetica dell'edificio nonché di contenimento dei costi; a tale scopo si è optato per installare nuove porte e finestre ad anta singola battente con apertura anta/ribalta. Tali serramenti oltre a garantire il fabbisogno di superficie aero illuminante dei locali necessario al rispetto delle normative vigenti, danno migliore garanzia di tenuta e risultano più funzionali nell'apertura e migliori per la manutenzione e pulizia degli stessi.

Non sono stati previsti dei sistemi di oscuramento o di schermatura solare.

### 4. Riqualificazione impianto di climatizzazione

L'impianto termico esistente consisteva in un impianto tradizionale costituito da caldaie per la produzione del calore, impianto di distribuzione a due tubi non isolati e radiatori per il riscaldamento in ambiente. Non è presente alcun impianto di raffrescamento estivo.

Il progetto ha previsto un impianto di climatizzazione estivo-invernale del tipo ad espansione diretta VRF composto da:

- n.1 unità motocondensante esterna a ciclo reversibile in pompa di calore, installata sulla copertura piana del Corpo B;
- unità interne ad espansione diretta incassate a controsoffitto oppure a vista a parete/pavimento (tipo ventilconvettore) per l'emissione del calore in ambiente;
- collegamenti effettuati con tubazioni in rame assemblate mediante saldobrasatura;

- impianto di termoregolazione climatico e per singolo ambiente.

L'intervento è completato da un impianto di rinnovo aria primaria con recupero di calore della sala convegni al piano terra ed estrattori aria viziata dai servizi igienici.

#### 5. Riqualificazione impianto di illuminazione

L'illuminazione artificiale dell'edificio esistente avveniva mediante lampade fluorescenti a plafone/sospensione, senza possibilità di regolazione dell'intensità del flusso luminoso. Il progetto ha previsto un sistema LED dotato di regolazione DALI<sup>33</sup> con queste caratteristiche:

- apparecchi luminosi led;
- sensori di luminosità-presenza per ciascun ambiente con occupazione continua;
- sensori di presenza vie di transito e servizi igienici;
- supervisione mediante impianto BMS.

L'impianto di illuminazione si completa delle luci di emergenza eseguite secondo la norma tecnica vigente.

#### 6. Installazione impianto fotovoltaico

Con l'obiettivo di trasformare l'edificio in NZEB, è stato installato un impianto fotovoltaico della potenza nominale di 6 kWp sulla copertura inclinata del Corpo A mediante fissaggio ottimizzato per la nuova copertura grecata. L'installazione è stata del tipo "parzialmente integrata". Non è stata prevista l'installazione di una batteria di accumulo.

#### 7. Impianto BMS

In base alla norma UNI EN 15232, ai fini della classificazione NZEB, la struttura è stata dotata di un impianto di supervisione e telegestione BMS attraverso il quale si possono gestire da remoto gli impianti, definire le modalità di funzionamento ed i setpoint, eseguire manutenzioni puntuali e preventive, ottimizzare il funzionamento nelle diverse stagioni con l'obiettivo di fornire il comfort agli utenti e ridurre i consumi energetici dell'edificio.

L'impianto BMS si interfaccia con gli impianti di climatizzazione, illuminazione e fotovoltaico, e può:

- acquisire informazioni relative a condizioni di normale funzionamento ed anomalia degli impianti;
- operare sulla base della programmazione effettuata, in relazione alle informazioni di cui

---

<sup>33</sup>Sistema che permette di programmare in modo automatico l'accensione e lo spegnimento delle luci.

sopra ed alle condizioni imposte, allertando gli addetti alla supervisione e manutenzione e attuare, ove previsto, le procedure correttive;

- fornire memoria storica delle principali attività in supporto ai normali programmi di manutenzione dei diversi sistemi impiantistici;
1. il sistema è remotizzato mediante web-browser con pagine video-grafiche attraverso le quali sarà possibile: visualizzare lo stato degli impianti; rilevare eventuali allarmi; modificare i setpoint e gli orari di funzionamento; monitorare i consumi energetici degli impianti.

Il sistema di supervisione acquisisce una serie di segnali “distribuiti” sui diversi quadri e apparecchiature mediante interfacce dedicate per l’acquisizione delle variabili in campo.

#### 8. Impianto di contabilizzazione

La riqualificazione del sistema edificio-impianto è regolamentata da un contratto Energy Performance Contract (EPC) che prevede la misura dell’energia risparmiata con l’intervento di efficientamento energetico e più specificatamente dell’impianto di riscaldamento ed illuminazione. Per l’impianto di illuminazione è stata prevista la contabilizzazione dedicata dell’energia elettrica consumata mentre per l’impianto di riscaldamento, essendo del tipo VRF, per il quale non è possibile la misura diretta mediante contacalorie, si prevede una contabilizzazione basata su algoritmo di calcolo in grado di interpolare il punto di lavoro ad intervalli prefissati con il campionamento di parametri termoigrometrici (temperatura/umidità esterna e interna), della quota di carico delle unità interne (attraverso la lettura dello stato di apertura delle valvole di espansione del gas refrigerante) e dei consumi di energia elettrica dell’impianto VRF.

#### **Modellazione del progetto - BIM 3D:**

Dalla consultazione del BEP redatto appositamente per il caso studio, è possibile ricavare le informazioni per la modellazione.

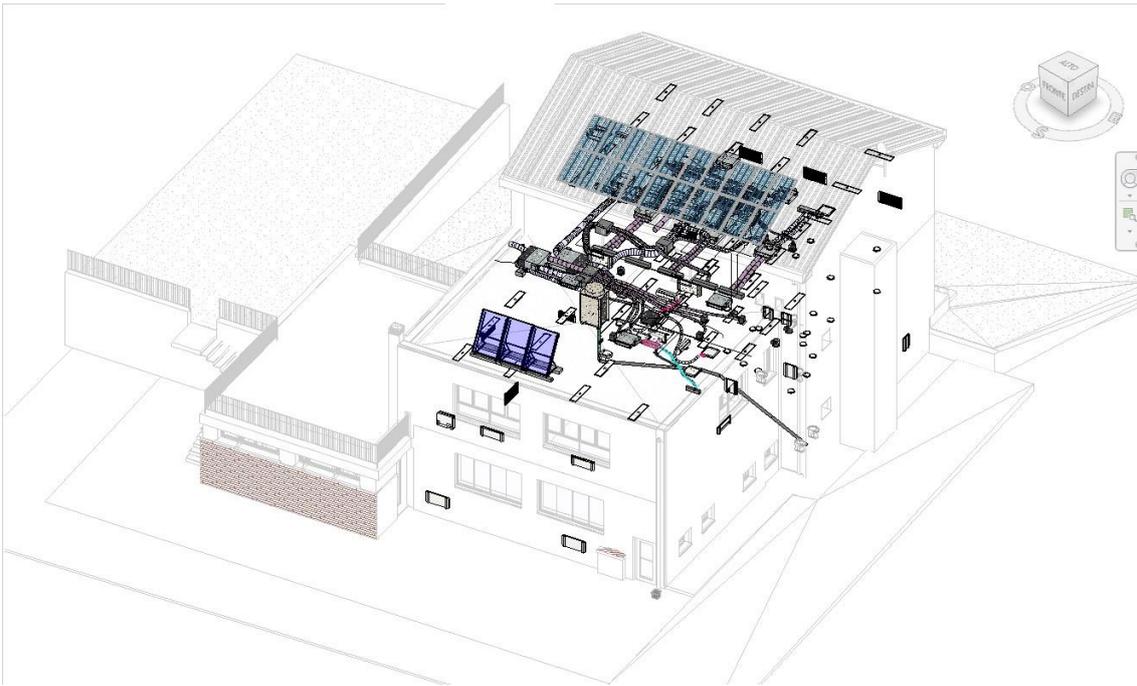
Per la modellazione BIM architettonica ed impiantistica il software di riferimento è Revit della Autodesk. Il livello di dettaglio per la fase della progettazione esecutiva è quello di LOD C (oggetto definito). Gli elementi del modello vengono visualizzati graficamente in tre dimensioni, con caratteristiche quantitative e qualitative definite nel rispetto dei limiti delle norme tecniche di riferimento.

LOD A	LOD B	LOD C	LOD D	LOD E	LOD F	LOD G
<b>Geometria</b> Elemento architettonico verticale o pseudovericale rappresentato mediante un simbolo 2D.	<b>Geometria</b> Solido generico per rappresentazione elemento architettonico verticale o pseudovericale con forma, spessore e posizione approssimata.	<b>Geometria</b> Elemento architettonico (sistema e sottosistema) verticale o pseudovericale rappresentato con ingombri calcolati secondo la normativa tecnica.	<b>Geometria</b> Elemento architettonico verticale o pseudovericale rappresentato mediante un solido avente dimensioni pari alle dimensioni reali. Sono modellate tutte le stratigrafie.	<b>Geometria</b> Elemento architettonico verticale o pseudovericale rappresentato mediante un solido avente dimensioni pari alle dimensioni reali. Sono incluse tutte le stratigrafie, i dati specifici del fornitore dei materiali e le finiture.	<b>Geometria</b> Oggetto parete.	<b>Geometria</b> Oggetto parete.
<b>Oggetto</b> Grafica 2D (linee e campiture 2D)	<b>Oggetto</b> Solido 3D	<b>Oggetto</b> Solido 3D strutturato	<b>Oggetto</b> Solidi 3D complesso	<b>Oggetto</b> Solidi 3D complesso	<b>Oggetto</b> Solidi parete completa	<b>Oggetto</b> Solidi parete
<b>Caratteristiche</b> • Posizionamento di massima	<b>Caratteristiche</b> • Semplici geometrie di ingombro	<b>Caratteristiche</b> • Spessore • Lunghezza • Larghezza • Volume • Definizione dei materiali	<b>Caratteristiche</b> • Definizione stratigrafie dettagliate • Spessori componenti • Struttura • Isolamento • Camera d'aria	<b>Caratteristiche</b> • Tipo finitura interna • Superficie finitura interna • Tipo finitura esterna • Superficie finitura esterna	<b>Caratteristiche</b> • Manuale di manutenzione • Classificazione (UNI 8200, CSI, etc.) • Certificazioni di prodotto	<b>Caratteristiche</b> • Data di manutenzione

Figura 82 - Level of Development - LOD C

In riferimento alla modellazione del cappotto termico, nel caso studio, questa è stata eseguita secondo la metodologia convenzionale che considera il cappotto come un'ulteriore parete addossata all'esistente. Questa metodologia consente una modellazione più veloce ma allo stesso tempo comporta delle approssimazioni che non consentono lo sviluppo di determinati punti critici. Utilizzando l'elemento *muro* per questa tipologia d'intervento, risulta difficile gestire i particolari costruttivi, inoltre, la modellazione vuoto per pieno spesso spregia degli sfridi eccessivi che comportano una stima dei costi errata oltre che uno spreco di materiale.

Il metodo di lavoro ha previsto l'utilizzo dei workset che consentono la collaborazione di diverse figure professionali ciascuna incaricata della modellazione del proprio ambito. Questo metodo permette di gestire dei file più leggeri pur mantenendo la possibilità del controllo delle interferenze "Clash Detection". Per il caso studio in esame sono stati creati due workset, uno per la progettazione architettonica e uno per il MEP.



*Figura 83 - Modello Revit workset MEP*

La modellazione impiantistica dettagliata del progetto agevola la fase costruttiva, dando evidenza del reale posizionamento degli apparecchi, e risulta fondamentale nella fase di Facility Management.

## Proposta alternativa

### Riqualificazione architettonica e del modello educativo:

La soluzione d'intervento alternativa che si intende proporre nella presente ricerca, riguarda una riqualificazione globale dell'edificio, che, oltre all'efficientamento energetico, coinvolge anche l'aspetto architettonico e dell'apprendimento.

Nella soluzione proposta, la riqualificazione architettonica riguarda i seguenti aspetti:

- la creazione di un nuovo distributivo interno tramite arredi componibili e la formazione di uno spazio "filtro" allineato verticalmente in modo tale da poter ospitare un ascensore e mettere in collegamento i due corpi fabbrica principali;
- Il ridisegno della facciata attraverso la realizzazione di aperture nei muri perimetrali tali da mettere in collegamento gli spazi interni ed esterni.

Al piano terra è stata realizzata un'apertura verso l'esterno in corrispondenza della sala mensa così da rendere permeabile questo spazio anche per la collettività al di fuori dall'orario scolastico.

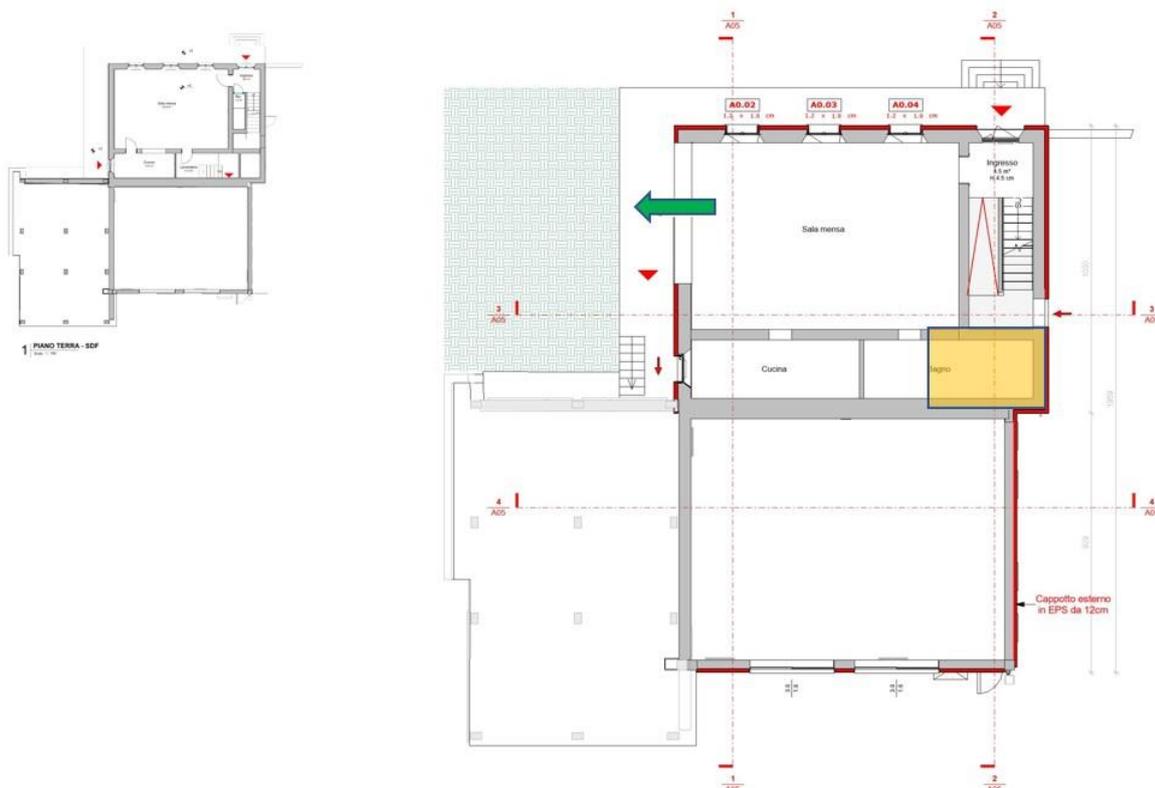
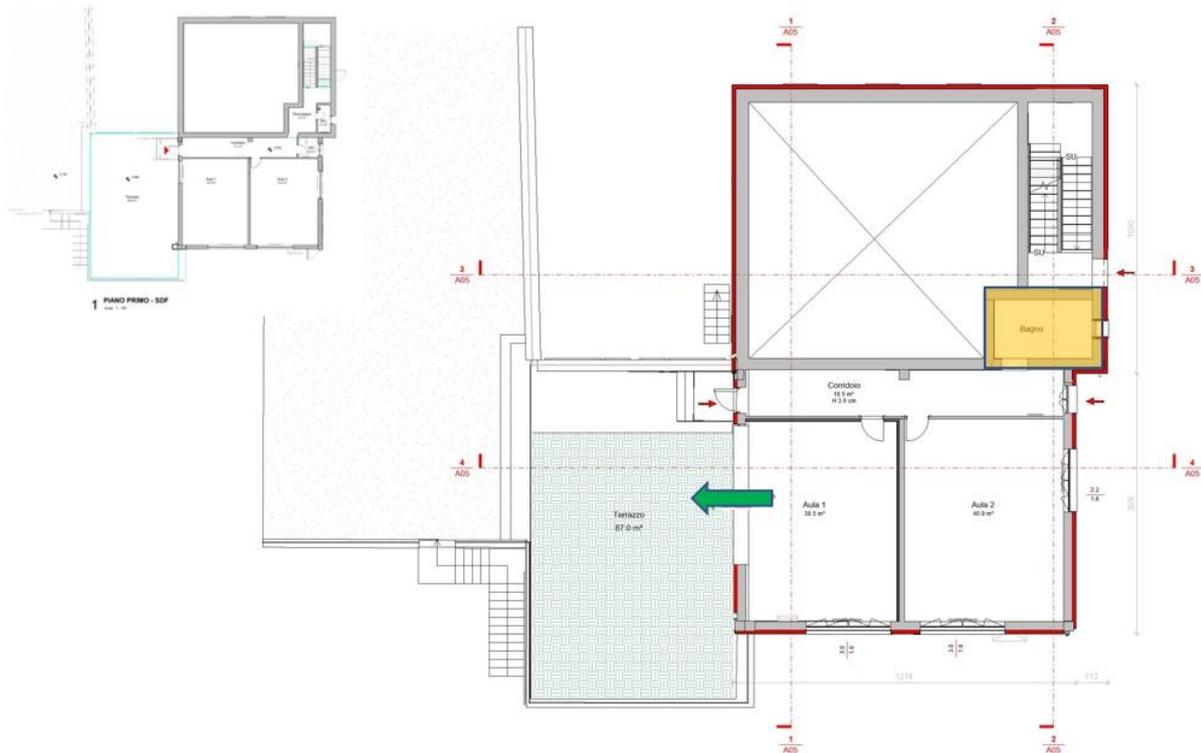


Figura 84 - Piano terra - progetto alternativo

Questa apertura comporta il ridisegno della facciata secondo una concezione più moderna

caratterizzata da ampie vetrate che permettono una connessione fisica tra gli spazi interni ed esterni. L'impiego dell'illuminazione naturale gioca un ruolo fondamentale nel ripensamento degli spazi interni che possono così usufruire della massima flessibilità. Il comfort climatico degli spazi interni è stato migliorato grazie all'utilizzo di schermature solari regolabili che permettono di gestire al meglio l'irraggiamento solare.



*Figura 85 - Piano primo - progetto alternativo*

Infine, l'arredamento interno caratterizzato da elementi mobili e componibili contribuisce alla riconfigurazione degli spazi interni e dei distributivi.

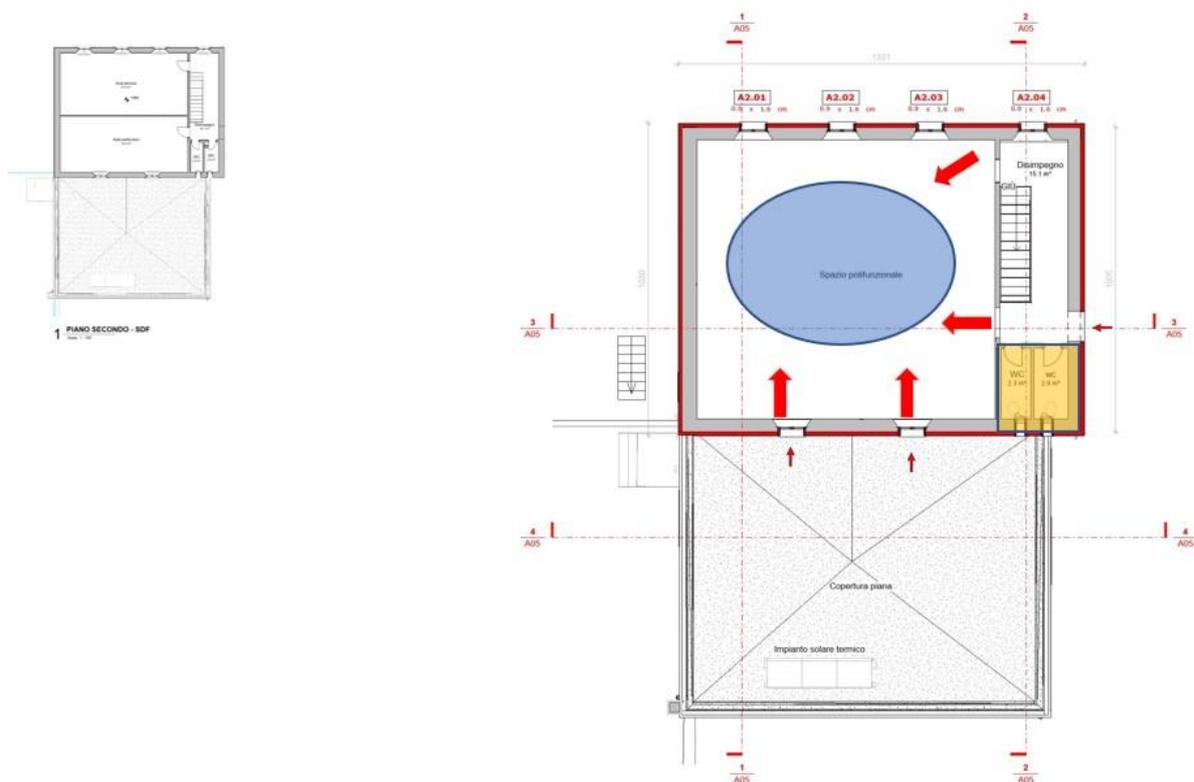
La riqualificazione del modello educativo riguarda i seguenti aspetti:

- La formazione di open space, flessibili, configurabili e adattabili alle diverse esigenze educative e sociali;
- L'utilizzo di un arredo confortevole e colorato che supera la concezione di cattedra e banchi;
- L'apertura verso gli spazi esterni con il duplice valore di sviluppo del senso civico e di appartenenza alla collettività e di estensione delle aule verso spazi verdi capaci di stimolare

e accrescere i processi psico-cognitivi dell'alunno;

- L'impiego di materiali eco-sostenibili e di fonti rinnovabili quali strumenti di apprendimento che possono essere studiati come esempi concreti di innovazione.

