

L'innovazione per la progettazione sostenibile

a cura di
Renata Morbiducci



Responsabile collana

Christiano Lepratti
(*Università di Genova*)

Renata Morbiducci
(*Università di Genova*)

Comitato scientifico

Carmen Andriani
(*Università di Genova*)

Thomas Auer
(*Technische Universitaet Muenchen, Germania*)

Umberto Berardi
(*Ryerson University, Toronto, Canada*)

Enrico Dassori
(*Università di Genova*)

Andrea Giachetta
(*Università di Genova*)

Marylís Nepomechie
(*Florida International University - Miami, USA*)

Thomas Spiegelhalter
(*Florida International University - Miami, USA*)

L'innovazione per la progettazione sostenibile

**a cura di
Renata Morbiducci**

**con i contributi di
Clara Vite,
Salvatore Polverino,
Vittoria Bonini**



è il marchio editoriale dell'Università di Genova



Per la realizzazione del capitolo 3, Salvatore Polverino ringrazia il Programma operativo nazionale (PON) «Ricerca e Innovazione 2014-2020» Azione IV.6 «Contratti di ricerca su tematiche Green» in quanto RTD-A (DM1062/2021, CUP D31B21008360007 – progetto «Sistemi costruttivi a base di materiali bidimensionali per un comportamento efficiente e resiliente delle costruzioni» SC 08/C1, SSD ICAR/10) presso il Dipartimento Architettura e Design dell'Università di Genova.

© 2023 GUP

I contenuti del presente volume sono pubblicati con la licenza
Creative commons 4.0 International Attribution-NonCommercial-ShareAlike.



Alcuni diritti sono riservati

e-ISBN (pdf) 978-88-3618-232-9

Pubblicato ad agosto 2023

Realizzazione Editoriale

GENOVA UNIVERSITY PRESS

Via Balbi, 6 – 16126 Genova

Tel. 010 20951558 – Fax 010 20951552

e-mail: gup@unige.it

<https://gup.unige.it>

INDICE

Parte I Innovazione e sostenibilità

1. Introduzione	9
<i>Renata Morbiducci</i>	
2. Strumenti e normative per la valutazione delle sostenibilità	19
<i>Clara Vite</i>	
3. Materiali innovativi per il progetto sostenibile	40
<i>Salvatore Polverino</i>	
4. Sul disegno tecnico: progetto e costruzione	66
<i>Vittoria Bonini</i>	

Parte II Esempi di applicazioni nella didattica

1. Introduzione	84
<i>Renata Morbiducci</i>	
2. Edificio di nuova costruzione	89
<i>Salvatore Polverino, Vittoria Bonini, Clara Vite, Renata Morbiducci</i>	
3. Edificio esistente	116
<i>Clara Vite, Renata Morbiducci</i>	
4. Intervento sul costruito. Un complesso residenziale	145
<i>Clara Vite, Renata Morbiducci</i>	
5. Intervento sul costruito. Un quartiere storico: la Maddalena	179
<i>Vittoria Bonini, Salvatore Polverino, Renata Morbiducci</i>	

PARTE I
INNOVAZIONE E SOSTENIBILITÀ

1. Introduzione

Renata Morbiducci

Il significato di ‘innovazione’ non è univoco, vi sono numerosissimi testi e individui che discutono, osservano, analizzano le diverse sfaccettature di quello che può rientrare nella categoria dei significati di innovazione.

Si vuole partire dalla definizione generale e condivisibile dell’enciclopedia Treccani¹: «In senso concreto, ogni novità, mutamento, trasformazione che modifichi radicalmente o provochi comunque un efficace svecchiamento in un ordinamento politico o sociale, in un metodo di produzione, in una tecnica, ecc.»; è chiaro che in questo caso sia un concetto molto generico che si deve declinare nei diversi settori delle attività dell’uomo. Tra questi, negli ultimi anni, i settori economico e tecnologico sono quelli in cui si sono investite più parole per dare un significato e una concreta applicazione del concetto di innovazione. Nel presente scritto si vuole osservare e discutere il significato e il ruolo di tale concetto nel settore delle costruzioni, facendo riferimento a una specifica declinazione, ossia, l’uso delle innovazioni al ‘servizio’ del progetto sostenibile.