Al piano primo, la copertura piana degli spogliatoi può essere utilizzata come un'estensione a cielo aperto dell'aula prospiciente. Un collegamento fisico e visivo che permette di relazionare questi spazi in un reciproco dialogo collaborativo. La flessibilità spaziale permette di adottare molteplici soluzioni che possano meglio adattarsi ad un nuovo modello educativo.



*Figura 86 - Piano secondo - progetto alternativo*

All'ultimo piano è stato creato un open space polifunzionale caratterizzato dalla presenza di quattro differenti accessi che permettono, all'occorrenza, di ottenere fino a quattro laboratori indipendenti.

#### **Riqualificazione energetica:**

Il progetto di efficientamento energetico del plesso scolastico era già stato ampiamente sviluppato nella casistica reale, tanto da consentire all'edificio di ottenere la classificazione di NZEB. Tutti gli

interventi, edili e impiantistici, sono stati sviluppati in piena sinergia bilanciando l'isolamento termico dell'involucro edilizio con le prestazioni impiantistiche.

Alcune considerazioni restano ugualmente possibili sia da un punto di vista architettonico che impiantistico. Nell'ambito della sostituzione dei serramenti, sarebbe stato opportuno prevedere l'installazione di schermature solari e di chiusure oscuranti motorizzate. Le schermature solari consentono di regolamentare l'irraggiamento estivo contribuendo a migliorare il comfort termico. A livello impiantistico, considerando l'installazione di un impianto fotovoltaico da 6 kW, era possibile integrare il sistema con una batteria di accumulo e una colonnina di ricarica per i veicoli elettrici. Questi ulteriori interventi consentono di valorizzare la classificazione di edificio NZEB, sfruttando a pieno l'energia prodotta da fonti rinnovabili.

### Modellazione del progetto - BIM 3D:

Una modellazione BIM riguarda sia l'aspetto geometrico che quello parametrico. Per questo la modellazione avviene contemporaneamente in forma grafica e aggiungendo ad ogni singolo componente tutte le informazioni necessarie. La soluzione alternativa proposta è stata condotta con una modellazione BIM che prevede la caratterizzazione degli elementi del modello e la compilazione dei dati di *Tipo* e *Istanza*.

In riferimento alla modellazione del cappotto termico, è possibile attribuire una descrizione specifica del *Tipo* così da essere univoca per tutti gli elementi appartenenti a quella tipologia.

Dati identità	
Immagine tipo	Sirapor EPS 150 eco.jpg
Nota chiave	Mb/3
Modello	Sirapor EPS 150 ECO
Produttore	Soprema srl
Commenti sul tipo	Isolamento
URL	<a href="https://www.soprema.it/it/product/isolamento-termico/eps-conforme-cam/sirapor-eps-150-eco">https://www.soprema.it/it/product/isolamento-termico/eps-conforme-cam/sirapor-eps-150-eco</a>
Descrizione	Cappotto esterno in EPS da 12cm
Descrizione assieme	
Codice assieme	M.01.030
Contrassegno tipo	M30
Resistenza al fuoco	E - EN 13501-1
Costo	
Conduttività termica	0,034 W/mK
Descrizione estesa	Lastre isolanti di polistirene espanso di colore bianco ricavate da blocco, con marcatura CE secondo

Figura 87 - Finestra delle proprietà del Tipo

All'interno della finestra delle proprietà del *Tipo* è possibile inserire tutte le informazioni che vanno a descrivere quel componente andando a popolare tutti i campi disponibili. Nello specifico, sul campo Descrizione è stata inserita la dicitura "Cappotto esterno in EPS da 12cm".

È possibile poi creare un'etichetta parametrica che legga la descrizione di questo elemento in modo da aggiungere le annotazioni negli elaborati grafici che andranno in cantiere.

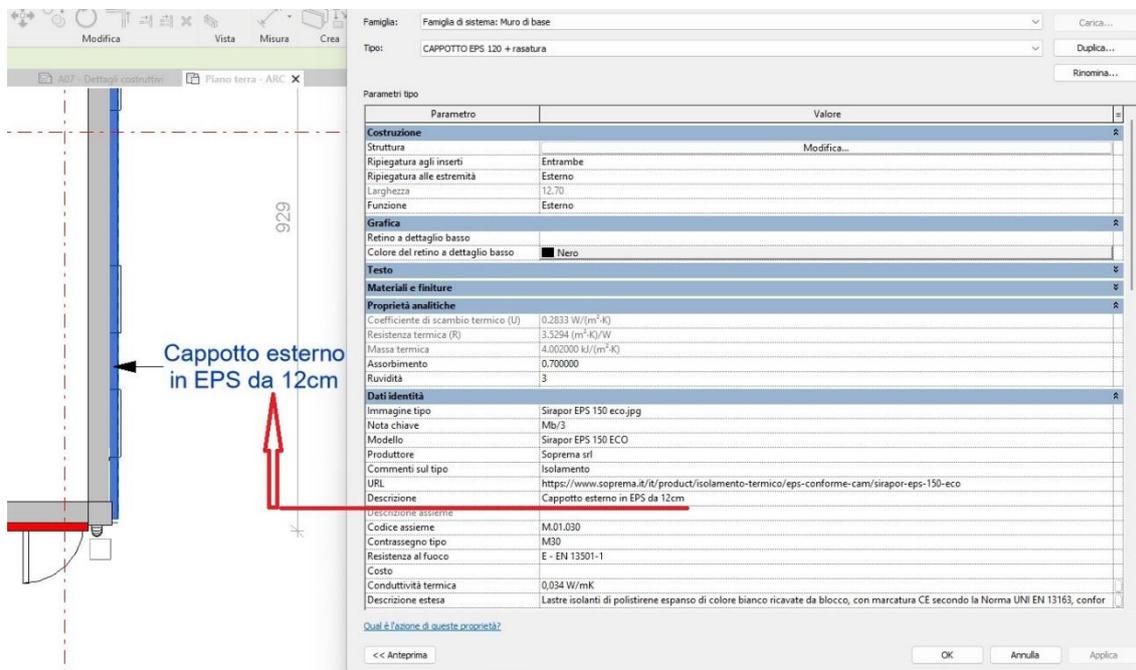


Figura 88 - Visualizzazione dell'etichetta e della descrizione

Questa etichetta è di tipo parametrico, quindi, ogni volta che viene modificata la descrizione dell'elemento, l'etichetta si aggiorna automaticamente su tutte le viste.

## COSTRUZIONE, GESTIONE E MANUTENZIONE

In questo capitolo si intende descrivere come ottimizzare i tempi di cantiere, quando ricorrere alla prefabbricazione e come allungare il ciclo di vita dell'edificio programmando la manutenzione.

“This reflects our belief that BIM is not a thing or a type of software but a human activity that ultimately involves broad process changes in construction” (Sacks, Eastman, Lee, & Teicholz, 2018).

### Pianificazione- BIM 4D

La metodologia BIM consente di automatizzare la progettazione, svolgere operazioni di prefabbricazione e simulare le attività di cantiere; processi quali la progettazione di elementi prefabbricati consentono di ridurre notevolmente i tempi di realizzazione dell'intervento. Il modello, essendo parametrico, può essere facilmente modificato e aggiornato così da facilitare il coordinamento in fase di progettazione e semplificare di conseguenza la fase di cantiere. Tutto questo aiuta a determinare una previsione precisa e sicura dei tempi di consegna (Tagliabue & Villa, *Il BIM per le scuole: Analisi del patrimonio scolastico e strategie di intervento*, 2017).

L'ottimizzazione delle risorse in cantiere è resa possibile dalla stima e dalla programmazione delle fasi realizzative dell'opera; infatti, risulta di fondamentale importanza redigere il cronoprogramma dei lavori e il diagramma di Gantt per la gestione temporale del cantiere.

La metodologia BIM permette di gestire e riorganizzare le fasi operative in maniera dinamica favorendo il monitoraggio dello stato di avanzamento dell'opera ed il controllo delle conferme d'ordine con verifica delle consegne del materiale. Risulta di fondamentale importanza poter visualizzare l'andamento del cantiere già in fase di progettazione al fine di pianificare correttamente tutte le attività in successione temporale.

Il metodo BIM 4D consente di creare collegamenti interattivi tra il modello digitale e le informazioni temporali relative all'esecuzione delle diverse attività necessarie per la realizzazione dell'opera. La norma UNI 11337-1 definisce il BIM 4D come: “la simulazione dell'opera o dei suoi elementi in funzione del tempo, oltre che dello spazio”. Il modello consente di realizzare simulazioni realistiche dell'andamento del cantiere al fine di identificare tutte le attività, visualizzare lo stato di avanzamento e prevenire i problemi legati agli aspetti sequenziali del processo di cantierizzazione di un'opera.

Queste informazioni consentono di sviluppare una pianificazione accurata e affidabile poiché basata

su informazioni federate che rende il processo sicuro, rileva i conflitti tra le diverse attività e limita l'insorgere di imprevisti con un conseguente risparmio economico. La modellazione 4D permette di associare le attività da svolgere ai tempi di esecuzione, la pianificazione dinamica diventa un aspetto essenziale della progettazione permettendo di prevedere i conflitti spazio-temporali e di aggiornare in tempo reale l'intero flusso di lavoro.

Nel seguito vengono riportati i principali vantaggi di una progettazione BIM 4D:

- pianificazione e programmazione;
- aggiornamento real-time;
- monitoraggio del progetto;
- prevenzione e risoluzione dei conflitti;
- sicurezza in cantiere.

I software di modellazione BIM 4D consentono di gestire le informazioni relative ai tempi realizzativi dell'opera e all'organizzazione del cantiere, è possibile visualizzare delle animazioni che, sulla base di tali informazioni, riproducono la reale progressione delle lavorazioni e l'avanzamento del cantiere fino alla sua completa realizzazione.

#### BIM e cantiere

Gli ambienti di modellazione 4D consentono di ottimizzare il processo costruttivo così da ridurre al minimo i tempi realizzativi e lo spreco di materiale al fine di soddisfare le richieste della committenza. La qualità dell'opera è migliorata da un'efficiente comunicazione e uno scambio di informazioni integrato tra tutte le figure che concorrono alla realizzazione del progetto. In un ambiente 4D, infatti, tutte le risorse vengono collegate alla pianificazione delle attività consentendo una gestione più agevole delle sequenze costruttive, delle varianti in corso d'opera e di un confronto tra scenari alternativi.

Questo metodo consente di ottenere un processo costruttivo significativamente più efficace, maggiormente affidabile e sicuro che consente di ottenere notevoli risparmi di tempo e denaro; si configura, a partire dalla fase di progettazione, un sistema di supporto alle decisioni basato su informazioni attendibili e costantemente aggiornate. La pianificazione delle attività viene gestita tramite il modello e viceversa; gli aspetti temporali ed economici relativi alla realizzazione dell'opera sono verificati da processi che consentono la visualizzazione tridimensionale degli elementi e la loro gestione.

## Simulazione dell'opera

Il modello BIM è multidimensionale, il concetto di tridimensionalità viene arricchito da componenti che si differenziano nelle varie fasi del workflow e amplificano le potenzialità di questa metodologia. Il tempo, per convenzione identificato dalla quarta dimensione, è il primo grado di sviluppo del modello 3D; per questo il BIM 4D rappresenta il legame logico che deriva dall'implementazione del modello informativo che i sistemi di scheduling e planning.

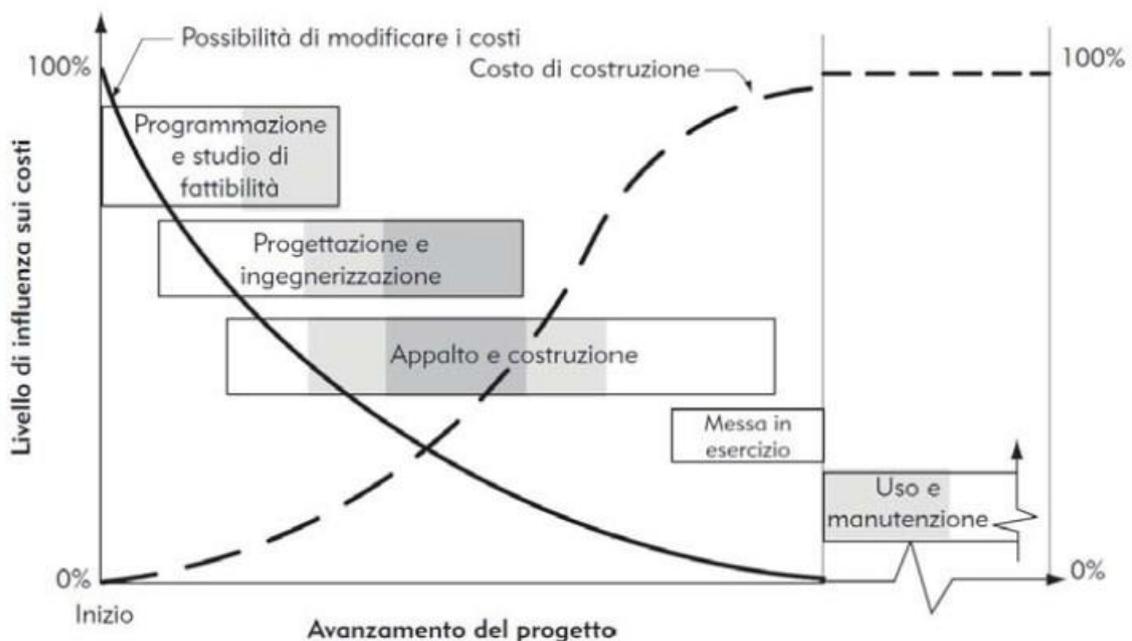
Nel settore delle costruzioni, una delle problematiche più frequenti è legata ai ritardi nell'esecuzione dei lavori che comportano inevitabilmente delle ripercussioni economiche. Ogni ritardo nell'esecuzione dei lavori comporta dei costi aggiuntivi in riferimento al nolo delle attrezzature, manodopera, ripianificazione delle attività ed eventuali penali su ritardi nella consegna. Diventa di fondamentale importanza una corretta gestione del tempo all'interno del progetto; ne derivano molteplici benefici:

- riduzione del rischio associato all'aumento dei costi;
- definizione delle lavorazioni in un ambiente di lavoro unico con conseguente riduzione di interferenze;
- miglioramento della coordinazione e comunicazione tra i professionisti;
- corretta pianificazione del cantiere con contestuale aumento della sicurezza;
- maggiore trasparenza verso la committenza;
- prevenzione di errori e rilavorazioni.

## Preventivazione- BIM 5D

La committenza si trova spesso a dover sfiorare il budget di spesa o a sospendere il progetto a causa di imprevisti che comportano un aumento delle spese. Le cause sono indipendenti dalla commessa bensì sono riconducibili agli elaborati spesso inadeguati e incompleti.

Una ricerca, condotta dal Politecnico di Milano, ha evidenziato che l'82% degli imprevisti dipendono dalla qualità e completezza degli elaborati prodotti mentre solo il 3% dipende dalla mancata osservanza delle norme (Di Giuda, Comini, & Poletti, Verifica dei progetti ai fini della validazione: valutazione dell'efficacia della verifica nei progetti di opere pubbliche, 2013). L'incongruenza tra gli elaborati incide per il 13%, mentre il restante 2% è dovuto all'assenza della documentazione prevista da contratto.



*Figura 89 - Influenza del costo complessivo sui cicli di vita del progetto*

La metodologia BIM consente di effettuare delle stime dei costi di realizzazione precise e affidabili oltre a garantire un rapido riscontro in merito ai costi delle modifiche di progetto. Questo aspetto gestionale è di fondamentale importanza, soprattutto in virtù del fatto che la capacità di influire positivamente sul costo di costruzione è maggiore all'inizio del processo, ovvero nella fase di progettazione.

## 5D per la riqualificazione energetica

La realizzazione di un piano di efficientamento globale è fortemente influenzata dai tempi di ritorno economico dell'investimento: minore è il tempo di ritorno, più i soggetti interessati (privati, enti, associazioni) sono propensi ad attivarsi per la riqualificazione energetica degli edifici. Al contrario, maggiori sono i tempi di ritorno, più una data tecnologia risulterà svantaggiata. Per esempio, nel caso specifico dei sistemi coibenti a cappotto il ritorno economico dell'investimento è direttamente influenzato dal costo applicativo del sistema, per quanto riguarda sia i materiali sia la manodopera (Rossetti & Pepe, 2020).

## Quantity Take Off

La gestione dei costi dell'intero ciclo di vita dell'edificio, dalla stima dei costi di costruzione a quelli per la gestione e manutenzione, è affidata alla dimensione 5D del BIM. L'integrazione BIM della componente economica permette la computazione delle quantità e dei costi in tempi ridotti e con un'accuratezza maggiore; il Computo Metrico Estimativo (CME) è lo strumento che consente di calcolare i costi di realizzazione, gestione e manutenzione dell'opera.

Nella metodologia tradizionale, la stima dei costi avviene in una fase di progettazione avanzata o addirittura ultimata quando è ormai troppo tardi per poter essere d'aiuto nelle scelte progettuali. Questo metodo operativo comporta problematiche di budget da risolvere a posteriori compromettendo le scelte dei materiali e la qualità stessa della costruzione.

Il monitoraggio e la stima dei costi condotti sin dall'inizio del processo ed in parallelo con la progettazione, consentono un project delivery più efficace con scelte progettuali bilanciate anche sotto l'aspetto economico. Questo approccio si traduce in una migliore qualità del progetto e quindi dell'edificio con un miglior controllo e previsione dell'andamento lineare del cantiere.

Una delle priorità dell'industria Architecture, Engineering & Construction (AEC) e del project management è sicuramente la stima dei costi e la loro gestione. La stima avviene alla fine del processo di progettazione da figure differenti che utilizzano set informativi eterogenei e frammentati. Questa variabilità comporta grandi imprecisioni che comportano variazioni fino al 40% rispetto quanto stimato. Il BIM mira ad eliminare questa problematica grazie ai modelli informativi digitali che consentono di avere un'unica fonte di informazioni dalla quale attingere per la redazione dei CME durante l'intero ciclo di vita dell'edificio.

La formulazione delle stime BIM-based si basa su due concetti principali: lo sviluppo condiviso della progettazione e di un database informativo e la creazione di modelli digitali 3D. Ciascuno degli

elementi digitali che compongono il modello informativo rappresenta un elemento reale dell'edificio e contiene tutte le rispettive informazioni. Queste informazioni vengono utilizzate per simulare la costruzione dell'edificio e per il processo di Quantity Take Off (QTO) che consente la stima dei costi in tempo reale.

Ad ogni elemento del modello informativo possono essere associate delle proprietà, ad esempio, il costo e la tipologia del materiale; queste informazioni possono essere estratte in fase di computo e associate alle rispettive quantità. Il metodo QTO per la computazione automatica richiede una precisa associazione degli elementi basata su regole specifiche per questo motivo, in accordo con quanto affermato da C. Eastman: "Nessuno strumento BIM fornisce la piena capacità di un foglio di calcolo o di un software computazionale, coloro che si occupano di stime, perciò, devono identificare metodi che funzionano al meglio per il loro specifico processo estimativo."