¹ AA.VV. «Innovazione». *Istituto della Enciclopedia Italiana fondata da Giovanni Treccani S.p.A.* <https://www.treccani.it/vocabolario/innovazione/> (ultimo accesso 30 marzo 2023).

Il settore delle costruzioni sta entrando nella nuova era di trasformazione circolare e digitale dell'economia, con un rapido allineamento dei processi di produzione, costruzione e gestione ai principi dell'industria 4.0. Stiamo vivendo un periodo di transizione, da una parte si richiedono organismi edilizi ad alto contenuto tecnologico, capaci di includere innovazioni a basso costo, a basso impatto ambientale, a basso consumo energetico, sicuri e resilienti, adattabili, convertibili, trasformabili nel tempo e personalizzati; dall'altra, si continua a fare affidamento a soluzioni e approcci costruttivi tradizionali capaci solo parzialmente a soddisfare le nuove esigenze.

In questo scenario transitorio la grande sfida è superare le inevitabili condizioni d'inerzia che influenzano in modo particolare il settore delle costruzioni in Italia. Il costo ancora elevato dei nuovi prodotti per le Piccole e Medie Imprese (PMI), l'abitudine di sviluppare innovazioni in modo frammentario, il timore dei rischi, la conoscenza limitata delle reali opportunità offerte nella contemporaneità, ne sono esempi. Tali opportunità riguardano, l'uso di materiali e/o tecnologie adattabili agli stimoli ambientali, l'adozione di prodotti resilienti, la personalizzazione di componenti sulle preferenze dell'utente, l'integrazione di strumenti di supporto decisionale adattativi e intelligenti, ecc. Il settore delle costruzioni è stato da sempre protagonista di 'innovazioni ritardate' rispetto ad altri campi di attività umane; la necessità di sicurezza, verifiche procedurali e normative specifiche, la scarsa divulgazione delle novità, ma soprattutto la sua intrinseca inerzia dovuta ai connotati massivi e tradizionali hanno costantemente caratterizzato questo settore, soprattutto in paesi come l'Italia così ricchi di storia.

La situazione sta evolvendo in maniera inedita e veloce legata a due nuove condizioni: da una parte una sempre maggiore richiesta di strumenti innovativi che inducano a un loro uso intelligente per costruzioni, distretti e intere città; dall'altra la sempre maggiore necessità di creare (o forse meglio 'ri-creare') le condizioni di benessere per l'uomo e di contribuire attivamente alla qualità ambientale. Queste due così diverse condizioni hanno una sorprendente potenzialità se possono essere

trasformate da condizioni separate a facce della stessa medaglia, facce della prossima imminente generazione di costruzioni per le nostre città rigenerate. Le città del prossimo futuro, infatti, devono essere resilienti ai rapidi cambiamenti contrastanti, i ‘cambiamenti evolutivi/tecnologici’ e i ‘cambiamenti climatici’.

In particolare, il settore delle costruzioni sta cercando di comprendere come sfruttare la tecnologia per rendere il complesso processo costruttivo, della progettazione, delle operazioni di cantiere, della gestione, sino al fine vita, più efficiente e sostenibile. Anche nell’industria si rileva che le principali tendenze includono la digitalizzazione dei processi, lo sfruttamento degli strumenti robotici e l’uso di materiali da costruzione avanzati. Inoltre, la pandemia COVID-19 ha acuitizzato le richieste di nuovi modi di costruire e nuove costruzioni che garantiscano la sicurezza dei lavoratori e degli utenti.

Quindi, le *start-up* e le *scale-up* sviluppano sempre più innovazioni intorno alla prefabbricazione, alla sicurezza dei lavoratori e alla costruzione robotica. Parallelamente, la stampa 3D e le soluzioni di bioedilizia riducono significativamente l’impatto negativo della costruzione sull’ambiente.

Studi recenti² hanno individuato numerose nuove tendenze di sviluppo nell’industria delle costruzioni, tra queste, però, alcune sono di maggiore impatto e vengono spesso citate in studi e articoli in settori

² E.B. Barbier, *The Concept of Sustainable Economic Development*, in «*Environmental Conservation*», 14, 2, 1987, pp. 101-10. <https://doi.org/10.1017/S0376892900011449>.

X. Chen *et al.*, *Implementation of Technologies in the Construction Industry: A Systematic Review*, in «*Engineering, Construction and Architectural Management*», 29, 8, 2022, pp. 3181-3209. <https://doi.org/10.1108/ECAM-02-2021-0172>.

B. Purvis *et al.*, *Three Pillars of Sustainability: In Search of Conceptual Origins*, in «*Sustainability Science*», 14, 3, 2019, pp. 681-95. <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0627-5>.

che considerano le costruzioni come un importante ‘investimento’ o un’importante ‘causa’ dei cambiamenti climatici, solo per citarne due tra i più comuni; nel seguito vengono elencati tali principali tendenze:

- *Building Information Modeling (BIM)*;
- Prefabbricazione (*Off-site Construction*);
- Robotica (*Construction Robotic*);
- Stampa 3D (*Construction 3D Printing*);
- Gestione avanzata del progetto (*Construction Project Management*);
- Materiali avanzati per le costruzioni (*Advanced Construction Materials*);
- Sicurezza nel cantiere (*Construction Worker Safety*);
- Cantiere connesso (*Connected Construction Site*);
- Sostenibilità (*Green Buildings*);
- Monitoraggio delle costruzioni (*Construction Monitoring*).

In altre parole, le aziende preferiscono un approccio più collaborativo e ritengono che considerare l'intero ciclo di vita della costruzione abbia enormi potenzialità di efficienza, qualità e trasparenza. Le soluzioni a questo scopo includono l'uso di strumenti digitali, *hardware* e *software*, avanzati e strumenti di gestione basati sulla condivisione in rete (*in cloud*). Le aziende credono nell'uso dei robot in cantiere per ridurre i tempi di costruzione, aumentando la qualità e la sicurezza. Inoltre, l'applicazione dell'Internet delle cose (*IoT*) e delle tecnologie di realtà aumentata e virtuale (*AR/VR*), possono aumentare la sicurezza dei lavoratori e la connettività e collaborazione anche tra diversi cantieri. I materiali avanzati per le costruzioni hanno proprietà innovative, a volte inedite, e comunque potenziate, capaci di adattarsi alle nuove esigenze e metodologie del settore delle costruzioni, come, per esempio, l'edilizia modulare e industrializzata. Inoltre, gli strumenti di digitalizzazione dei processi permettono il monitoraggio e l'ispezione in ogni fase, rendendo più facile il lavoro degli addetti ai lavori. Infine, la stampa 3D automatizza il processo di costruzione e riduce la necessità di una forza lavoro manuale, offrendo anche maggiore flessibilità.

Questo stato di fatto viene giudicato diversamente a seconda delle numerose e diverse filosofie di pensiero nel settore delle costruzioni, infatti,

quello che qui stiamo definendo ‘settore delle costruzioni’ racchiude in sé le più varie anime che spaziano dall’architettura alla produzione dei materiali, dalla storia dell’architettura alla prefabbricazione industriale, dall’urbanistica all’automazione degli edifici e si potrebbe continuare a trovare ambiti e attività specifiche dell’uomo sempre da includere nel ‘settore delle costruzioni’. In tutta questa varietà di possibili pensieri e opinioni, però, si può forse identificare un punto comune, la quarta rivoluzione industriale, l’introduzione di un nuovo livello infrastrutturale non fisico, ossia l’infrastruttura digitale, che è ormai una realtà della nostra società e difficilmente potrà regredire o ancor meno scomparire. Allora in ogni caso può essere interessante osservare, nel modo più oggettivo possibile, in che cosa consiste o in che cosa può o potrà consistere la rivoluzione digitale nel settore delle costruzioni. Spesso si parla di ‘Costruzione 4.0’ per indicare questo nuovo modo di concepire il processo dalla progettazione alla gestione alla demolizione/riciclo di un manufatto nell’ambito delle costruzioni/infrastrutture.