Per la redazione dei CME ci sono tre opzioni principali:

- L'esportazione delle quantità dal modello e l'importazione in software di computazione;
- Usare strumenti di BIM quantity take off;
- Collegare lo strumento BIM direttamente al software di computazione.

Queste opzioni mettono in luce differenti livelli di interoperabilità; le prime due opzioni infatti prevedono l'estrazione di dati dal modello in formati che possono essere letti dai software di computazione, nel secondo caso, invece, il software computazionale ha l'abilità di mappare gli oggetti BIM con i database di costo (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2016).

### [I vantaggi della preventivazione](#)

Nella metodologia BIM, la variabile economica consente il controllo e la gestione dei costi del progetto; il modello informativo permette di generare automaticamente i computi metrici attraverso il QTO. La dimensione 5D unisce i processi di stima dei costi direttamente al modello 3D creato dal progettista, in questo modo è possibile velocizzare e ottimizzare la progettazione in sinergia con l'aspetto economico.

Questa metodologia di lavoro trova la sua massima utilità nel monitorare l'impegno economico di un'opera durante l'intero ciclo di vita e nel valutare in tempo reale i costi legati a soluzioni progettuali differenti. Modellare in 5D significa attribuire a ciascun elemento del modello tutte le informazioni relative ai costi di realizzazione di quel determinato elemento. Ciò che si ottiene è un modello informativo che contiene tutte le informazioni necessarie a stimare il costo complessivo dell'opera attraverso un processo che associa, in maniera automatica, i prezzi di ogni elemento o lavorazione

alle rispettive quantità.

Questo metodo garantisce il pieno controllo delle operazioni diminuendo le possibilità di errore o dimenticanze; infatti, associando i prezzi direttamente agli elementi del modello è possibile aggiornare automaticamente le quantità del computo ad ogni modifica del progetto. Ad esempio, modificando la lunghezza di un muro in automatico si aggiornano anche le quantità del computo e di conseguenza i costi relativi a quella specifica lavorazione.

Questo procedimento consente di sviluppare stime accurate, basate su dati certi e affidabili che si aggiornano in tempo reale e permettono di visualizzare scenari progettuali differenti. I principali benefici di questo processo digitalizzato possono così essere riassunti:

- maggior controllo dei costi;
- valutazione veloce delle quantità;
- rapidità di calcolo;
- qualità del lavoro;
- valutazioni più accurate.

L'implementazione del BIM nella dimensione 5D consente di ottenere delle informazioni, sui costi realizzativi dell'opera, precise e dettagliate che permettono ai progettisti e alla committenza di prendere decisioni informate, riducendo la necessità di rivedere le scelte di progetto durante il cantiere. Il costo di un progetto è strettamente connesso alla pianificazione dei tempi, per questo le informazioni BIM 4D e 5D integrate nei modelli digitali 3D assicurano un'efficace gestione del progetto.

## Costruzione

Le procedure e gli strumenti BIM supportano la committenza nelle scelte progettuali, nel coordinamento e nei processi normativi, anche in fase esecutiva dell'opera. È infatti possibile un coordinamento virtuale, trasversale per tutte le discipline, i cui attori non sono soltanto i progettisti, l'impresa appaltatrice e il committente, ma possono essere coinvolti i responsabili delle manutenzioni o i gestori, per fornire input utili per la revisione dei modelli costruttivi.

La modellazione informativa risulta particolarmente utile per simulare gli interventi di ristrutturazione di edifici esistenti, in cui siano presenti delle attività come nelle scuole. Si possono quindi programmare i lavori nei periodi di chiusura delle scuole e verificare la fattibilità temporale delle lavorazioni previste. Con l'uso del modello si possono anche coordinare i lavori in contemporanea all'attività didattica, simulare il cantiere e i percorsi protetti degli utenti passivi coordinando gli apprestamenti e le misure di prevenzione e protezione.

Anche con l'uso della modellazione informativa può capitare di trovarsi davanti a situazioni impreviste; la probabilità che ciò accada è però ridotta al minimo e con l'uso del BIM si dota la struttura di committenza di strumenti più agili anche per rispondere a circostanze non previste.

### Il BIM per il cantiere digitale

Il BIM applicato al settore delle costruzioni svolge la funzione di far comprendere l'importanza del dato numerico e computazionale. Il cantiere edile, nelle sue molteplici declinazioni, sta progressivamente mutando la propria fisionomia espandendosi nell'ambito delle applicazioni digitali che spaziano dalla realtà virtuale all'IoT. Questa tendenza presuppone che si configurino apposite piattaforme digitali preposte alla pianificazione, all'organizzazione e alla gestione del cantiere, in grado di supportare i processi decisionali basandosi sull'analisi dei dati.

Il cantiere 4.0 si basa sull'intelligenza che deriva dall'ecosistema digitale, per questo è di fondamentale importanza la conoscenza delle applicazioni operative in materia di BIM 4D e 5D, Field MIB, IoT, VR e AR. Si rende necessario affinare i modelli dei dati numerici e la struttura dei flussi informativi per far fronte alla crescente disponibilità di nuove soluzioni tecnologiche finalizzate alla digitalizzazione e gestione del cantiere. Occorre, inoltre, una volta consolidata la digitalizzazione del cantiere tramite processi decisionali semi-autonomi (o almeno di supporto alle decisioni), concepire la piattaforma digitale in stretta connessione tra la singola commessa (il singolo cantiere) e il sistema di controllo di gestione delle organizzazioni coinvolte (dalla committenza alla impresa) (Tagliabue & Mastrolembo Ventura, BIM e cantiere digitale 4.0. Il cantiere edile e infrastrutturale tra data

analytics e internet of things, 2019).

Con cantiere digitale si fa riferimento alla trasformazione radicale in atto nel settore AEC che rimette in discussione la natura del luogo produttivo, l'identità degli attori e l'essenza del prodotto immobiliare e infrastrutturale. È in corso un cambiamento del paradigma che investe l'intera catena di costruzione compresi i confini tra il luogo delimitato del cantiere e un intorno di flussi logistici interdipendenti e interconnessi. Nel cantiere è in atto la Quarta Rivoluzione Industriale grazie alla cultura del dato, dei processi digitali di grande mole ed eterogeneità trasmessi immediatamente e ubiquamente. Il cantiere digitale è, pertanto, un'entità dilatata nello spazio e nel tempo che vede sempre più protagoniste la Data Science e la Communication Technology (Ciribini, 2019).

### Cantierizzazione del progetto

La metodologia di lavoro BIM consente di ottimizzare la cantierizzazione del progetto simulando le fasi lavorative e riproducendo il processo di costruzione. Il potenziale maggiore consiste nella possibilità di individuare e risolvere in fase preliminare tutte le interferenze e le criticità che potrebbero rallentare il cantiere.

All'interno del modello informativo è possibile organizzare le sequenze temporali delle varie lavorazioni, le squadre di lavoro e le tempistiche per le forniture di materiali e attrezzature. A ogni attività viene associata una data di inizio e una di fine, la corrispondente area di lavoro e la valutazione delle possibili interferenze con altre attività. È inoltre possibile condividere in tempo reale tutte le informazioni riguardanti l'avanzamento del cantiere con tutti i soggetti coinvolti riducendo al minimo la dispersione dei dati e l'attività di back office.

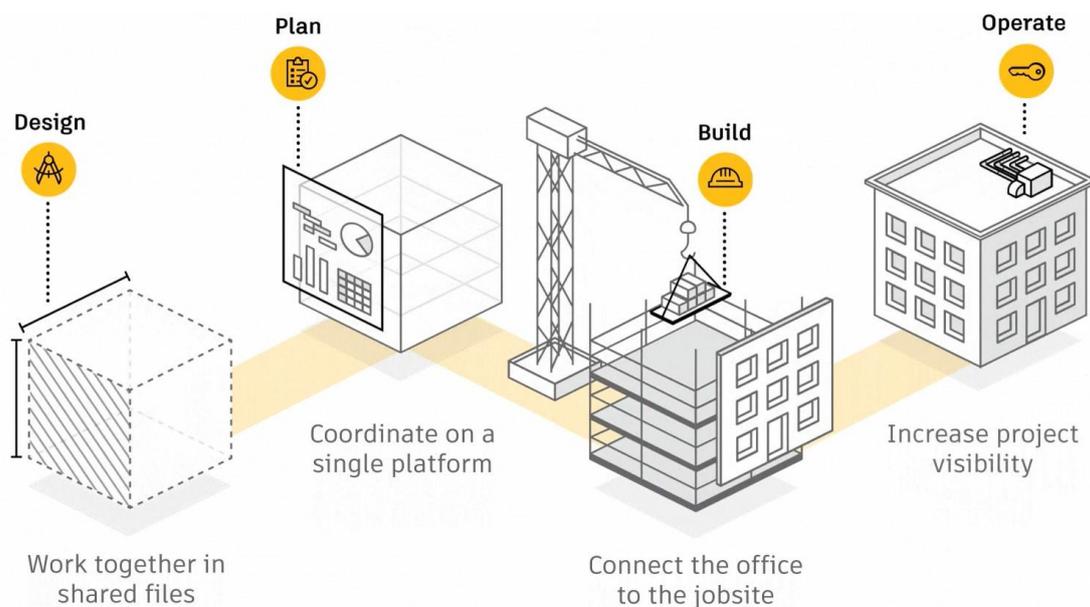
Attraverso la modellazione del progetto, è possibile simulare il processo costruttivo prevedendone gli esiti e identificando eventuali problemi di progettazione così da risolverli preventivamente. Il modello, infatti, contiene in maniera integrata tutti gli elementi architettonici, strutturali e impiantistici così da identificare le migliori soluzioni costruttive ed evitare le interferenze già in fase di progettazione, diminuendo lo spreco di materiale, le rilavorazioni e il fermo cantiere.

Durante il corso dei lavori è importante l'aggiornamento costante del modello apportando tutte le soluzioni costruttive di dettaglio e le eventuali modifiche in corso d'opera; questo modello può essere accessibile dalla committenza al fine di verificare lo stato di avanzamento della costruzione. A lavori ultimati si ottiene il modello As Built che riproduce fedelmente quanto effettivamente costruito, questo servirà alla committenza come base affidabile per le successive attività di gestione

e manutenzione. L'impresa costruttrice, oltre alla realizzazione dell'opera, dovrà anche provvedere alla sua riproduzione digitale.

Le informazioni contenute nel modello BIM rappresentano il punto di riferimento anche per la gestione della fase di esecuzione dei lavori in cantiere. Queste informazioni, infatti, consentono una verifica puntuale di tutte le attività esecutive, l'aggiornamento del giornale lavori, il monitoraggio dei fabbisogni e degli approvvigionamenti, la contabilità industriale e la contabilità dei lavori.

I dispositivi di ultima generazione come smartphone e tablet consentono la fruizione e l'annotazione, in modalità mobile, delle informazioni del progetto. Sono stati sviluppati diversi software che consentono, attraverso applicativi cloud, di interrogare, aggiornare e modificare i dati del modello in qualunque posto e in qualsiasi momento. Questi strumenti consentono il controllo e la verifica della commessa e della conformità dello stato di avanzamento dei lavori ai parametri definiti in fase di progetto.



*Figura 90 - Fasi della costruzione di un'opera*

#### Sicurezza in cantiere

Le tecnologie BIM consentono una nuova modalità di concepire il cantiere, attraverso la possibilità di rappresentarlo virtualmente:

- viene considerata l'intera area di lavoro modellando la morfologia del territorio, le criticità fisicamente presenti quali vegetazione, corsi d'acqua e il contesto urbanistico;
- vengono modellati tutti gli elementi che costituiscono le opere provvisorie per la

rappresentazione di ponteggi, attrezzature, macchinari, scavi, autoveicoli, ecc. così da ottenere la simulazione virtuale del cantiere.

Tutte le informazioni che derivano dalla modellazione di questi elementi consentono una progettazione e gestione innovativa del cantiere contribuendo a migliorare la sicurezza dei lavoratori. È possibile associare agli elementi del modello le schede tecniche dei materiali nonché tutte le informazioni relative alla corretta posa in opera ed eventuali prescrizioni relative alla gestione della sicurezza. Queste informazioni consentono di effettuare uno specifico “code checking” dei materiali e delle risorse a disposizione così da verificare le interferenze tra le lavorazioni e i relativi spazi operativi. La modellazione informativa della pianificazione sequenziale delle attività lavorative con le rispettive durate e dell’organizzazione spaziale delle risorse consente di ottenere un modello digitale in grado di restituire, visivamente e analiticamente, un’organizzazione del cantiere innovativa che minimizza i rischi per i lavoratori.

## Gestione e manutenzione- BIM 6D

Ad oggi ci sono standard di salubrità e sicurezza completamente diversi da quelli corrispondenti al periodo nel quale certi edifici sono stati realizzati, mutano le esigenze di utilizzo dell'edificio. Il piano di conservazione ha come obiettivo la stesura di una griglia di criteri che consideri la storia dell'edificio, si riprende il concetto di conservazione programmata che nasce negli anni '70 e considera l'architettura come oggetto complesso in continua relazione con l'ambiente e con il suo uso. L'unico intervento conservativo adeguato consiste nella prevenzione: la conservazione degli edifici deve essere programmata attraverso un piano. Il Conservation Management Plan, si basa su un concetto che sposta l'attenzione dal progetto al programma. L'elaborazione di un piano conservativo può scongiurare interventi di trasformazione che stravolgono la natura dell'edificio.

Aspetto centrale del piano di conservazione è la ricostruzione del particolare costruttivo e l'analisi dei materiali utilizzati. Il restauro può essere realizzato anche attraverso diverse fasi lavorative, soprattutto quando sono richiesti interventi specifici puntuali e dettagliati volti ad un intervento manutentivo e non di restauro emergenziale. L'esito del progetto diagnostico permette di fornire i dati riferiti allo stato di conservazione di ciascun materiale all'interno di un sistema informativo che concorre alla definizione di HBIM. La conoscenza monografica dell'architettura è fondamentale per la sua conservazione, si deve distinguere l'intervento conservativo da un progetto di valorizzazione che porta ad una definizione diversa della stessa architettura.

Il BIM utilizzato con riferimento a edifici esistenti, che sono spesso il risultato di trasformazioni lunghissime, non è ancora in grado di analizzare questa estrema variabilità del dato e di considerare la trasformazione temporale di determinate informazioni. Il modello BIM di un edificio non è soggetto ad invecchiamento a differenza dell'edificio reale quindi a distanza di tempo quel modello non sarà più l'esatta digitalizzazione dello stesso edificio.

## Facility Management

Il Facility Management è rappresentato, nell'ambito BIM, dalla sesta dimensione ovvero quella che considera l'edificio in rapporto ai fattori ambientali, sociali ed economici contemplando tutte le operazioni di gestione, manutenzione e rinnovamento dello stesso.

Le informazioni aggiornate e complete contenute nel modello digitale rappresentano una grande opportunità di miglioramento e innovazione per le operazioni di utilizzo e manutenzione dell'edificio. Questi modelli informativi digitali consentono di raccogliere, generare e analizzare una varietà di informazioni e di dati in maniera integrata e parzialmente automatizzata. L' Institute Facility

Management Association (IFMA) ha definito il facility management come: “disciplina aziendale che coordina lo spazio fisico di lavoro con le risorse umane e l’attività propria dell’azienda e integra i principi della gestione economica e finanziaria d’azienda, dell’architettura e delle scienze comportamentali e ingegneristiche”. Risulta quindi fondamentale lo sviluppo del modello As Built che consente di avere una rappresentazione realistica dell’edificio realizzato, il quale dovrà essere costantemente aggiornato coerentemente con quanto accade nella realtà.

La manutenzione di un bene inizia immediatamente dopo la sua realizzazione e, secondo il processo BIM, continua in un ciclo di vita paradossalmente infinito. La dimensione BIM 6D consente la gestione dell’edificio esistente coordinando e semplificando tutte le attività manutentive da compiere nell’arco dell’intero ciclo di vita del bene. Il BIM 6D analizza tutti gli aspetti del facility management e affronta la gestione della manutenzione degli edifici assicurando la qualità dei servizi e la sicurezza dei fruitori. Una gestione efficace del piano manutentivo degli immobili richiede l’adozione di processi BIM basati su modelli digitali, integrati su sistemi informativi interoperabili.

La metodologia BIM 6D consiste in una progettazione integrata dove l’intero processo di gestione della struttura viene raccolto all’interno di un unico modello informativo, L’obiettivo di questa metodologia è quello di mantenere invariato lo standard prestazionale delle componenti dell’edificio per il suo intero ciclo di vita. La disponibilità di modelli digitalizzati permette la simulazione di molteplici scenari d’intervento al fine di valutare in maniera efficace e preventiva le attività di gestione e manutenzione.

La sesta dimensione BIM associa al modello 3D le informazioni relative alla gestione e manutenzione del bene permettendo di allungare il ciclo di vita dell’edificio. Tutte le informazioni sono sempre accessibili, consultabili e implementabili da tutti gli stakeholders e in qualunque momento.

Con facility management si intende l’insieme delle operazioni finalizzate al corretto uso e alla manutenzione di tutti i componenti di un edificio esistente quali serramenti, rivestimenti, materiali isolanti, pitture, impianti, tubazioni e condotti e alla conservazione dei loro livelli prestazionali. Integrando il facility management con la metodologia BIM si massimizzano i risultati nella modalità di gestione del bene. Il modello BIM che rappresenta il Digital Twin<sup>34</sup> dell’edificio realizzato, raccoglie tutte le informazioni di ogni singolo elemento dell’edificio esistente e diventa un importante strumento di simulazione e programmazione di tutte le attività manutentive di quell’edificio.

Questo approccio integrato consente di semplificare le attività ordinarie, di conoscere

---

<sup>34</sup> Letteralmente "gemello digitale" in edilizia indica la replica virtuale di una costruzione.

dettagliatamente la consistenza del bene e di individuare eventuali problematiche; questo permette di massimizzare l'efficienza e la rendita dell'edificio. Alcuni dei vantaggi del BIM in fase di gestione di un bene sono: programmi di manutenzione più accurati e completi grazie alle informazioni contenute nel modello; centralità del dato e delle informazioni riguardanti ogni aspetto utile del bene; ottimizzazione delle prestazioni del bene per tutto il suo ciclo di vita.

Nonostante le attenzioni vengano poste essenzialmente al costo di costruzione, è nella fase di gestione che i costi sono rilevanti per le committenze. Il costo per la gestione e manutenzione è pari a circa il 70% del costo di vita dell'edificio. Per questo motivo è opportuno tener presente quali possano essere le modalità di ottimizzazione e risparmio in questa fase. La modellazione informativa associa ad un modello virtuale tridimensionale una struttura di dati che possono essere di varia natura. Generalmente si tratta di dati dimensionali e prestazionali, ma è possibile allegare documenti, schede tecniche, fotografie e più in generale, tutte le informazioni relative alla vita del materiale o del componente.

In questo ultimo decennio, l'attenzione nei vari settori e comparti produttivi è stata posta su come rendere le informazioni una risorsa e far sì che questa possa abbattere i costi legati alle manutenzioni e alla gestione. Le informazioni vengono generate e raccolte durante ogni fase della progettazione e vengono completate con la consegna dell'As Built, che riporta l'esatta fotografia di quanto realizzato. Nel processo tradizionale la maggior parte delle informazioni viene persa ad ogni passaggio di fase, chiedendo quindi sforzi notevoli per la ricostruzione o il recupero delle stesse, e generando incongruenze tra la situazione reale e quanto raccolto negli archivi. La gestione cartacea inoltre presenta una notevole complessità legata alla conservazione e al continuo aggiornamento, che spesso non viene assolto in modo puntuale o si perde al passaggio di consegne con altri funzionari o uffici.

È possibile associare ad ogni componente dell'edificio una corrispondente valutazione sullo stato d'uso nel corso del tempo, interrogando il modello in merito alle date di ultima manutenzione e sugli interventi eseguiti negli anni. Il committente può tenere sotto controllo tutti gli elementi tecnici per avere un quadro d'insieme delle spese e delle problematiche riscontrate in caso, ad esempio, di interventi di manutenzione straordinaria. I modelli informativi sono utilizzati come supporto all'attività di Facility Management per valutare la frequenza e l'entità delle riparazioni e delle attività di gestione. I modelli e i database ad essi collegati consentono di avere un quadro unico e completo dell'intero patrimonio.

## Asset Information Model

Le difficoltà che oggi spesso si riscontrano nella fase di controllo di un'opera dipendono principalmente dalla mancata integrazione tra progettazione, programmazione, esecuzione e manutenzione, che determina una difficile gestione del costruito. L' Asset Information Model (AIM) è il modello informativo del bene che raccoglie tutti i dati relativi alla sua gestione; il termine "asset" fa riferimento al bene il cui valore che può variare nel corso della sua vita.