Ecco allora che anche nel settore delle costruzioni l’innovazione, intesa come il rendere reale una brillante idea utile per chi la produce e per chi ne usufruisce, l’innovazione come ‘Costruzione 4.0’, ha potuto, può e potrà essere un efficace strumento per incrementare lo sviluppo, in positivo, del come progettare nuove costruzioni, ottimizzare il ‘funzionamento’ delle costruzioni esistenti, concepire la crescita dei nostri quartieri e delle nostre città, piccole o grandissime, come viene previsto dalla Commissione Europea. Questa ‘ipotesi’ vale ancor di più se si vuole considerare l’innovazione uno strumento per il progetto sostenibile.

Lo sviluppo sostenibile è il secondo concetto che si vuole declinare per il suo ruolo nel settore delle costruzioni, a prescindere dall’uso di questa denominazione nella nostra contemporaneità. Gli effetti negativi dell’evoluzione civile sull’ambiente sono riconosciuti come una delle principali criticità del nostro tempo, soprattutto in previsione di quello che potrà essere il futuro della società civile. Le cause principali di tali effetti, con particolare riferimento agli accadimenti degli ultimi decenni, sono la mancanza di controllo sulle attività umane finalizzate alla crescita economica/tecnologica, il conseguente uso eccessivo delle risorse naturali, con una pro-

gressione negativa delle forme e delle entità di deterioramento, la crescita incontrollata della popolazione mondiale e della malnutrizione. Per completezza di informazione si ricorda che alcuni esperti ritengono le previsioni negative sui cambiamenti del Pianeta inficiate da errori rilevanti dovuti alla qualità degli strumenti previsionali usati e ai dati impiegati (per esempio B. Lomborg, 2007)³; l'enormità di dati oggettivi impiegati per la realizzazione degli scenari sulle conseguenze legate ai cambiamenti climatici, però, rendono tali scenari sempre più realistici e affidabili.

La nascita e l'evoluzione del concetto di sviluppo sostenibile, nel senso di considerare possibile uno sviluppo civile che metta tra le sue priorità la conservazione della Terra (in termini di elementi naturali, di clima, di civiltà, di progresso...), sono conquiste recenti; il loro divenire è caratterizzato da eventi significativi la cui interpretazione aiuta a comprendere la portata delle 'rivoluzioni', in atto e paventate, nei diversi settori delle attività umane, tra cui, per la rilevante incidenza, spicca quello delle costruzioni. Sorvolando sugli avvenimenti principali della breve storia moderna della sostenibilità, è sufficiente fare riferimento all'ultimo evento cronologico importante, l'accettazione dell'Atto di Parigi durante la COP21 del 2015. Esso è certamente l'evento più significativo dopo la conferenza di Kyoto. Durante le due settimane di lavoro svolto dalle delegazioni di tutti i Paesi appartenenti all'UNFCCC si è raggiunto il risultato storico dell'Atto di Parigi (*Paris Agreement*), un patto climatico globale e condiviso, realizzato a partire dai documenti forniti dai 196 Paesi membri. Per mettere tutti d'accordo, però, il *Paris Agreement* ha dovuto accettare alcune concessioni, come per esempio la responsabilità differenziata degli Stati. L'obiettivo inderogabile è però quello di mantenere l'aumento della temperatura «ben al di sotto dei 2 °C», con la raccomandazione a fare di più (per uno scenario sotto 1,5 °C) con una revisione formale ogni 5 anni. L'entrata in vigore del Protocollo di Kyoto, prima, e l'Atto di Parigi, dopo, hanno aperto due

³ B. Lomborg, *Cool It: The Skeptical Environmentalist's Guide to Global Warming*, London, Alfred A. Knopf, 2007.