L'AIM è il modello informativo di gestione strategica dell'asset, raccoglie tutte le informazioni relative alla fase di esercizio, gestione e manutenzione e supporta il processo decisionale durante la vita utile dell'edificio con lo scopo di massimizzarne il valore e ridurre i costi. Un AIM raccoglie tutti i contenuti, convalidati e certificati, necessari al corretto funzionamento dell'asset: elaborati grafici, schede tecniche, documenti, informazioni prestazionali, manuali ecc.

Le informazioni contenute nell'AIM sono soggette a continui aggiornamenti ed evolvono in parallelo con l'edificio come, ad esempio, nei casi di lavori di manutenzione, riparazioni, ristrutturazioni o cambio di destinazione d'uso. L'AIM rappresenta l'archivio digitale della costruzione che contiene la storia di tutte le sue evoluzioni nel tempo e le informazioni necessarie al suo mantenimento futuro. I dispositivi di controllo come i sensori di allarme, i termostati o i dispositivi per il controllo dell'illuminazione, sono parte integrante di un edificio e, in quanto tali, richiedono determinate procedure di manutenzione. Queste operazioni, se non pianificate, rischiano di inficiare il corretto funzionamento dei dispositivi causando la riduzione della loro stessa vita utile, determinando una riduzione del valore complessivo del bene.

Risulta pertanto fondamentale creare un modello informativo dell'asset capace di gestire e mantenere aggiornati tutti i suoi processi operativi, ottenendo miglioramenti in termini economici e prestazionali ed indirizzando efficacemente le scelte di facility management. Affinché l'AIM sia efficace, deve essere redatto in maniera adeguata ed è importante definire da subito:

- le modalità di produzione, raccolta e manutenzione dei dati;
- le modalità di esportazione e condivisione dei dati;
- le modalità di verifica e controllo della precisione e dell'accuratezza dei dati;
- gli utenti che avranno accesso all'AIM totalmente o parzialmente;
- i sistemi di accesso alle informazioni;
- le strategie di backup.

Per gestire al meglio un AIM è opportuno lavorare all'interno di un CDE che diventa l'unica fonte di

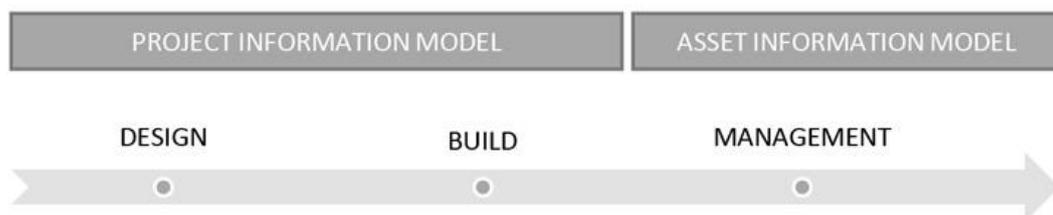
informazioni per l'asset. In questo spazio di raccolta, condivisione e gestione dei dati, questi possono essere organizzati e collegati a quattro stadi progressivi e differenti:

- in lavorazione (Work in progress): le informazioni nel CDE sono prese in carico e sono in via di sviluppo nelle varie aree disciplinari, disponibili quindi ai soli team di riferimento;
- condiviso (Shared): le informazioni sono condivise tra gli interessati;
- pubblicato (Published): le informazioni sono verificate, approvate e possono essere utilizzate;
- archiviato (Archive): le informazioni, a conclusione dell'incarico, vengono conservate.

In un flusso di lavoro BIM, l'AIM viene descritto dalla norma ISO 19650-1 che fornisce la guida per indirizzare i processi formativi, in modo che siano sviluppati secondo standard comuni ed in maniera collaborativa.

Funzione dell'AIM è quella di raccogliere le informazioni relative alla progettazione e all'esecuzione e di concretizzare gli aspetti gestionali e le procedure tecniche dell'asset con tutti i requisiti informativi legati all'uso, alla gestione e alla manutenzione. Il metodo BIM, attraverso questo processo, permette di analizzare l'intero ciclo di vita della costruzione.

Ulteriore modello informativo è il Project Information Model (PIM) che si differenzia dall'AIM per la fase di riferimento e nei contenuti: l'AIM fa riferimento alla fase di esercizio di un'opera e contiene tutte le informazioni legate all'uso, alla gestione e alla manutenzione della stessa; il PIM raccoglie tutte le informazioni relative alla fase di progettazione ed esecuzione dell'opera e si conclude con la consegna della stessa al committente.



*Figura 91 - Flusso di lavoro PIM e AIM*

In un flusso di lavoro BIM, che comprende progettazione, costruzione e gestione, il PIM è propedeutico per la redazione dell'AIM. Infatti, i requisiti informativi utili alla gestione e manutenzione vengono definiti già in fase di progettazione (PIM) per poi essere applicati in fase di esercizio del bene (AIM).

Riferimento al caso studio: scuola “Dante Alighieri”

Analisi dell'intervento realizzato

#### **Pianificazione - BIM 4D:**

In riferimento al caso studio preso in esame, la pianificazione temporale dell'intervento è stata sviluppata con il metodo tradizionale, attraverso l'utilizzo di fogli di calcolo.

Il cronoprogramma non è stato sviluppato in ambiente BIM; pertanto, il modello Revit non contiene le informazioni di carattere temporale (4D). Il cronoprogramma è stato redatto utilizzando un foglio di calcolo Excel, inserendo manualmente tutte le lavorazioni in ordine cronologico. La programmazione delle attività è stata sviluppata in senso logico sulla base delle lavorazioni da svolgere, basandosi esclusivamente sull'esperienza dell'operatore che ha redatto il cronoprogramma. Questo metodo di lavoro non ha permesso una pianificazione accurata producendo così ritardi e disorganizzazione. Le tempistiche di esecuzione dei lavori sono spesso state disattese con lavorazioni che si sono accavallate andando contro la programmazione iniziale.

#### **Preventivazione - BIM 5D:**

Il computo metrico estimativo è stato realizzato utilizzando il software CPM di TeamSystem. Questa applicazione permette la redazione di CME anche con metodo tradizionale, come è stato eseguito per il caso in esame. Il CME, infatti, è stato sviluppato senza l'importazione del modello digitale nel software; ogni singola voce del computo è stata inserita manualmente. Tutte le quantità, utili al fine del computo, sono state ricavate dagli abachi informativi per poi essere associate manualmente alle rispettive voci del computo. La metodologia che prevede il quantity take off non è stata utilizzata mantenendo separati il modello BIM e il CME.

Questo metodo operativo consente la collaborazione tra i database informativi, ogni modifica al progetto dev'essere riportata manualmente anche nel computo metrico. L'analisi dell'intervento realizzato ha evidenziato significativi scostamenti tra i costi stimati e le spese effettivamente sostenute.

Infine, il CME redatto riguardava soltanto i costi di costruzione dell'edificio tralasciando quelli di gestione e manutenzione. La quantificazione dei costi successivi alla realizzazione dell'opera è un aspetto fondamentale in un'ottica di ciclo di vita dell'edificio.

#### **Costruzione:**

In riferimento alla fase di cantiere, viene presa in esame la sola applicazione del cappotto termico.

Le fasi di applicazione del cappotto termico tradizionale servono da confronto con la soluzione tecnologia innovativa sviluppata per la scuola “Enrico Pea” nel capitolo successivo.

La realizzazione del cappotto ha previsto, in sintesi, le seguenti fasi di intervento:

- Preparazione delle superfici di posa mediante pulitura, spazzolatura, lavaggio ed eventuale ripristino delle parti ammalorate delle superfici esistenti;
- Posa di basamento in pannello isolante in polistirolo estruso XPS contro l’assorbimento di acqua per capillarità, lungo tutto il perimetro dell’immobile;
- Posa a giunti sfalsati di lastre in polistirene espanso sinterizzato sp.12 cm su tutte le superfici opache;
- Realizzazione di stato di rasatura e successiva finitura protettiva impermeabilizzante, resistente agli urti, di colore chiaro;

Tutti gli elaborati grafici sono stati stampati su carta, quale unico supporto per la consultazione del progetto da parte degli operai. Questo procedimento comporta una selezione forzata delle informazioni contenute nel modello, infatti, qualsiasi tavola grafica contiene delle informazioni parziali rispetto all’intero modello. Inoltre, un’esportazione dal modello (tavola grafica o abaco informativo) comporta una “frattura” nel processo BIM che non consente l’aggiornamento di quell’elaborato. Ogni aggiornamento del progetto necessita di una nuova esportazione della tavola grafica al fine di mantenere la coerenza tra elaborato e modello.

Altro aspetto significativo in questo caso studio, è stata la mancanza di una comunicazione inversa quindi dal cantiere all’ufficio tecnico. Ogni modifica apportata in corso d’opera non è stata poi riportata nel modello digitale perdendo così la possibilità di realizzare il modello As Built. Questa carenza si è poi rilevata cruciale nelle successive fasi di gestione e manutenzione.

### **Gestione e Manutenzione - BIM 6D:**

In riferimento al caso studio è stato redatto un apposito piano di manutenzione con lo scopo di prevedere una serie di controlli ed interventi volti al mantenimento degli standard di funzionalità, efficienza, affidabilità e qualità per cui l’opera è stata realizzata. La programmazione dei controlli e degli interventi passa attraverso una puntuale analisi dei singoli elementi e dei sistemi complessi di più elementi in relazione all’uso, all’influenza degli agenti esterni (atmosferici e meccanici) e al servizio che detti elementi o sistemi rendono.

Il piano di gestione definisce le prestazioni relative al servizio di manutenzione ordinaria e straordinaria degli impianti tecnologici e delle opere e forniture previste nell'intervento di riqualificazione energetica dell'immobile.

In modo specifico, il piano che è stato redatto, si riferisce a:

- impianto di riscaldamento e produzione acqua calda sanitaria;
- impianto di illuminazione;
- impianto elettrico;
- impianto fotovoltaico;
- impianto di building automation;
- opere di isolamento degli elementi opachi;
- serramenti e chiusure esterne.

Per l'impianto di riscaldamento e produzione ACS è previsto l'esercizio degli impianti e la manutenzione ordinaria che nello specifico riguarda:

- pulizia: azione di rimozione di sostanze depositate fuoriuscite o prodotte dai componenti dell'impianto durante il loro funzionamento ed il loro smaltimento nei modi conformi alla normativa vigente;
- verifica: attività finalizzata alla corretta applicazione delle indicazioni e modalità contenute nelle norme tecniche e/o nei manuali d'uso;
- sostituzioni: attività a garanzia del perfetto funzionamento degli impianti. Le sostituzioni dei componenti comprenderanno la fornitura degli stessi, lo smontaggio e il montaggio occorrenti.

Riguardo le opere di isolamento delle superfici opache, la manutenzione di rivestimenti esterni (isolamenti, intonaci, ecc.), in quanto a vista, consiste nel controllo periodico dell'integrità delle superfici rivestite, mediante valutazioni visive mirate a riscontrare anomalie evidenti, al fine di sostituirne le parti deteriorate, e prevenire distacchi dello stesso dal supporto con conseguente perdita della funzionalità.

Gli interventi che interessano i serramenti sono sia di carattere funzionale: chiusura, tenuta all'acqua e al vento delle guarnizioni, resistenza termica; sia di conservazione del serramento: le parti in movimento non devono presentare dei cedimenti, le sigillature non devono risultare rigide o presentare screpolature di sorta, non si devono rilevare fenomeni di corrosione delle parti in metallo dovute al venir meno del trattamento di protezione (vernice, zincatura, ecc.).

## Proposta alternativa

### Pianificazione - BIM 4D:

La programmazione dei lavori è stata sviluppata utilizzando il software CPM di TeamSystem. Il modulo Programmazione Lavori 4D permette la realizzazione di scenari di analisi interattivi tra la programmazione dei lavori con diagrammi di Gantt e i modelli 3D elaborati nei preventivi di riferimento. Infatti, definendo una data di riferimento una volta realizzato il diagramma di Gantt partendo da un preventivo è possibile visualizzare lo stato dell'opera in 3D con evidenza degli oggetti realizzati o in fase di realizzazione.

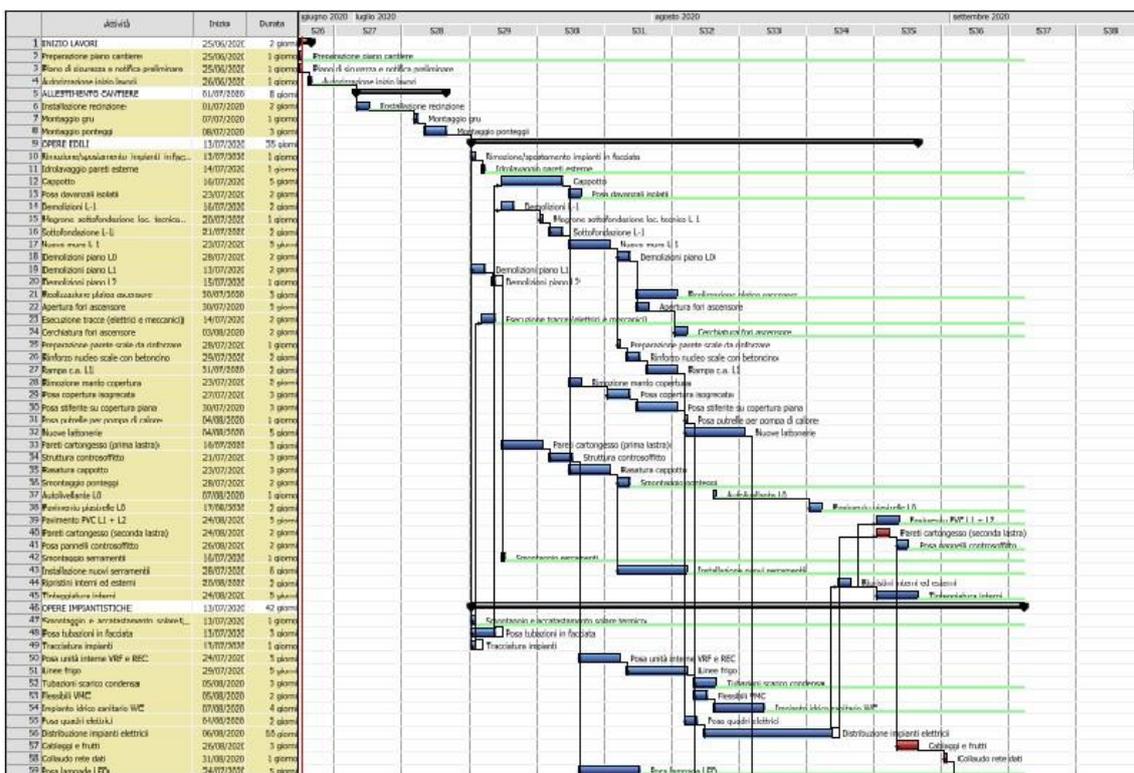


Figura 92 - Cronoprogramma col software CPM

Utilizzando il software CPM in integrazione col modello BIM, è possibile avere pieno controllo delle fasi lavorative che si susseguono in cantiere. Ogni modifica al progetto permette di aggiornare il cronoprogramma in tempo reale. Questa modalità operativa comporta di prevedere il reale andamento del cantiere, evitando problematiche di sovrapposizione e slittamenti delle lavorazioni.

### Preventivazione - BIM 5D:

la preventivazione, quindi, il computo metrico estimativo parametrico è stato realizzato importando

il file IFC del modello BIM nel software CPM. Il modulo QTO permette la computazione delle misure in logica BIM, consente l'importazione in standard IFC dei modelli. Una volta importato il modello, questo è visibile e navigabile direttamente dal software. Il modulo QTO si integra con le funzioni di computo metrico per poter ottenere le misure necessarie ad ogni articolo del preventivo direttamente dai modelli 3D.

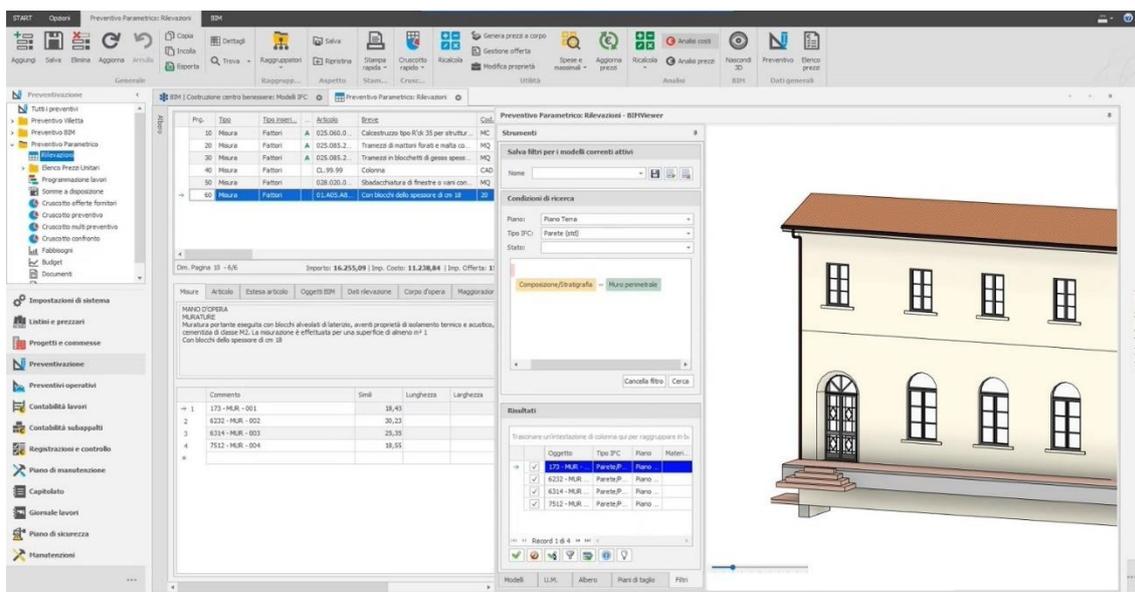


Figura 93 - Importazione IFC in CPM per il quantity take off

È possibile associare ad ogni componente delle regole di calcolo al fine di determinare correttamente la quantità da computare. Queste regole vengono memorizzate dal programma e salvate in un archivio; in questo modo la stessa regola può essere applicata su tutti i modelli che contengono quello specifico elemento.

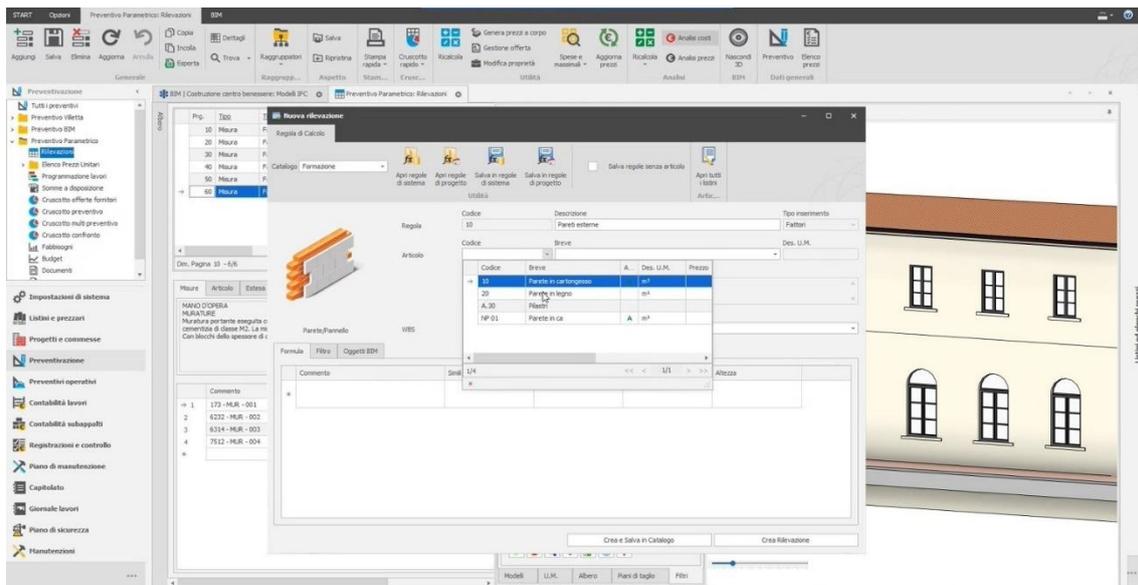


Figura 94 - Assegnazione delle regole di calcolo

Ogni elemento del modello viene associato ad una voce del listino e al suo prezzo. In automatico il software genera il computo metrico estimativo estrapolando le quantità direttamente dal modello e i prezzi dal listino associato. Il CME ottenuto è di tipo parametrico, quindi, può essere aggiornato automaticamente a qualsiasi variazione del progetto.

### Costruzione:

In riferimento all'applicazione del cappotto termico:

L'allestimento corretto del cantiere impone anche l'adeguato deposito, protezione e conservazione dei materiali che in esso verranno utilizzati. Come previsto e riportato nelle rispettive schede tecniche durante l'intero processo di lavorazione le temperature ambientali e dei supporti non devono essere inferiori ai +5° né superiori ai +30° (nell'intero arco delle 24 ore giornaliere).

Il ponteggio, pur se realizzato secondo le norme vigenti, va posto ad una distanza tale della parete da permettere l'adeguato svolgimento delle varie fasi di lavorazione al fine di garantire pure l'uniformità estetica delle finiture. Inoltre, gli ancoraggi, una volta eliminati, devono consentire una sigillatura ottimale, ma anche esteticamente accettabile.

Vanno adeguatamente protette dagli agenti atmosferici tutte le superfici da trattare o rivestire, onde evitare bagnature del supporto o infiltrazioni d'acqua prima, durante e dopo le fasi di lavorazione. Allo stesso modo vanno adeguatamente protette le superfici che non sono coinvolte nel ciclo previsto, onde escludere qualsiasi loro danneggiamento. Possono influire negativamente irraggiamenti diretti, presenza di vento o eccessiva umidità dell'aria, oppure abbassamenti eccessivi

di temperatura e umidità (soprattutto durante le ore notturne), verificabili sia nel corso delle fasi applicative che successivamente, nel mentre del processo di asciugatura o maturazione dei materiali applicati.

Prima di procedere con l'applicazione del ciclo è opportuno verificare che:

- sia stata effettuata un'accurata verifica d'idoneità del supporto, sul suo stato d'integrità e sulle specifiche e necessarie operazioni di preparazione;
- il supporto sia asciutto e non presenti affioramenti di umidità o di patine saline;
- gli intonaci esterni, anche se trattasi di riparazioni parziali o localizzate, siano già posti in opera e disidratati (mediamente indicati in 28 gg. in condizioni ambientali standard: 20° C e U.R. 65%) e non costituiscano controindicazioni presenti e future per l'applicazione del sistema isolante; l'applicazione del sistema isolante prima della completa asciugatura degli intonaci interni o dei massetti, soprattutto in particolari condizioni ambientali, limita l'evaporazione dell'acqua di idratazione delle malte;
- siano state eliminate con congruo anticipo le eventuali cause di infiltrazioni d'acqua, e siano trattati adeguatamente i supporti coinvolti. Le eventuali presenze di perdite/infiltrazioni, localizzate in luogo degli aggetti dei balconi e/o del tetto, devono essere obbligatoriamente risolte con congruo anticipo, mediante interventi specifici e dedicati, al fine di poter operare su supporti asciutti e maturati anche in profondità;
- siano precedentemente predisposte le modifiche e gli adeguamenti utili e tutto ciò che necessiti a contenere, proteggere o integrare gli spessori isolanti del cappotto, come anche i vari elementi di facciata quali davanzali, scossaline, tubature, cavi, canaline, discendenti e supporti vari; questi (se non già predisposti), dovranno essere montati su idonei supporti a taglio termico, e che dovranno essere già integrati nell'isolante prima dell'applicazione della rasatura armata.

Il punto di partenza per un corretto flusso di lavoro nella fase di cantiere è la condivisione del modello BIM in un CDE accessibile a tutte le figure interessate. La condivisione del modello avviene caricando nello spazio condiviso il file d'interscambio (IFC) che potrà essere visualizzato ed interrogato ma non modificato. In questo modo, l'operaio, può avere accesso a tutte le informazioni del modello (e non solo a quelle visualizzate nell'elaborato grafico) visualizzando solamente i dati di suo interesse. L'utilizzo di un'unica piattaforma condivisa consente di avere libero accesso a tutte le

informazioni e garantisce la reperibilità dell'ultimo aggiornamento.

Nel processo BIM, la fase di costruzione consiste in un costante scambio di informazioni tra cantiere, modello e ufficio tecnico. Tutte le informazioni contenute nel modello condiviso sono accessibili al cantiere per la realizzazione dell'edificio. Dal cantiere, in un processo inverso, tutte le informazioni relative a modifiche costruttive devono essere segnalate nel modello in cloud e recepite dall'ufficio tecnico che provvede ad aggiornare il modello così da ottenere l'AS Built.

La modellazione, quindi, è un processo continuo che segue di pari passo la costruzione dell'edificio comunicando le informazioni e recependo le modifiche.

### **Gestione e Manutenzione - BIM 6D:**

Al fine di una corretta gestione e manutenzione del fabbricato, è fondamentale la modellazione informativa del modello As Built. Il modello digitale infatti dev'essere costantemente aggiornato durante la fase di costruzione dell'edificio recependo tutte le modifiche rispetto al progetto esecutivo. La modellazione dei componenti con il rispettivo database informativo riguardante tutti i dati relativi al ciclo di vita, come provenienza, composizione, marcature CE, schede tecniche, smaltimento, ecc., è fondamentale al fine del facility management. Queste informazioni, accessibili e condivise, consentono la gestione dei dispositivi impiantistici e la pianificazione di un programma di manutenzione.

Specialmente nell'edilizia scolastica, dove deve essere rispettato il regolare svolgimento delle attività scolastiche, gli interventi di manutenzione ordinaria degli impianti devono essere eseguiti in tempi congrui e senza la possibilità di incorrere in imprevisti. La modellazione e la simulazione degli interventi garantisce la possibilità di effettuare degli interventi efficaci.

L'installazione di un impianto di supervisione e telegestione BMS permette di gestire da remoto gli impianti, eseguire le manutenzioni puntuali e preventive, ottimizzare il funzionamento nelle diverse stagioni con l'obiettivo di fornire il comfort agli utenti e ridurre i consumi energetici dell'edificio.

La corretta manutenzione delle componenti edilizie è la prerogativa fondamentale del processo BIM che non contempla la demolizione, ma prevede un rinnovamento continuo del fabbricato.

## 7. SOLUZIONE TECNOLOGICA INNOVATIVA

In questo capitolo si intende descrivere la soluzione tecnologica di un sistema ETICS (External Thermal Insulation Composite System) innovativo per l'isolamento termico esterno di un edificio esistente.

### Premessa

Nello stesso progetto Futura contenuto nelle linee guida del PNRR viene indicato di scegliere materiali eco-compatibili dove l'economicità della struttura va ricercata non solo nel costo degli elementi scelti ma anche nella rapidità di esecuzione e assemblaggio, nella riciclabilità dei componenti e dei materiali di base, e nella durata e semplicità di gestione (Ministero dell'istruzione, 2022).

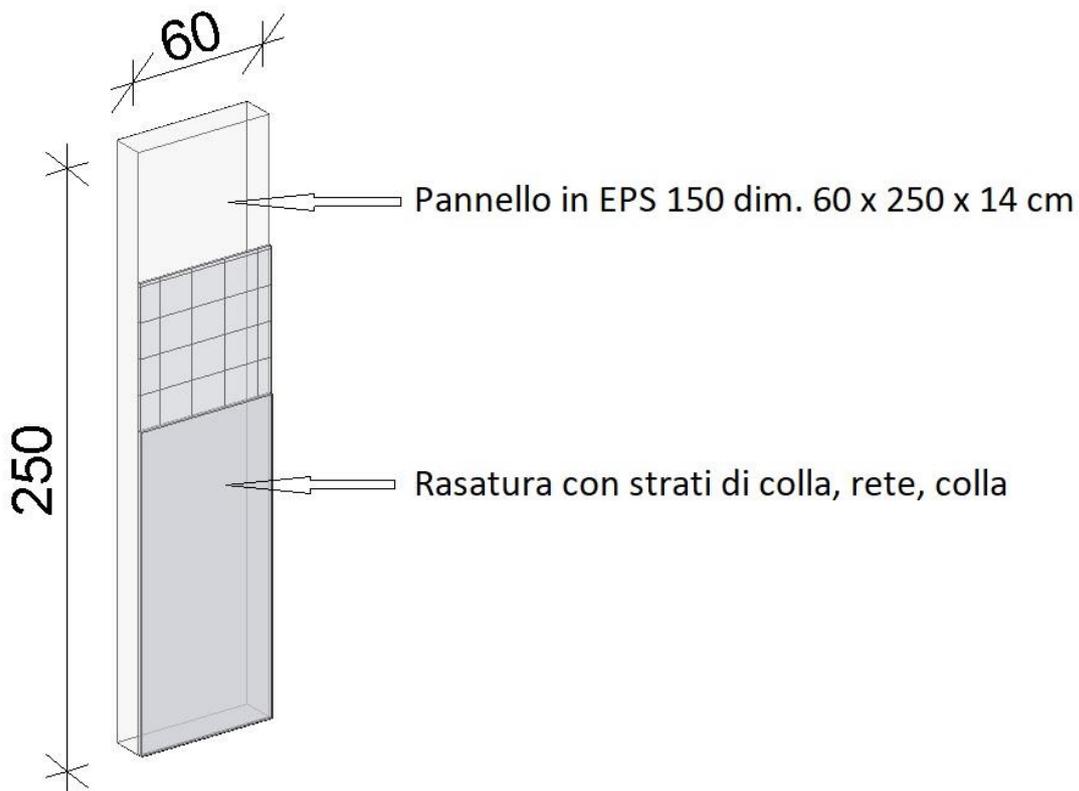
### Descrizione

Le attività di ricerca e sviluppo svolgono un ruolo fondamentale nel passaggio all'industria 4.0. Lo sviluppo di una nuova soluzione tecnologica nasce dalle attuali esigenze di sostenibilità che vedono come primo obiettivo l'eliminazione degli sprechi. Una soluzione che, a parità di prestazioni, permetta di eliminare lo sfrido di materiale e di ridurre notevolmente i tempi di applicazione risulta perfettamente in linea con quanto previsto dalle attuali normative in materia di sostenibilità ambientale.

In tale contesto, la soluzione messa a punto nel corso della ricerca è consistita in un pannello in EPS innovativo, con alcune caratteristiche peculiari che comportano notevoli vantaggi rispetto alle soluzioni tradizionali. Nello specifico, sono cinque le principali caratteristiche che contraddistinguono il sistema coibente sviluppato:

- grandi dimensioni: il pannello misura 14 cm di spessore, 60 cm di larghezza e 250 cm di altezza per un peso complessivo di circa 23 kg. Questo permette di ridurre notevolmente il tempo di posa pur mantenendo un elemento facile da maneggiare anche da un singolo operatore;
- rasatura incorporata: gli strati di colla, rete, colla vengono applicati direttamente in stabilimento. Questo tipo di prefabbricazione permette di ridurre i tempi di cantiere ma soprattutto di svolgere la lavorazione indipendentemente dagli agenti atmosferici;

- incastro battentato: il profilo del pannello è sagomato ad “L”, permettendo così una giunzione di tipo battentata. La tassellatura viene applicata perimetralmente secondo lo schema a W<sup>35</sup>, l’incastro battentato consente di nascondere i tasselli e di eliminare qualsiasi ponte termico tra le fughe;
- piano di posa: la posa dei pannelli viene sviluppata in fase di progettazione simulando il reale posizionamento dei pannelli in cantiere; vengono quindi redatti degli elaborati grafici costruttivi che contengono le istruzioni di produzione e di installazione. Questo permette di conoscere il numero esatto di pannelli da utilizzare riducendo notevolmente i costi di produzione, lo sfrido e lo smaltimento del materiale di risulta;
- codifica: ogni pannello viene codificato in maniera univoca attraverso una progettazione in ambito BIM. La posa viene agevolata eliminando ogni decisione in fase esecutiva mentre la corrispondenza digitale di ogni pannello ne permette gestione e manutenzione.



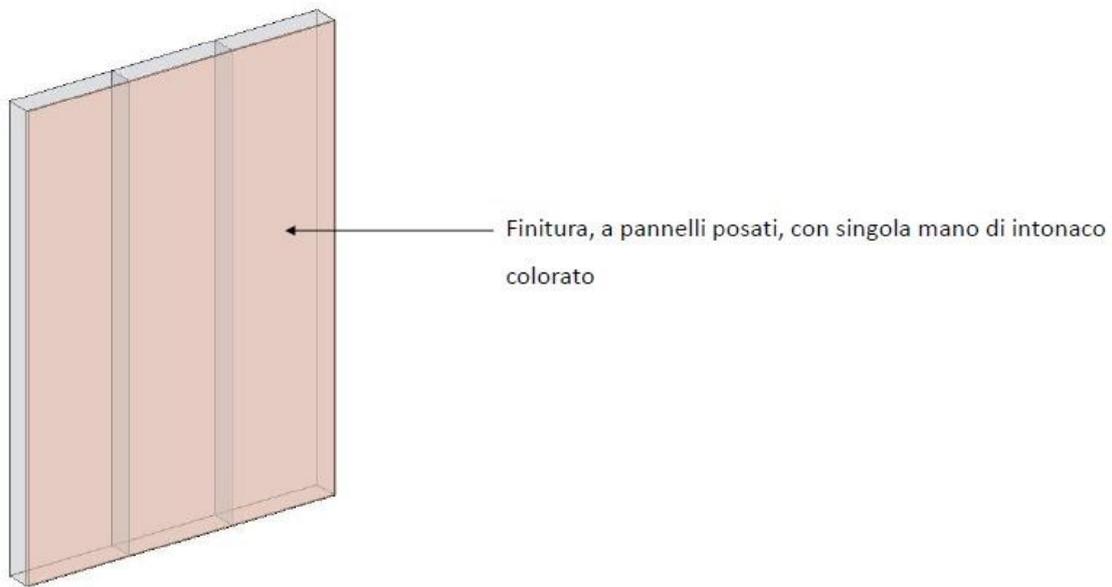
*Figura 95 - Schema costruttivo del cappotto prefabbricato*

La soluzione tecnologica sviluppata, pertanto, comporta un’innovazione d’insieme che non riguarda

<sup>35</sup> Schema di tassellatura che prevede il posizionamento di tutti i tasselli all’interno del pannello.

esclusivamente lo sviluppo dei materiali ma coinvolge l'intero processo edilizio: rilievo, progettazione, scelta dei materiali, posa, smaltimento, gestione e manutenzione.

Lo stesso concetto di ETICS, che prevede un "sistema" di componenti compatibili e la loro applicazione, viene superato e ampliato verso una pianificazione dell'intervento. Il nuovo sistema ETICS dovrà quindi considerare anche la fase di rilievo e progettazione, la scelta dei materiali, la corretta posa, lo smaltimento di tutto il materiale di risulta, la gestione e manutenzione dell'intervento.



*Figura 96 - Risultato finale dopo la stesura dell'intonaco di finitura*

## Consorzio Cortexa

### *Prefazione:*

Consorzio Cortexa è un progetto associativo nato nel 2007 che riunisce le più importanti aziende specializzate nel settore dell'isolamento termico a cappotto in Italia.

Consorzio Cortexa ha sviluppato il "Manuale di Applicazione del Sistema a Cappotto" il quale ha costituito a tutti gli effetti la base della norma UNI per la posa e la progettazione, nello specifico il 21 giugno 2018 sono state pubblicate la norma UNI/TR 11715:2018 e la norma UNI 11716:2018, relative rispettivamente alla progettazione e posa del sistema a cappotto e alla certificazione professionale degli applicatori di cappotto termico.

Nel seguito sono stati approfonditi alcuni capitoli del manuale Cortexa utili ad analizzare la nuova soluzione tecnologica.

### *Struttura e componenti (cap. 4 del manuale):*

Il Sistema ETICS è formato principalmente dai seguenti componenti:

#### 1. Fissaggio

Il fissaggio del Sistema ETICS viene definito nelle linee guida ETAG 004 (European Technical Approval Guideline) e nell'EAD 040083-00-0404 (European Assessment Document).

Da un punto di vista della progettazione, i Sistemi ETICS si differenziano secondo i metodi di fissaggio: sistemi incollati, sistemi con fissaggio meccanico e sistemi misti.

Importante precisare che il fissaggio di un "Sistema a Cappotto" trova la sua massima efficacia con la collaborazione di colla e fissaggi meccanici: il sistema è vincolato al supporto tramite l'incollaggio che trasferisce le tensioni termiche ed i carichi, mentre i fissaggi meccanici collaborano con la colla a contrastare le tensioni e i carichi di carattere orizzontali (spinta e depressione del vento).

#### 2. Materiale Isolante

Tra i materiali isolanti attualmente più utilizzati nei sistemi ETICS, è presente il polistirene espanso sinterizzato (sigla EPS, secondo la norma EN 13163).

Si possono impiegare pannelli in EPS bianco e pannelli in EPS additivato con grafite, in tutti i casi i pannelli sono rispondenti alle specifiche della norma UNI EN 13163.

Il materiale isolante è un importante componente del sistema di isolamento termico a cappotto. Le sue caratteristiche tecniche e quindi la sua idoneità qualitativa come componente del "Sistema"

vengono indicate nel Codice di Designazione (Designation Code). I valori più importanti del materiale isolante sono indicati nei documenti accompagnatori (scheda tecnica e dichiarazione di prestazione DoP).

<b>EPS</b>		
Lunghezza mm .....	Larghezza mm .....	 DoP N° ..... del ..... (data) Stringa marcatura CE per dichiarazione classi prestazionali ..... .....
Spessore mm .....	N° Pezzi ..... Pacco mq .....	
Data di produzione .....	Numero di lotto .....	Codice a barre
Resistenza alla flessione ..... kPa	EUROCLASSE DI REAZIONE AL FUOCO	
Resistenza alla trazione ..... kPa		
Assorbimento acqua Immersione totale WL(T) < ..... %	LOGO AZIENDA PRODUTTRICE	
Resistenza termica $R_D$ m <sup>2</sup> k/W .....	$\lambda_D$ W/mK .....	

*Figure 1 - Scheda prestazionale dell'isolante in EPS*

### 3. Sistema di intonaco

Il "sistema di intonaco" è composto dalla rasatura armata, ossia un intonaco di base in cui è inserita una rete di armatura, dall'eventuale primer e dall'intonaco di finitura con l'eventuale pittura.

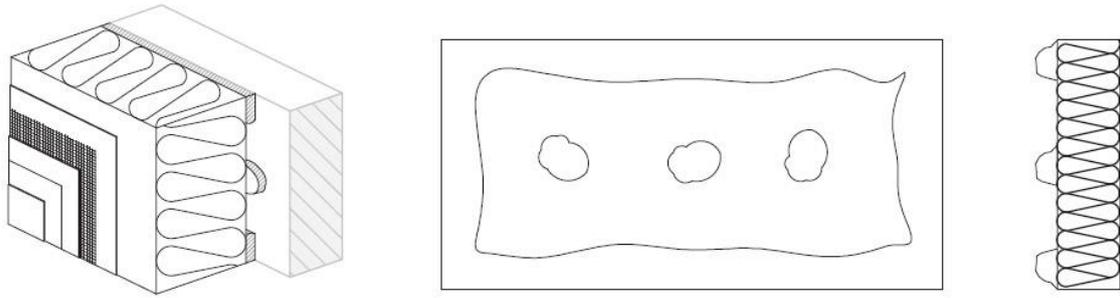
*Realizzazione in opera (cap. 10 del manuale):*

#### 1. Incollaggio

Per la preparazione del collante occorre rispettare le indicazioni del produttore. L'incollaggio, oltre a supportare il peso del Sistema ETICS, deve garantire la tenuta all'azione del vento e la perfetta adesione del sistema. Si definisce "effetto materasso" il comportamento di un pannello isolante non stabile dimensionalmente alle variazioni termiche quando è libero di deformarsi, cioè quando non è incollato o è incollato in modo scorretto.

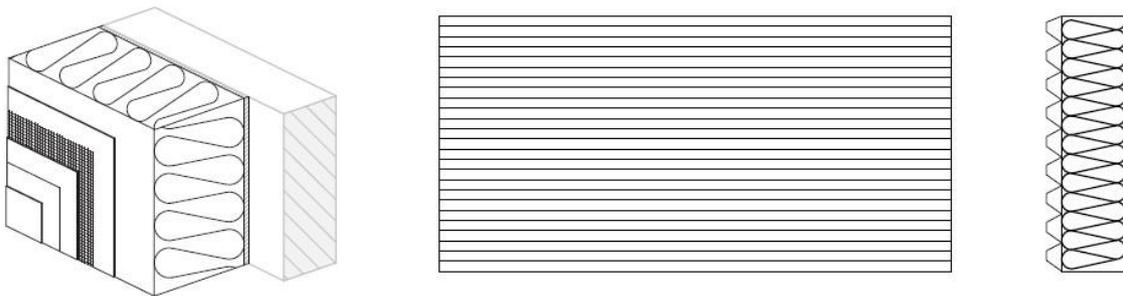
Il Manuale sviluppato dal consorzio prevede principalmente due metodi di incollaggio:

Il metodo a cordolo perimetrale e punti prevede la stesura di colla sul bordo del pannello (cordolo) e due o tre punti nel centro in modo che, esercitando una pressione sul pannello, si abbia una copertura minima di collante del 40%.