distinte linee di azione: da una parte si è continuato a lavorare per raggiungere i risultati fissati e si sono progettate nuove forme di sviluppo planetario a partire dal 2012 che sono ancora in atto; dall'altra si sono gestite, a livello europeo, nazionale e locale, le conseguenze direttamente collegate agli esiti pratici degli Accordi sui Cambiamenti Climatici. Nel contesto internazionale va ricordato che le Conferenze delle Parti sono continuate e che ogni nuovo appuntamento ha aggiunto qualcosa ai risultati ottenuti nella COP-21. Dal punto di vista del monitoraggio, i dati disponibili su cambiamenti climatici e uso delle risorse naturali sono notevolmente aumentati, grazie alle registrazioni effettuate dalle diverse agenzie internazionali fra cui, in particolare, l'IEA (*International Energy Agency*) e l'IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*). Tali dati mostrano ulteriori cambiamenti, in positivo e in negativo, certamente condizionati dalla crisi economica globale iniziata nel 2007 e che non in tutti i Paesi occidentali può essere considerata conclusa. Da una parte si assiste a una parziale riduzione di emissioni di CO₂, dall'altra si tracciano previsioni assai negative stante la mancanza di efficaci provvedimenti. Il raggiungimento di risultati positivi tali da ricreare buone condizioni ambientali implica forti investimenti in diversi settori, tra cui, per importanza, emerge ancora il settore delle costruzioni.

La codifica di quelle che possono essere definite 'scelte progettuali sostenibili' può essere formulata applicando il principio che una fabbrica deve adottare gli obiettivi di sviluppo sostenibile aggiornandoli progressivamente in base a quanto stabilito a livello internazionale (la sessione delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici, UNFCCC; l'accordo della Commissione Europea sui cambiamenti climatici, European Green Deal). Tali obiettivi vengono ormai universalmente distinti in ambientali, economici e sociali. Per il contesto in cui si vuole proporre tali obiettivi ciò che segue rappresenta un quadro riassuntivo delle tre categorie di obiettivi, riscontrabili nei 17 Obiettivi Globali Sostenibili proposti dalle Nazioni Unite tradotti per il settore delle costruzioni. Uno studio recente⁴ ha analizzato nel dettaglio l'o-

⁴ B. Purvis *et al.*, *op. cit.*

rigine della concezione dei tre pilastri della sostenibilità (sociale, economica e ambientale), comunemente rappresentata da tre pilastri: questo modo di rappresentare le famiglie di aspetti/obiettivi della sostenibilità, intersecando i cerchi con la sostenibilità complessiva al centro, è diventata onnipresente. In un'ottica di identificazione della genesi e delle basi teoriche di questa concezione, l'articolo passa in rassegna e discute la letteratura storica sulla sostenibilità. Da ciò si evince che non esiste un unico punto di origine di questa concezione, da una parte si è riscontrata una graduale emersione dal mondo accademico economico, per evidenziare che gli obiettivi sostenibili sociali e ambientali non esisterebbero senza il corretto supporto economico; dall'altra si ritrova il punto di vista delle Nazioni Unite, che ambiscono a far comprendere che gli aspetti sociali e ambientali sono intrinsecamente presenti nella concezione della crescita economica moderna (*Sustainable Development Goals*). In particolare, il popolare diagramma a tre cerchi sembra essere stato presentato per la prima volta da Barbier⁵, dove lo sviluppo economico sostenibile è l'intersezione, appunto, dei tre aspetti, sociale, economico e ambientale.

Qui di seguito viene condivisa una possibile 'traduzione' nel settore delle costruzioni/infrastrutture di tali obiettivi impiegando un approccio deduttivo, dal generale al particolare:

- Obiettivi ambientali:
 - » uso razionale e consapevole del territorio;
 - » progettazione subordinata alle condizioni ambientali locali;
 - » uso di materie prime rigenerabili, locali e riciclabili;
 - » riduzione globale dell'uso dell'energia in fase di gestione della costruzione;
 - » riduzione delle energie non rinnovabili a favore di quelle rinnovabili;
 - » riduzione delle emissioni dannose (fumi, gas, acque di scarico, rifiuti, ...);
 - » ...

⁵ E.B. Barbier, *op. cit.*

- Obiettivi economici:
 - » promuovere progetti e realizzazione per una crescita economica inclusiva e sostenibile;
 - » proporre soluzioni economicamente sostenibili, ma efficaci e durature;
 - » verificare il vantaggio economico tra le diverse soluzioni proposte, sino alla verifica tra riqualificazione dell'esistente o la demolizione/ricostruzione;
 - » favorire l'ingresso nel lavoro di professionisti capaci, preferibilmente giovani;
 - » ...
- Obiettivi sociali:
 - » ottenimento del benessere (*comfort*)⁶ abitativo, distinguibile in:
 - benessere termico;