*Figure 2 - Metodo a cordolo perimetrale e punti*

Il metodo a tutta superficie nel quale la colla viene applicata sul pannello tramite una spatola dentata. È possibile utilizzare questo sistema solo nel caso di supporti con sufficiente planarità. In alcuni casi la colla può essere applicata direttamente sul supporto e comunque seguendo le indicazioni del produttore.



*Figure 3 - Metodo a tutta superficie*

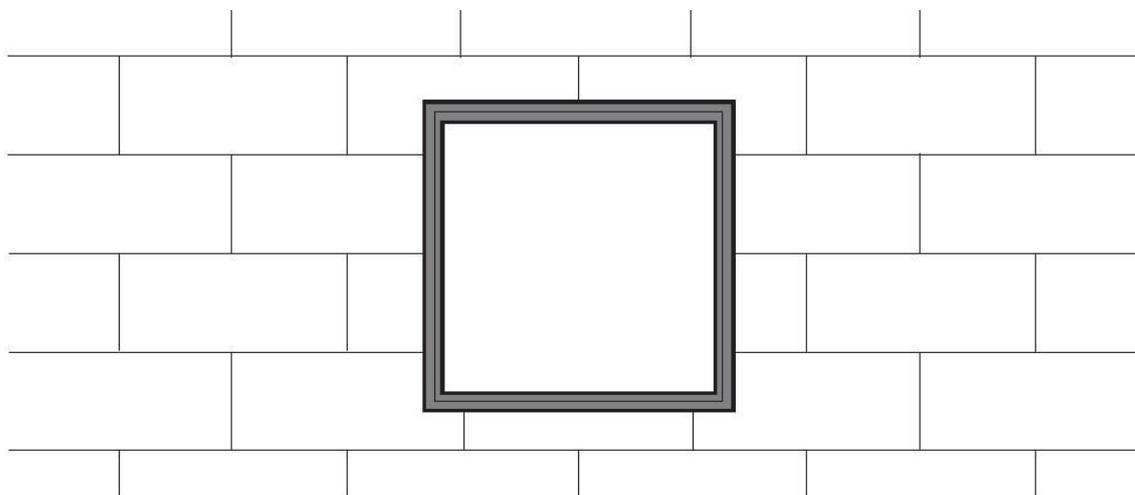
## 2. Posa dei pannelli isolanti

La posa dei pannelli avviene dal basso verso l'alto, sfalsati uno sull'altro rispetto all'asse verticale e completamente accostati. La sfalsatura dei giunti verticali dev'essere almeno di 25 cm.

È necessario assicurarsi di eseguire una posa regolare e planare, non devono pertanto esservi fughe visibili. Le fughe eventualmente visibili vanno riempite con isolante dello stesso tipo, se la larghezza della fuga non lo consente (per fughe fino a 5 mm) è possibile utilizzare una schiuma idonea. Il riempimento deve in entrambi i casi avvenire su tutto lo spessore del pannello. Nelle fughe tra i pannelli non deve mai essere presente la malta collante.

I bordi dei pannelli non devono coincidere con le fughe determinate da un cambio di materiale nel supporto e nei raccordi di muratura; ciò vale anche nei casi di modifica dello spessore della muratura o di crepe inattive. In questi casi è necessario rispettare una sovrapposizione dei pannelli isolanti di

almeno 10 cm. I bordi dei pannelli non devono sporgere dagli spigoli dei contorni delle aperture (porte e finestre).



*Figure 4 - Sfalsatura dei giunti verticali*

### 3. Tassellatura dei pannelli isolanti

Il supporto deve essere realizzato o predisposto in modo da garantire un'adesione durevole tra pannello isolante e parete tramite incollaggio o con incollaggio e fissaggio meccanico aggiuntivo.

Casi in cui è necessaria la tassellatura:

- per spessori superiori a 10 cm è sempre consigliata la tassellatura;
- per Sistemi ETICS con massa superficiale del sistema completo (colla + isolante + finitura) superiore a 30 kg/mq è necessaria la tassellatura;
- per edifici di altezza superiore al limite "edificio alto" (12 m) è necessaria la tassellatura;
- per supporti intonacati è sempre necessaria la tassellatura.

I pannelli isolanti in polistirene espanso (EPS) possono essere solo incollati (senza tassellatura) sui seguenti supporti, se nuovi e portanti:

- blocchi in laterizio o cemento;
- mattoni in laterizio pieni o forati;
- calcestruzzo senza isolamento termico integrato o senza casseri a perdere;
- calcestruzzo poroso con una resistenza a trazione perpendicolare  $\geq 150$  kPa;

I tasselli devono comunque rispettare le prescrizioni della norma EAD 330196-01-0604.

#### 4. Intonaco di base

Con “intonaco base” si intendono gli strati di malta rasante ed armatura.

È possibile utilizzare diversi tipi di intonaco di base a seconda dei requisiti del Sistema e del materiale dei pannelli isolanti. Si distinguono intonaci di base a spessore sottile, medio e alto.

Sullo strato isolante, opportunamente preparato, si applica l'intonaco di base secondo gli spessori indicati dal produttore. Nell'intonaco di base appena applicato si inserisce la rete in fibra di vetro dall'alto verso il basso, in verticale (consigliato) o in orizzontale, con una sovrapposizione di almeno 10 cm tra reti adiacenti ed evitando la formazione di pieghe. La rasatura si applica con il metodo “fresco su fresco” per garantire la copertura necessaria di tutta la rete.

La rete in tessuto di fibra di vetro deve essere poi coperta con almeno uno strato di malta di base di 1 mm, ed almeno 0,5 mm nella zona delle sovrapposizioni della rete.

#### 5. Intonaco di finitura

L'intonaco di base dev'essere lasciato indurire per il tempo necessario, in seguito è possibile applicare un primer di sistema secondo le indicazioni del produttore; in fine, solo in presenza di idonee condizioni atmosferiche, è possibile applicare il rivestimento di finitura.

Si consiglia uno spessore minimo dello strato  $\geq 1,5$  mm con struttura piena e  $\geq 2$  mm con struttura rigata. Per ottenere una superficie con struttura fine, per la quale è necessario un intonaco di finitura con grana inferiore a 1,5 mm, è necessario applicare più mani per raggiungere lo spessore minimo consigliato.

Lo spessore minimo del rivestimento finale (intonaco di finitura) serve a garantire la sufficiente protezione dagli agenti atmosferici, e a contribuire alle resistenze meccaniche superficiali, integrando l'intonaco di base.

#### *Progettazione della tassellatura (quaderno n. 9):*

##### 1. Ruolo dei tasselli

I tasselli sono componenti fondamentali del “Sistema di Isolamento Termico a Cappotto”. In determinate condizioni ambientali, i tasselli contribuiscono infatti a contrastare le forze orizzontali a cui è esposto un sistema a cappotto. In particolare, il tassello collabora con il collante per garantire una adeguata resistenza alla pressione del vento e, per i pannelli isolanti termoplastici, alle loro dilatazioni termiche. Il tassello, inoltre, in caso di supporto con strato di rivestimento non portante

(intonaco o altro tipo di rivestimento) è l'unico elemento in grado di garantire un corretto ancoraggio alla muratura.

La scelta del tipo di tassello e di eventuali ulteriori accessori aggiuntivi, quali ad esempio dischi aggiuntivi per aumentarne il diametro, dipende principalmente dalla tipologia e dallo spessore del pannello e dal tipo di supporto. La certificazione ETA è un requisito fondamentale del tassello; questo documento dichiara i valori caratteristici di resistenza allo strappo e identifica i supporti di ancoraggio per i quali il tassello è omologato.

## 2. Schema delle forze agenti

Il numero di fissaggi dipende principalmente dall'esposizione al vento e dall'altezza dell'edificio, oltre che dalla prestazione meccanica del tassello.

Un Sistema a Cappotto viene costantemente sollecitato da una risultante di forze verticali e da una risultante di forze orizzontali. Il carico verticale è dovuto principalmente al peso del Sistema, sommato alle sollecitazioni termiche del pannello isolante; il carico orizzontale è invece dovuto principalmente alle forze indotte dalla pressione negativa del vento in facciata, anche questa sommata alle sollecitazioni termiche.

Quando sottoposto all'azione orizzontale del vento, un Sistema a Cappotto incollato e tassellato può fallire in tre modi:

- pull-through del pannello, che avviene quando il tassello resta in posizione e l'isolante si sfilava attraverso la testa del tassello;
- pull-out del tassello, ovvero il tassello si sfilava dal supporto;
- rottura del tassello.

## 3. Metodi di calcolo del numero di tasselli

Il calcolo del numero minimo di tasselli per contrastare l'azione del vento può essere eseguito secondo due modalità:

- metodo analitico, quando si conosce sia il valore di resistenza al pull-through del Sistema a Cappotto, sia il valore di pull-out del tassello;
- metodo semplificato, quando si conosce solo il valore di pull-out del tassello.

Entrambi questi metodi permettono di calcolare il numero minimo di tasselli per mq ( $n_w$ )

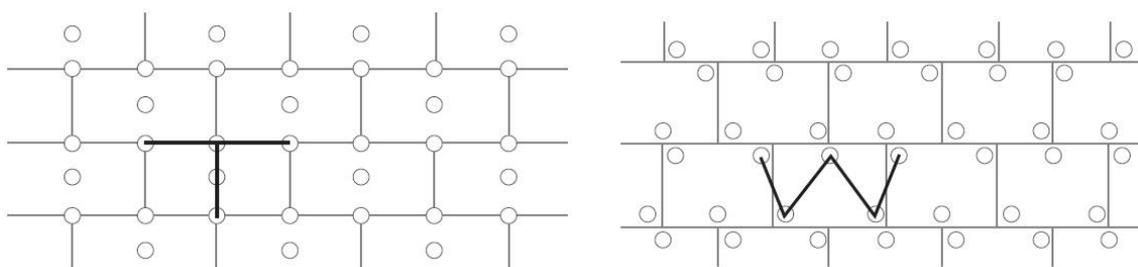
considerando tra le variabili la pressione cinetica caratteristica del vento ( $p_{w,Rk}$ ) e la classe di carico del tassello (N).

#### 4. Schemi di tassellatura

Il calcolo del numero minimo di tasselli deve tenere conto, oltre al carico orizzontale dato dal vento, anche dello schema di tassellatura tale da garantire il contrasto delle dilatazioni termiche del pannello.

Nei pannelli sintetici, ad esempio, è necessario garantire sempre lo schema a T, con un tassello su ciascun angolo e uno o più tasselli al centro del pannello.

Nei pannelli in lana minerale, invece, è consigliabile, in alternativa allo schema a T, lo schema a W, in modo da massimizzare i risultati di resistenza al pull-through (in quanto si posizionano tutti i tasselli all'interno del pannello).



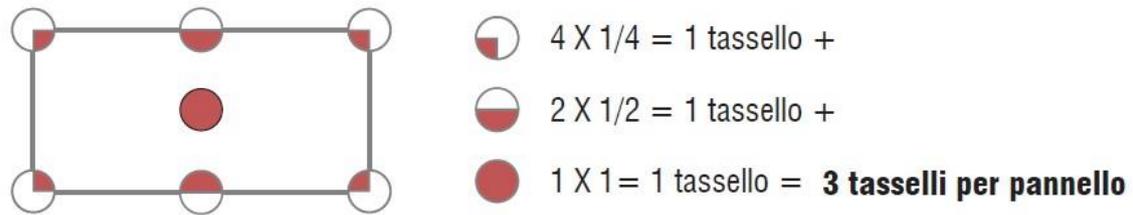
*Figure 5 - Schema di tassellatura a T e a W*

Lo schema a T è previsto quando si utilizzano materiali isolanti particolarmente sensibili alle variazioni termiche come EPS e PU: vincola il pannello nei punti maggiormente soggetti a dilatazione termica; garantisce l'applicazione in corrispondenza del collante (con incollaggio a cordolo e punti centrali).

Lo schema a W si utilizza per materiali isolanti di tipo fibroso: migliora il contrasto dei fenomeni di pull-through; garantisce l'applicazione in corrispondenza del collante (con incollaggio a cordolo e punti centrali); da utilizzarsi esclusivamente per isolanti fibrosi, o che comunque non risentono particolarmente delle variazioni termiche.

Solitamente, si richiedono sempre almeno tre tasselli per pannello, sia che si utilizzi lo schema a T, sia che si utilizzi lo schema a W. Il numero di tasselli per pannello è facilmente calcolabile per lo schema a W, in quanto tutti i tasselli sono all'interno del pannello, mentre per lo schema a T, va

considerato che i tasselli posizionati sulle fughe partecipano solo parzialmente al conteggio.



*Figure 6 - Calcolo del numero di tasselli per pannello*

In base allo schema di tassellatura, il numero minimo di tasselli per mq ( $n_s$ ) si ottiene dividendo il numero di tasselli per pannello per la superficie del pannello.

In conclusione, il numero definitivo di tasselli da applicare è dato dal valore massimo tra il numero calcolato in base al carico del vento  $n_w$  e quello calcolato in base allo schema di tassellatura  $n_s$ .

$$n = \max (n_w; n_s).$$

## 5. Posa e dimensionamento dei tasselli

Modalità di inserimento dei tasselli:

- i tasselli possono essere inseriti solo quando il collante è completamente essiccato;
- si raccomanda di installare i tasselli sempre a filo o, in alternativa, di incassarli nel pannello isolante;
- il perno del tassello viene inserito a percussione o ad avvitamento, in base al tipo di tassello;
- verificare il corretto fissaggio del tassello;
- rimuovere i tasselli piegati o allentati (con scarsa tenuta). Inserire poi un nuovo tassello, non utilizzando lo stesso foro. I fori visibili devono essere riempiti con isolante/schiuma.

I tasselli possono essere incassati nell'isolante tramite fresatura del pannello o mediante affondamento del tassello con compressione dell'isolante. In entrambi i casi è necessaria l'applicazione successiva di un tappo in idoneo materiale isolante. Tale applicazione è consigliata per pannelli isolanti di spessore notevole (per esempio >10 cm).

Per definire la corretta lunghezza del tassello è necessario conoscere, oltre allo spessore del pannello, del collante e di eventuali altri strati (es. intonaci e/o altri rivestimenti) anche la profondità minima di ancoraggio ( $h_{ef}$ ) riportata nella scheda tecnica del tassello e/o nell'ETA e che potrà variare in base

al tipo di supporto su cui ne è previsto il fissaggio.

Noto questo valore, la lunghezza corretta si calcola come somma di tutti gli spessori in gioco, ovvero, pannello isolante, malta di incollaggio, eventuale intonaco e/o altri strati non resistenti e profondità di ancoraggio.

*Dettagli di progettazione ed esecuzione (cap. 11 del manuale):*

Per un buon risultato funzionale, pratico, estetico e duraturo del Sistema di Isolamento a Cappotto, è necessario garantire un'esecuzione professionale e a regola d'arte di tutti i raccordi e le chiusure. Questo garantisce che le sollecitazioni dovute agli agenti atmosferici (sole, vento, pioggia e neve) e all'utilizzo dell'edificio (dinamica e fisica costruttiva dell'edificio) non abbiano effetti negativi sulle prestazioni della facciata nel tempo.

Gli accessori di giunzione, consistenti in profili, guarnizioni, sigillature, e gli schemi di montaggio, devono garantire al Sistema ETICS:

- la tenuta all'acqua del giunto;
- la compensazione dei movimenti differenziali;
- il sufficiente smorzamento delle vibrazioni trasmesse tra elementi costruttivi e Cappotto;
- la resistenza meccanica;
- la continuità dell'isolamento termico.

Prima dell'inizio dei lavori occorre accertarsi che le facciate su cui si prevede l'applicazione dei pannelli isolanti siano planari, sia in verticale che in orizzontale, senza dislivelli di spessore oltre le tolleranze ammesse.

Tutte le superfici visibili, compresi anche i contorni che si formano con l'applicazione dei pannelli isolanti e i raccordi superiori e inferiori del Sistema ETICS, se non sono protette con profili adatti, necessitano dell'applicazione di un sistema di intonacatura (rasatura armata ed intonaco di finitura). Lo strato isolante deve pertanto essere protetto in modo da non essere esposto direttamente all'umidità, a danni dovuti a insetti e simili, e alle fiamme dirette in caso di incendio.

## Caratteristiche tecniche

Nel seguito vengono descritti i materiali utilizzati e le caratteristiche tecniche della nuova soluzione sviluppata per l'isolamento termico a cappotto.

### *Materiali utilizzati*

- Lastra: **EPS Termostyr Etics 150**

- Lastra in polistirene espanso sinterizzato EPS modello Termostyr Etics 150:

- Resistenza a compressione = 150 kPa

- Conducibilità termica  $\lambda_D = 0,034$  W/mk

- Densità = 27 Kg/mc (UNI EN13163)

- Spessore = 140 mm

- Incidenza media peso = 3,78 Kg/mq

Il polistirene espanso sinterizzato (EPS) è un materiale isolante composto per il 98% d'aria, di peso ridotto e riciclabile. Le buone prestazioni meccaniche e l'eccellente isolamento termico sono garantite dalla struttura interna a celle chiuse.

Le lastre TERMOSTYR sono in EPS (Polistirene Espanso Sinterizzato) certificate "ETICS" (External Thermal Insulation Composite System) per l'isolamento termico con sistema "a cappotto".

PRESTAZIONI ENERGETICHE				
Caratteristiche	Norma	Unità di misura	Codifica UNI EN13163	Valore
Conducibilità termica dichiarata $\lambda_D$	UNI EN 12667	W/mK	$\lambda_D$	0,034
Resistenza termica dichiarata $R_D$	UNI EN 12667	$m^2 \cdot K/W$	$R_D$	
SPessori MM	20			0,59
	30			0,88
	40			1,18
	50			1,47
	60			1,76
	80			2,35
	100			2,94
	120			3,53
	140			4,12
	160			4,71
180			5,29	
200			5,88	
CARATTERISTICHE FISICHE				
Reazione al fuoco	UNI EN 13501-1		EUROCLASSE	E
Calore specifico		J/kg•K		1340
Temperatura di utilizzo				$\leq 80^\circ C$
Assorbimento d'acqua a lungo termine per immersione parziale	UNI EN 12087	$kg/m^2$	WL(P)	$\leq 0,5$
Fattore di resistenza alla diffusione del vapore	UNI EN 13163		$\mu$	50*
Permeabilità al vapore	UNI EN 13163	$Mg/(Pa.h.m)$		0,017*
CARATTERISTICHE MECCANICHE				
Resistenza a compressione al 10% di schiacciamento	UNI EN 826	kPa	CS(10)	$\geq 150$
Resistenza alla flessione	UNI EN 12089	kPa	BS	$\geq 200$
Resistenza alla trazione	UNI EN 1607	kPa	TR	$\geq 150$
Determinazione della stabilità dimensionale	UNI EN 1603	%	DS(N)	$\pm 0,2$
CARATTERISTICHE DIMENSIONALI				
Tolleranza dimensionale dello spessore	UNI EN 823	mm	T(1)	$\pm 1$
Tolleranza dimensionale della larghezza	UNI EN 822	mm	W(2)	$\pm 2$
Tolleranza dimensionale della lunghezza	UNI EN 822	mm	L(2)	$\pm 2$
Tolleranza dimensionale di ortogonalità	UNI EN 824	mm	S(2)	$\pm 2/1000$
Tolleranza dimensionale della planarità	UNI EN 825	mm	P(5)	$\pm 5$

\*Valori medi.  
DOP TERMOSTYR 150

Rev-01\_21

Figure 7 - Scheda tecnica Termostyr Etics 150

- Rasante: **Isocoll grigia**

- Spessore = 10 mm

- Incidenza media peso = 9 Kg/mq

Prodotto in polvere monocomponente.

- Armatura: **rete in fibra di vetro**

- Spessore = 1 mm

- Incidenza media peso = 0,16 Kg/mq

- Finitura: **intonachino JUBIZOL Acryl finish XS**

- Spessore = 1,5 mm

- Incidenza media peso = 2,4 Kg/mq

Intonachino acrylsilossanico strutturato ad effetto compatto.

Questi materiali che andranno a costituire il nuovo sistema ETICS, per gli spessori indicati, comportano un'incidenza di peso al metro quadro pari a 15,84 Kg/mq.

Materiale	Spessore	Peso per mq
	mm	Kg/mq
Lastra: <b>EPS Termostyr Etics 150</b>	140,0	3,78
Rasante: <b>Isocoll grigia</b>	10,0	9,00
Armatura: <b>rete in fibra di vetro</b>		0,16
Finitura: <b>intonachino JUBIZOL Acryl finish XS</b>	1,5	2,40
Altri accessori		0,50
<b>tot</b>	<b>151,5</b>	<b>15,84</b>

*Figure 8 - Tabella pesi*

#### *Dimensioni e profilo dei pannelli*

Le lastre in EPS hanno le seguenti dimensioni: 60 cm di base per 250 cm di altezza per 14 cm di spessore. Considerando le dimensioni ipotizzate, tutti gli altri componenti della stratigrafia e gli accessori supplementari (tasselli, paraspigoli, profili di chiusura etc.) il peso complessivo del singolo pannello finito è pari a circa 23,76 Kg.

Il peso contenuto permette al pannello di essere maneggiato con facilità da un singolo operatore.

Dimensioni del pannello finito				
larghezza	altezza	superficie	peso unitario	peso
cm	cm	mq	Kg/mq	Kg
60	250	1,50	15,84	<b>23,76</b>

*Figure 9 - Tabella dimensioni*

Il profilo del pannello è battentato ad L, questa soluzione consente molteplici vantaggi:

- elimina il ponte termico nella giunzione tra i pannelli;
- elimina la fuoriuscita della malta collante e la necessità di siliconare le fughe tra i pannelli;
- permette di nascondere i tasselli consentendo una continuità della rasatura.

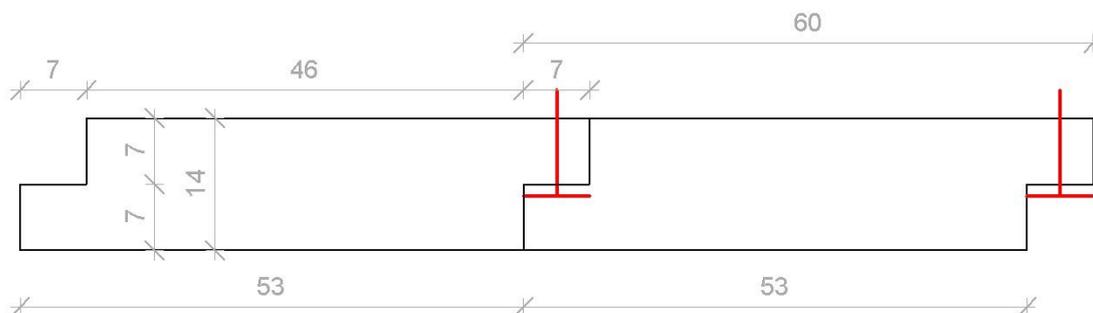
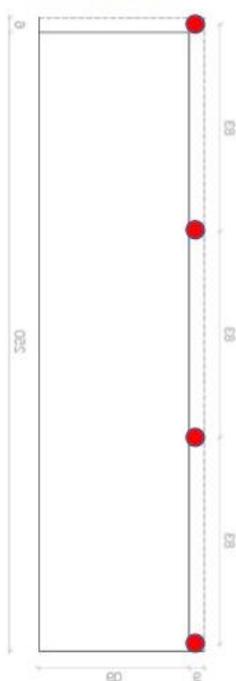


Figura 97 - Particolare giunzione a profilo battentato

Per ogni pannello vengono applicati in cantiere quattro tasselli disposti in corrispondenza della scanalatura verticale. Questa soluzione garantisce il numero minimo di tassellatura previsto dal manuale (tre tasselli per pannello) e consente la continuità dello strato di intonaco di base.

• Tassellatura



Nel pannello prefabbricato sono applicati **quattro tasselli** nell'apposita scanalatura.

Figura 98 - Prospetto del singolo pannello con tassellatura

### *Punti di ancoraggio e di giunzione*

#### 1. Ancoraggio:

L'ancoraggio del pannello prevede un sistema misto, tramite incollaggio e tassellatura.

Per l'incollaggio è possibile utilizzare entrambe le soluzioni proposte dal manuale (a cordolo e punti e a tutta superficie) la scelta ricade sulla tipologia del supporto.

Riguardo la tassellatura, secondo quanto indicato nel manuale, il numero di tasselli da applicare è dato dal valore massimo tra il numero calcolato in base al carico del vento  $n_w$  e quello calcolato in base allo schema di tassellatura  $n_s$  considerando un minimo di tre tasselli per pannello. Il pannello prevede un minimo di quattro tasselli applicati perimetralmente lungo la scanalatura verticale secondo lo schema a W. La scanalatura di 7cm consente un fissaggio meccanico tramite tasselli con chiodo e rondella di diametro 50/60 mm.

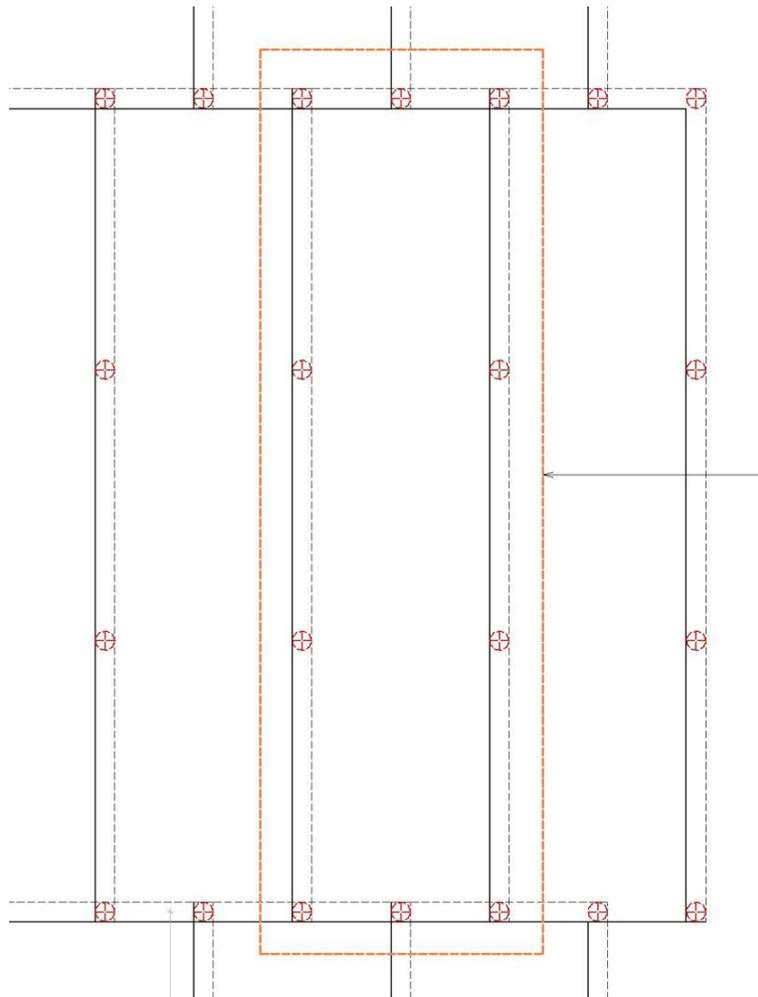
#### 2. Giunzione:

Il profilo del pannello è di tipo battentato, questo permette una giunzione migliore tra i pannelli poiché elimina le fughe e i relativi ponti termici. Questa tipologia di giunzione garantisce la complanarità dei pannelli agevolando la stesura dell'intonaco di finitura. Ulteriore vantaggio riguarda la possibilità di gestire la dilatazione termica dei pannelli riducendo, di qualche millimetro, la dimensione interna dell'incastro.

### *Piano di posa*

La progettazione BIM di questa soluzione tecnologia consente la redazione di un apposito piano di posa. Ogni pannello ha la sua posizione specifica e viene codificato in maniera univoca; questo processo consente di valutare preventivamente tutte le possibili interferenze velocizzando le tempistiche di applicazione. In cantiere, sarà possibile identificare il pannello e il suo esatto posizionamento tramite QR code eliminando ogni possibilità di equivoco.

I pannelli vengono posati dal basso verso l'alto, partendo dall'angolo dell'edificio e con uno sfalsamento dei giunti verticali di 30cm.



*Figura 99 - Posa dei pannelli*

Ai fini dell'organizzazione e della gestione del cantiere in un'ottica di industria 4.0, l'applicazione di questo pannello prefabbricato è pensata senza l'utilizzo dei ponteggi. Le grandi dimensioni e il peso contenuto del pannello permettono di essere applicato tramite piattaforma aerea. Il concetto stesso di prefabbricazione intende il cantiere come fase di assemblaggio, lasciando agli stabilimenti il compito della produzione. Riducendo al minimo le opere provvisorie si ottiene un cantiere più veloce e meno oneroso. Solo una pianificazione dettagliata e una codifica univoca permettono di trasformare le lavorazioni svolte in cantiere in sole attività di assemblaggio.

La codifica dei pannelli permette altresì la possibilità di elaborare un programma di manutenzione, in grado di ripristinare puntualmente gli elementi danneggiati.

## Proposta di integrazione del protocollo Cortexa

L'utilizzo di un sistema a cappotto con l'impiego di grandi lastre prefabbricate comporta delle innovazioni tecniche. Tali innovazioni comportano necessariamente l'adeguamento del protocollo Cortexa, in particolare si dovranno integrare i seguenti capitoli:

- Realizzazione in opera (cap. 10 del manuale):
- Progettazione della tassellatura (quaderno n. 9):

Questi adeguamenti si ritengono opportuni al fine di regolamentare e consentire l'applicazione di questa nuova soluzione tecnologica.

### *Realizzazione in opera (cap. 10 del manuale):*

#### 1. Incollaggio

Per la fase di incollaggio vengono rispettati gli stessi principi contenuti nel manuale. È possibile applicare il collante secondo le due metodologie principali, a cordolo e punti o a tutta superficie, a seconda della tipologia di supporto che si incontra. Resta inteso che per il metodo a cordolo si dovranno applicare dei punti centrali al pannello tali da ricoprire almeno il 40% della superficie totale.

#### 2. Posa dei pannelli isolanti

La posa dei pannelli avviene dal basso verso l'alto, sfalsati uno sull'altro rispetto all'asse verticale e completamente accostati. I pannelli vengono applicati partendo dall'angolo dell'edificio così da consentire la sovrapposizione in corrispondenza del profilo battentato. La schiumatura tra i pannelli, in corrispondenza delle fughe, non è più necessaria grazie al profilo battentato che elimina ogni discontinuità tra i pannelli. Inoltre, viene eliminata la fuoriuscita della malta collante, la quale sarà sempre coperta dalla sovrapposizione dei pannelli nella giunzione.

#### 3. Tassellatura dei pannelli isolanti

Il supporto deve essere realizzato o predisposto in modo da garantire un'adesione durevole tra pannello isolante e parete tramite incollaggio o con incollaggio e fissaggio meccanico aggiuntivo.

Casi in cui è necessaria la tassellatura:

- per spessori superiori a 10 cm è sempre consigliata la tassellatura;
- per Sistemi ETICS con massa superficiale del sistema completo (colla + isolante + finitura) superiore a 30 kg/mq è necessaria la tassellatura;

- per edifici di altezza superiore al limite “edificio alto” (12 m) è necessaria la tassellatura;
- per supporti intonacati è sempre necessaria la tassellatura.

Date le caratteristiche dimensionali della soluzione proposta e considerato quanto riportato dal protocollo, la tassellatura si rende necessaria. Nel pannello prefabbricato, la tassellatura avviene in corrispondenza del profilo battentato così da consentire la continuità della rasatura.

#### 4. Intonaco di base

Con “intonaco base” si intendono gli strati di malta rasante ed armatura.

Questa lavorazione viene eseguita in stabilimento, pertanto, può essere realizzate meccanicamente e a temperatura costante. Lo svolgimento di questa lavorazione in stabilimento comporta molteplici vantaggi dal punto di vista delle tempistiche e della qualità di esecuzione. Il pannello, quindi, giunge in cantiere già rasato e pronto per la posa.

#### 5. Intonaco di finitura

La finitura del pannello avviene in cantiere, con le stesse modalità descritte dal manuale ma senza dover aspettare le tempistiche di asciugatura dell’intonaco di base. La finitura, eseguita a pannello posato, permette di rendere omogenea la superficie e di coprire le eventuali macchie o impronte formate nella fase di posa.

Lo spessore minimo del rivestimento finale (intonaco di finitura) serve a garantire la sufficiente protezione dagli agenti atmosferici, e a contribuire alle resistenze meccaniche superficiali, integrando l’intonaco di base.

#### *Progettazione della tassellatura (quaderno n. 9):*

Fatto salvo quanto riportato nel manuale riguardo il metodo di calcolo del numero dei tasselli, questa nuova soluzione tecnologica comporta l’integrazione dello schema di tassellatura.

Nel pannello prefabbricato i tasselli vengono posizionati perimetralmente in corrispondenza della scalatura del profilo. Questo metodo di tassellatura è compatibile con lo schema a W, previsto dal manuale, che prevede il posizionamento di tutti i tasselli all’interno del pannello. Nel pannello vengono applicati quattro tasselli, rispettando quindi il valore minimo imposto dal manuale (tre tasselli). È comunque possibile implementare il numero di tasselli qualora dovesse essere necessario dal calcolo in base all’analisi del vento.

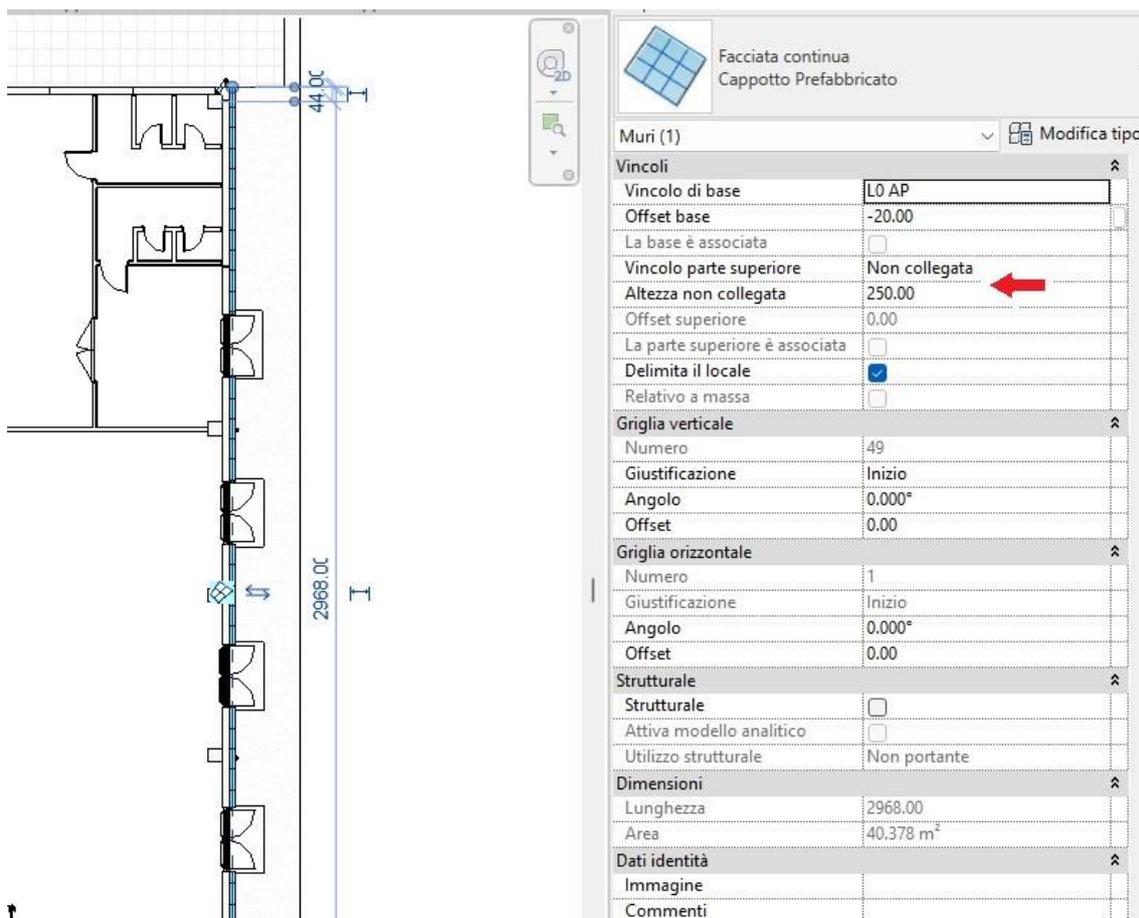
## Riferimento al caso studio: scuola “Enrico Pea”

### Modellazione

Nel caso studio preso in esame, la modellazione di questa particolare soluzione tecnologica per l'isolamento a cappotto avviene utilizzando la famiglia di sistema *facciata continua*. Questa tipologia di modellazione permette il controllo e la gestione di ogni singolo pannello, riproducendo la reale posa che avverrà in cantiere.

Per prima cosa si crea il tipo di muro desiderato (Cappotto EPS + Rasatura 14 cm) con la corretta stratigrafia e spessore dei componenti. La facciata continua è stata modellata per ogni livello del pannello prefabbricato quindi con altezza 250 cm, questo per consentire il corretto sfalsamento dei giunti verticali.

Una volta modellato in pianta il primo livello, tra i parametri di istanza si inserisce il valore dell'Altezza non collegata impostandolo uguale all'altezza del pannello.



The image displays a software interface for modeling a wall system. On the left, a vertical section of a wall is shown, featuring a grid of panels. The wall is labeled with a height of 2968.00 and a width of 44.00. On the right, a properties panel is visible, titled 'Facciata continua Cappotto Prefabbricato'. The panel lists various parameters for the wall system, including 'Vincoli', 'Griglia verticale', 'Griglia orizzontale', 'Strutturale', and 'Dimensioni'. The 'Altezza non collegata' parameter is set to 250.00, which is highlighted with a red arrow.

Muri (1)	
Vincoli	
Vincolo di base	LO AP
Offset base	-20.00
La base è associata	<input type="checkbox"/>
Vincolo parte superiore	Non collegata
Altezza non collegata	250.00
Offset superiore	0.00
La parte superiore è associata	<input type="checkbox"/>
Delimita il locale	<input checked="" type="checkbox"/>
Relativo a massa	<input type="checkbox"/>
Griglia verticale	
Numero	49
Giustificazione	Inizio
Angolo	0.000°
Offset	0.00
Griglia orizzontale	
Numero	1
Giustificazione	Inizio
Angolo	0.000°
Offset	0.00
Strutturale	
Strutturale	<input type="checkbox"/>
Attiva modello analitico	<input type="checkbox"/>
Utilizzo strutturale	Non portante
Dimensioni	
Lunghezza	2968.00
Area	40.378 m <sup>2</sup>
Dati identità	
Immagine	
Commenti	

Figura 100 - Parametri di Istanza della facciata continua

Il secondo passaggio consiste nel modificare i parametri di tipo:

tra i parametri *Costruzione*, si deve selezionare il pannello di facciata continua precedentemente creato “Cappotto EPS + Rasatura 14 cm”;

tra i parametri di *Griglia verticale*, si imposta il layout con distanza fissa e la spaziatura con 60 cm.