⁶Il benessere (*comfort*) è definibile come «sensazione di benessere fisico e mentale» o come «condizione in cui un individuo esprime soddisfazione nei confronti dell'ambiente che lo circonda». Il metodo più usato e naturale per analizzare il benessere abitativo è quello di considerare i principali sensi dell'uomo (sensori di calore e umidità, occhi, orecchie, naso e, in senso lato, mente) cercando di individuare i fattori fisici che possono determinare la condizione di benessere in relazione a tali sensi. Si tratta di definire delle quantità ottimali e, attraverso dei bilanci tra perdite e guadagni, cercare di raggiungere tali valori considerati di benessere. Valutazioni di questo tipo sono molto complesse, per il numero di variabili presenti. In ogni tipo di valutazione di benessere certo è necessario differenziare i bilanci in funzione delle zone climatiche e della stagione solare. Negli studi di base si distinguono almeno quelli denominati regime invernale e regime estivo. Da un punto di vista qualitativo il regime invernale coincide con il periodo dell'anno in cui statisticamente la temperatura esterna è uguale o inferiore a un valore di riferimento (in Italia 12 °C); mentre il regime estivo rappresenta il periodo dell'anno in cui la temperatura esterna supera di qualche grado (per esempio 5 °C) la temperatura interna di riferimento (in Italia 20 °C). Esistono poi i periodi intermedi in cui la temperatura esterna di riferimento è superiore ai 12 °C, ma inferiore a 25 °C. Nella progettazione sostenibile il raggiungimento del benessere abitativo è considerato uno degli scopi principali.

- benessere igrometrico;
- benessere acustico;
- benessere visivo;
- benessere olfattivo;
- benessere psicologico;
- ...

A questo punto, si vuole ‘trasformare’ lo stato di progetto in una domanda la cui risposta deve essere letta semplicemente come un’occasione per avere una panoramica di cosa si intende sintetizzare nel proseguo di questo scritto.

La domanda è: noi cosa possiamo fare? Queste poche parole racchiudono l’idea di responsabilità che ha il mondo accademico in due principali ambiti: alta formazione e ricerca scientifica. Le occasioni per dare un proprio contributo sono molteplici, infatti, a partire dagli insegnamenti dei corsi universitari si possono distinguere numerosi ambiti di azione culturale teorica e applicativa. Nei capitoli che seguono vengono trattati gli argomenti che si ritengono fondamentali per lo ‘sviluppo’ di un progetto sostenibile nel settore delle costruzioni; argomenti trattati con approccio specifico, quello del ‘costruire architettura sostenibile’, quindi un approccio il più possibile oggettivo e volto a dare soluzioni per ciò che si progetta seguendo i principi della sostenibilità, considerando principalmente gli aspetti tecnici, tecnologici e quantitativi. Gli autori del presente scritto non hanno come obiettivo principale la ‘progettazione architettonica’, hanno il desiderio di fornire una conoscenza applicativa come strumento per realizzare ciò che viene progettato, contenendo gli obiettivi della sostenibilità, avvalendosi di ciò che l’innovazione può fornire come strumento per raggiungere tale scopo.

2. Strumenti e normative per la valutazione delle sostenibilità

Clara Vite

A più di trent'anni dalla definizione di sviluppo sostenibile¹, l'impatto previsto sull'ambiente dovuto all'evoluzione della civiltà umana è immutato, se non peggiorato. L'Agenda 2030 rinnova l'impegno a proteggere il pianeta dal degrado, anche attraverso il consumo e la produzione sostenibili, gestendo in modo sostenibile le risorse naturali e agendo con urgenza sui cambiamenti climatici, in modo che possa soddisfare i bisogni delle generazioni presenti e future².

L'aumento delle temperature globali, l'innalzamento del livello del mare e la desertificazione sono alcuni degli impatti più preoccupanti del cambiamento climatico. A questi vanno aggiunti gli inevitabili effetti dovuti all'aumento della popolazione mondiale³ e alla crescita delle aree urbane esistenti o alla creazione di nuove.

¹ UN. Secretary-General and World Commission on Environment and Development, «Report of the World Commission on Environment and Development : Note / by the Secretary-General», vol. 55 (New York, 1987).