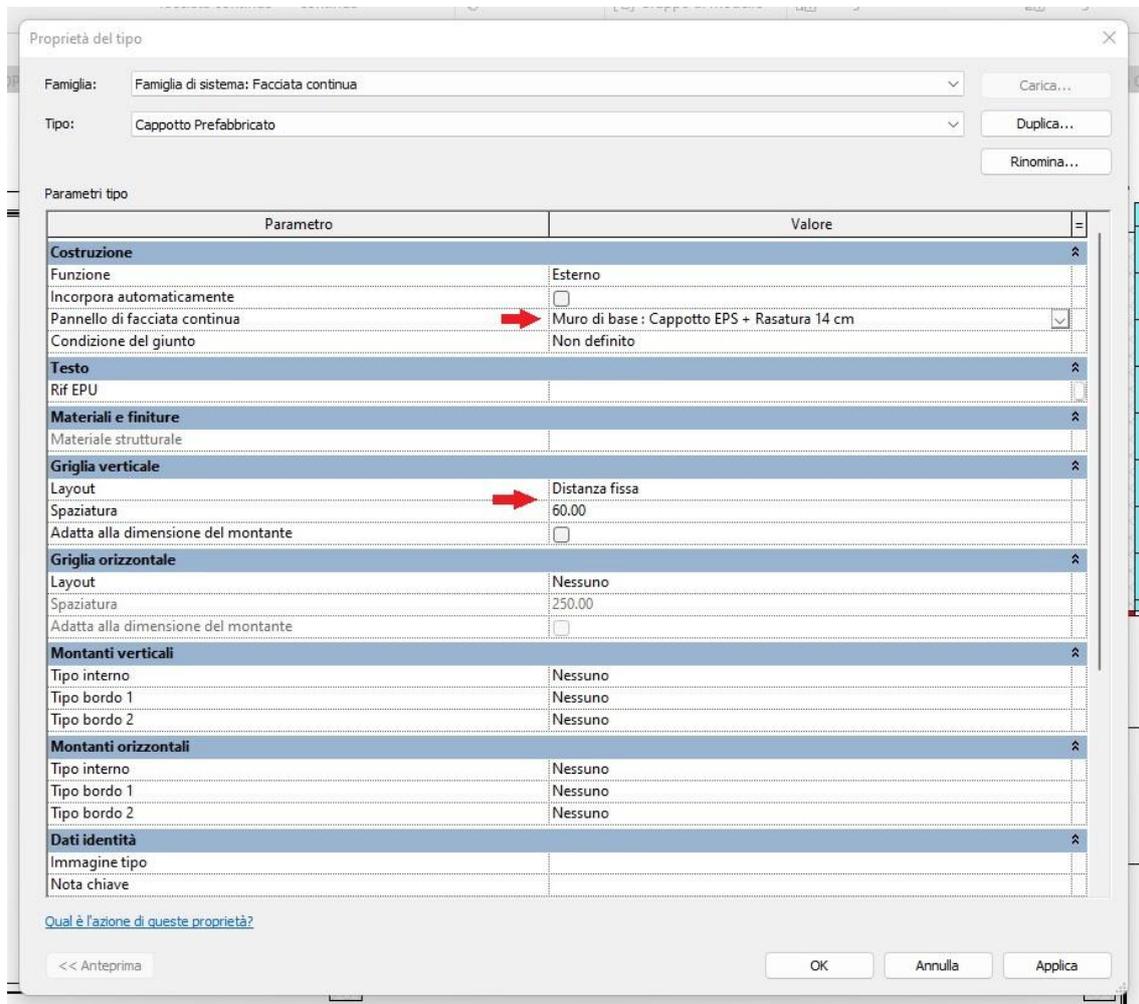


Figura 101 - Parametri di Tipo della facciata continua

In questo modo si ottiene un elemento muro basato su facciata continua automaticamente suddiviso in pannelli da 60 x h. 250 cm.

Con il comando *modifica profilo*, è possibile creare gli scontornamenti in corrispondenza delle aperture, porte e finestre.

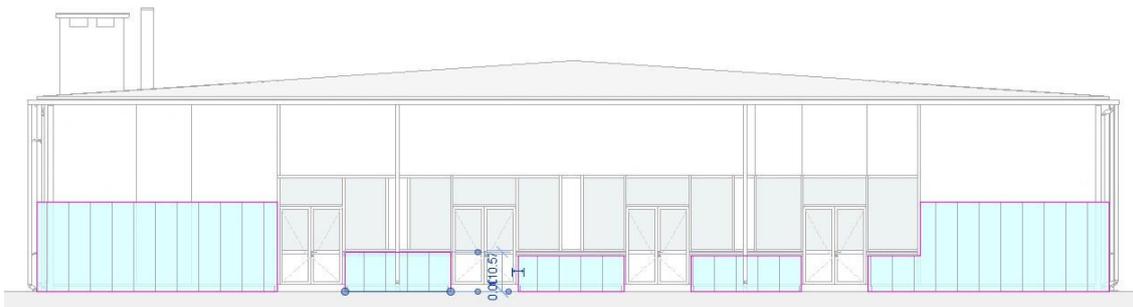


Figura 102 - Comando modifica profilo

Si procede modellando il livello successivo nello stesso modo del livello precedente.

Tra i parametri di istanza *Griglia verticale* si deve impostare il parametro *Giustificazione*, questo valore dovrà essere uguale per tutti i livelli di quella facciata in modo da ottenere il corretto allineamento dei giunti. A livelli alternati si dovrà modificare anche il parametro *Offset* inserendo il valore corrispondente a metà della larghezza del pannello, nel caso specifico 30 cm.

Questo procedimento permette di ottenere il corretto sfalsamento dei giunti che corrisponde a metà pannello.

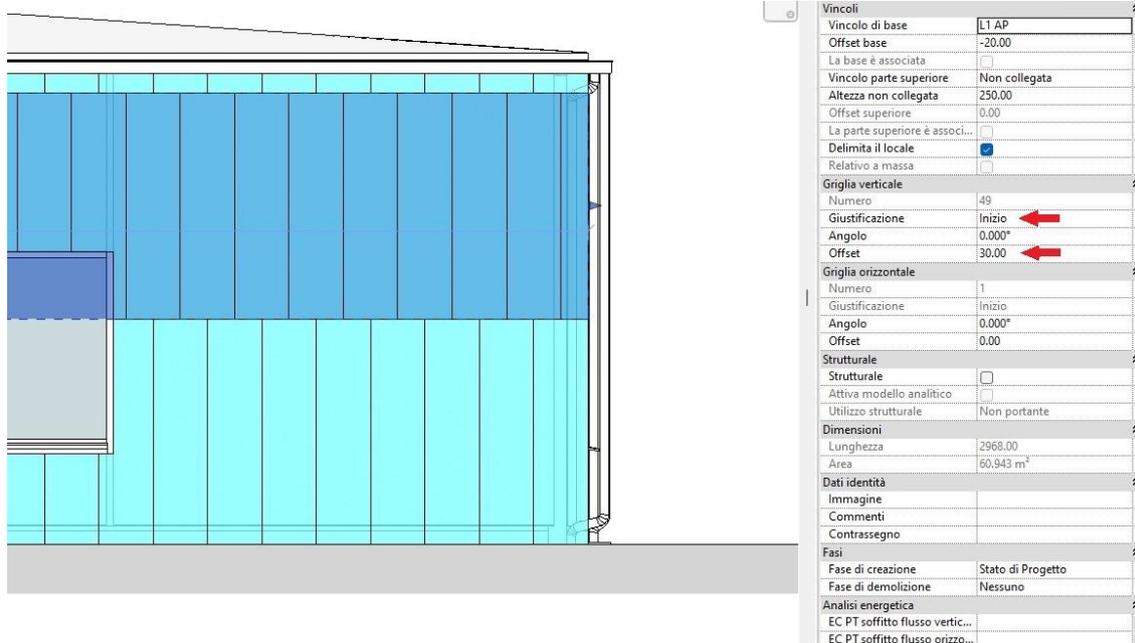
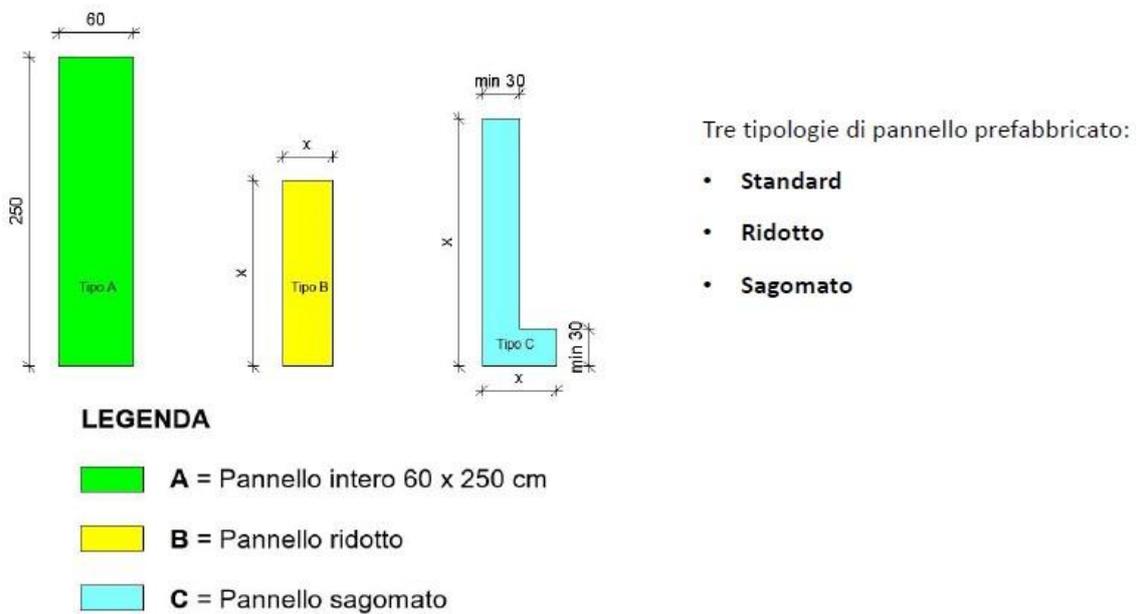


Figura 103 - Parametri di Istanza della facciata continua secondo livello

La scelta di modellare un “cappotto termico” utilizzando la *facciata continua* permette la piena gestione di ogni singolo pannello e comporta lo sviluppo di ogni nodo e particolare costruttivo.

## Risultati

Sono state individuate tre tipologie di pannello prefabbricato: il pannello intero (tipo A); il pannello ridotto (tipo B); il pannello sagomato (tipo C).



*Figura 104 - Tipologie dei pannelli*

Al fine di rendere omogeneo il piano d'appoggio, si è ipotizzato di posare in opera una zoccolatura di partenza in XPS da 50cm. Il piano di posa è stato sviluppato considerando lo sfalsamento dei giunti in verticale tra i pannelli e in corrispondenza delle aperture.



*Figura 105 - Particolare del piano di posa*

L'Auditorium, oggetti d'intervento, è un fabbricato regolare caratterizzato da una pianta quadrata di lato 29,60 m per un'altezza della facciata di 5,22 m. La superficie, vuoto per pieno, sulla quale verrà applicato il cappotto termico è di 618,05 mq.

Dall'abaco Revit è stato possibile estrapolare la quantità esatta dei pannelli che verranno utilizzati: 181 pannelli tipo A, 346 pannelli tipo B e 47 pannelli tipo C. Per un totale di 574 pannelli a copertura di una superficie pari a 467,1 mq.

Facendo un confronto con il metodo tradizionale è emerso che questa nuova soluzione tecnologica comporta un notevole risparmio in termini di riduzione dei costi e dei tempi di applicazione.

	METODO TRADIZIONALE		METODO INNOVATIVO		
Pannelli dimensioni	50 x 100 cm	0,5 mq	60 x 250 cm	1,5 mq	
Superficie considerata	<b>618,05 mq</b>		<b>467,1 mq</b>		<b>meno 24,4%</b>
Pannelli numero	618,05/0,5 =	<b>1237</b>		<b>574</b>	<b>meno 53,6%</b>
Tasselli numero	3 x 1237 =	<b>3708</b>	4 x 574 =	<b>2296</b>	<b>meno 38,1%</b>

**Importante impatto Ambientale, una media del  
38% in meno di materiale** tra EPS, tasselli e colla.



*Figura 106 - Analisi del confronto tra metodo tradizionale e innovativo*

Dal confronto tra le due metodologie per l'isolamento termico emerge, a favore del metodo innovativo, una riduzione del 53,6% nell'utilizzo del materiale isolante e del 38,1% della tassellatura. Complessivamente la nuova soluzione tecnologica permette un risparmio medio del materiale (isolante, tasselli, rete e colla) pari al 38% contribuendo positivamente nell'impatto ambientale.

## 8. CONCLUSIONI

In questo capitolo si intendono descrivere i risultati ottenuti dalle analisi condotte e i possibili campi di applicazione.

### Riepilogo

Gli scenari di intervento proposti mostrano la concreta fattibilità di una riqualificazione edilizia avanzata e quanto sia fondamentale continuare a investire nella ricerca e nello sviluppo in ambito di riqualificazione.

L'analisi di un intervento già realizzato ha reso possibile la valutazione di tutte le criticità emerse durante il flusso di lavoro dal rilievo all'intervento realizzato. Le fasi lavorative e le soluzioni proposte rappresentano gli scenari ottimali che, attraverso una corretta progettazione combinata con l'utilizzo di strumenti, metodi e materiali innovativi, permettono di realizzare interventi significativamente più efficaci.

In un'ottica di riqualificazione del patrimonio scolastico, risulta evidente la necessità di un adeguamento del modello educativo e come l'architettura, nel suo compito di trasformazione del plesso scolastico, sia protagonista di questo cambiamento.

Per la scuola di Meleto Valdarno, si è evidenziata l'importanza di una riqualificazione integrata e della pianificazione del flusso di lavoro. Questi due aspetti, apparentemente slegati, giocano un ruolo simbiotico nell'intervento: la pianificazione permette di ottimizzare economicamente molteplici interventi; allo stesso tempo, la riqualificazione, per essere efficace, necessita imprescindibilmente di un'accurata pianificazione.

Ogni singola fase, dal rilievo alla progettazione, rappresenta un passaggio fondamentale che deve essere sviluppato al meglio per evitare che ogni eventuale errore si ripercuota nella fase successiva.

Per la scuola di Seravezza, la sperimentazione di una nuova soluzione tecnologica per l'isolamento termico a cappotto evidenzia, inoltre, l'enorme potenzialità di sviluppo e di trasformazione dei materiali attualmente utilizzati in edilizia. In riferimento al quantitativo di materiali impiegati per l'isolamento termico, sono stati stimati in media un 38% di materiale in meno utilizzando il metodo innovativo rispetto a quello tradizionale. Il ridotto utilizzo di materiali si traduce, a parità di qualità e di prestazioni, in risparmio economico e minore impatto ambientale.

## Ambiti di applicazione

Dalle analisi condotte è emersa l'importanza degli investimenti nel settore della riqualificazione del patrimonio edilizio esistente. Gli incentivi fiscali, in una prospettiva a lungo termine, permettono di consolidare questa tipologia d'intervento ottimizzandone il flusso di lavoro. In parallelo, i finanziamenti per lo sviluppo di nuove tecnologie e dei software di progettazione consentono di ridurre i tempi d'intervento e di sopperire alle problematiche legate all'approvvigionamento dei materiali. In conclusione, la riqualificazione energetica comporta molteplici vantaggi sotto l'aspetto economico, di sostenibilità, di smaltimento dei rifiuti, di fonti rinnovabili, di contenimento energetico, di salubrità dei luoghi e in generale permette di allungare il ciclo di vita dell'edificio, pertanto dev'essere considerata tra le attività principali dell'industria dei prossimi anni.

## BIBLIOGRAFIA

- AIPE. (2018). *Analisi del ciclo di vita dell'EPS*.
- AIPE. (2018). *EPS durata prestazionale*.
- Aitchison, M. (2018). *Prefab Housing and the Future of Building: Product to Process*. Lund Humphries.
- Ance. (2021). Osservatorio congiunturale sull'industria delle costruzioni.
- Ance. (2022). Osservatorio congiunturale sull'industria delle costruzioni.
- Balzani, M., Maietti, F., & Medici, M. (2016). *Metodi e strumenti informativo rappresentativi per il progetto strategico Smart Swap Building*. Disegnarecon.
- Berlinguer, L., & Guetti, C. (2014). *Ri-creazione. Una scuola di qualità per tutti e per ciascuno*. Liguori.
- Bew, M., & Richards, M. (2008). BIM Maturity Model.
- Biondi, G., Borri, S., & Tosi, L. (2016). *Dall'aula all'ambiente di apprendimento*. Altralinea Edizioni.
- Bitelli, G., Balletti, C., Brumana, R., Barazzetti, L., D'Urso, M. G., Rinaudo, F., & Tucci, G. (2019). The gamher research project for metric documentation of cultural heritage: current developments. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*.
- Boarin, P., & Davoli, P. (2010). *Edilizia scolastica: riqualificazione energetica e ambientale: metodologie operative, requisiti, strategie ed esempi per gli interventi sul patrimonio esistente*. Edicom.
- Bocconcino, M., Cangialosi, G., Lo Turco, M., & Serini, M. (2015). *Dal disegno di progetto al modello di cantiere: le radici del FM*.
- Borri, S. (2016). *Spazi educativi e architetture scolastiche: linee e indirizzi internazionali*.
- Borri, S. (2018). *The Classroom has Broken: Changing School Architecture in Europe and Across the World*.
- Borrmann, A., König, M., Koch, C., & Beetz, J. (2018). *Building Information Modeling: Technology Foundations and Industry Practice*. Springer.
- Cannarozzo, R., Cucchiarelli, L., & Meschieri, W. (2012). *Misure, rilievo, progetto*. Zanichelli.
- Cascone, S. M., Margani, G., & Sapienza, V. (2020). *New horizons for sustainable architecture*. Edicom Edizioni.
- Chiabrando, F., Sammartano, G., & Spano, A. (2016). *Historical buildings models and their handling via 3D survey: from points clouds to user-oriented HBIM*. XXIII ISPRS Congress.
- Ciribini, A. L. (2019). *Il cantiere digitale*. Esculapio.

Commissione Europea. (2011). Piano di efficienza energetica 2011.

Consorzio Cortexa. (2022). *Manuale per l'applicazione del sistema a cappotto*.

Di Giuda, G. M., & Villa, V. (2016). *Il BIM. Guida completa al Building Information Modeling per committenti, architetti, ingegneri, gestori immobiliari e imprese*. Hoepli.

Di Giuda, G. M., Comini, D., & Poletti, M. (2013). *Verifica dei progetti ai fini della validazione: valutazione dell'efficacia della verifica nei progetti di opere pubbliche*.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2016). *Il BIM: Guida completa al Building Information Modeling per committenti, architetti, ingegneri, gestori immobiliari e imprese*.

Governo Italiano. (2021). Piano nazionale di ripresa e resilienza.

Guerra, F. (2013). *Il rilievo fotogrammetrico*.

Inail. (2021). Dossier Scuola 2021.

Inzerillo, L., Lo Turco, M., Parrinello, S., Santagati, C., & Valenti, G. (2016). *BIM e beni architettonici: verso una metodologia operativa per la conoscenza e la gestione del patrimonio culturale*.

Jernigan, F. E. (2007). *Big BIM, Little Bim*.

Legambiente. (2021, Marzo). Ecosistema Scuola XX rapporto.

Legambiente. (2021, Ottobre). Ecosistema Scuola XXI rapporto.

Matrone, F. (2018). *Modelli HBIM da nuvola di punti: la verifica metrica dei dati e la valutazione dei risultati*.

Meda, J. (2016). *Mezzi di educazione di massa: saggi di storia della cultura materiale della scuola tra XIX e XX secolo*. FrancoAngeli.

Ministero dell'istruzione. (2021, marzo). Sistema Nazionale dell'anagrafe dell'edilizia scolastica.

Ministero dell'istruzione. (2022). Futura - progettare, costruire e abitare la scuola.

MIUR. (2022). *Edilizia scolastica - linee di finanziamento*. Tratto da [https://www.istruzione.it/edilizia\\_scolastica/linee-di-finanziamento.shtml](https://www.istruzione.it/edilizia_scolastica/linee-di-finanziamento.shtml)

Osello, A. (2012). *Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti*.

*Piano Giovani*. (2022). Tratto da <https://italiadomani.gov.it/it/il-piano/priorita-del-piano/giovani.html>

Piasackienè, G. (2022). *Dimensions of BIM in literature: Review and analysis*. ResearchGate.

Pozzoli, S., Bonazza, M., & Stefano Villa, W. (2018). *Revit 2019 per l'architettura, guida completa per la progettazione BIM*. Tecniche nuove.

Rizzarda, C. C., & Gallo, G. (2017). *La sfida del BIM. Un percorso di adozione per progettisti e imprese*. Tecniche Nuove.

- Rossetti, M., & Pepe, D. (2020). *La ricerca applicata al servizio. L'Ufficio Tecnico*.
- Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., & Teicholz, P. (2018). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers*. John Wiley & Sons.
- Smith, R., & Quale, J. (2017). *Offsite Architecture: Constructing the Future*. Taylor & Francis Group.
- Tagliabue, L. C., & Mastrolembo Ventura, S. (2019). *BIM e cantiere digitale 4.0. Il cantiere edile e infrastrutturale tra data analytics e internet of things*. Grafill.
- Tagliabue, L. C., & Villa, V. (2017). *Il BIM per le scuole: Analisi del patrimonio scolastico e strategie di intervento*. Hoepli Editore.
- Tosi, L. (2019). *Fare didattica in spazi flessibili. Progettare, allestire e utilizzare ambienti di apprendimento*. Giunti Scuola.
- Zanchetta, C., Croatto, G., Paparella, R., & Turrini, U. (2014). *Performance based building design per la qualità edilizia: dalla normalizzazione alla LEAN construction*. Techne.