² *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development*, risoluzione dell'Assemblea generale delle Nazioni Unite, New York, NY, USA, 2015.

³ United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. *World Population Prospects: The 2017 Revision, Key Findings and Advance Tables*; Working Paper No. ESA/P/WP/248; United Nations: New York, NY, USA, 2017.

La mitigazione dei cambiamenti climatici è quindi una delle sfide più importanti del nostro tempo e tutti i settori dell'attività umana sono chiamati a dare il loro apporto.

Il settore delle costruzioni può dare un contributo essenziale, a tal proposito le responsabilità e implicazioni ambientali, sociali ed economiche sono infatti significative. Da ciò nasce un complesso quadro di azioni e strumenti messi a disposizione di ciascuna figura coinvolta, dai progettisti sino agli utilizzatori finali, al fine di perseguire gli obiettivi dello sviluppo sostenibile.

2.1 Strategie politiche e normative

La limitatezza delle risorse e la sfida alla mitigazione degli effetti dei cambiamenti sono diventati nel tempo elementi chiave delle azioni politiche e sono stati trasformati in vere e proprie strategie per il nostro futuro.

Il tema può essere affrontato guardando due dei principali motori trainanti di questa trasformazione.

Da un lato abbiamo una spinta dall'alto che arriva dalle Nazioni Unite e dalla Comunità Europea affinché tutti gli Stati adottino nel concreto azioni che portino a risultati fattivi nel breve termine. Tra queste vi sono le normative e le leggi che pongono obiettivi, ad esempio relativi all'efficienza degli edifici, all'utilizzo e produzione di energia da fonti rinnovabili, ecc.

Dall'altro lato però vi è una crescente spinta da parte degli utenti finali degli edifici, che chiedono sempre più evidenza dell'efficienza e della sostenibilità delle costruzioni e dei materiali utilizzati.

2.1.1 Quadro normativo di riferimento

I negoziati internazionali sul clima e le linee guida per affrontare il cambiamento climatico sono tradotti in direttive, leggi e standard tecnici nei singoli paesi. Il quadro di riferimento è ampio e complesso perché vengono trattati diversi aspetti della sostenibilità e si possono trovare

molteplici differenze in base all'ambito geografico, al contesto sociale, alle caratteristiche degli edifici, alle tecniche di costruzione, ecc.

Seppur già nei primi anni successivi al 1990 in Europa diversi stati hanno emanato leggi relative allo studio del comportamento energetico degli edifici, il vero cambio di passo è avvenuto dagli anni 2000 in poi. Nel contesto europeo dall'inizio del nuovo millennio, sono state emanate diverse direttive per tracciare una direzione comune per gli Stati membri sull'efficienza degli edifici. Ad essi viene poi affidato il compito di tradurre e attuare i concetti contenuti nelle direttive attraverso leggi e regolamenti nazionali.

È un passaggio cruciale che detta un cambio di rotta e che dà inizio all'introduzione dei temi legati alla sostenibilità nel settore delle costruzioni. La Commissione Europea ha iniziato tale processo delineando le regole più significative con la direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico degli edifici (EPBD), non più in vigore dal 2012. Questa Direttiva è una traduzione dei principi del Protocollo di Kyoto per il contesto europeo e per le caratteristiche specifiche del settore delle costruzioni. L'obiettivo di questo documento è quello di «promuovere il miglioramento del rendimento energetico degli edifici all'interno della Comunità, tenendo conto delle condizioni climatiche esterne e locali, nonché dei requisiti climatici interni e dell'efficacia dei costi»⁴. La direttiva ha quindi indirizzato il settore verso l'efficienza energetica e ha richiesto agli Stati membri di elaborare le proprie misure di attuazione e stabilire un sistema di certificazione energetica.

Nel 2006 è stata elaborata la Direttiva 2006/32/CE del Parlamento europeo e del Consiglio sull'efficienza degli usi finali dell'energia e

⁴ Direttiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2002 sul rendimento energetico nell'edilizia, *Gazzetta ufficiale delle Comunità europee* L. 1, 2002, pp. 65-71.

sui servizi energetici⁵. Questa direttiva, valida fino al 2014, definiva il quadro normativo e operativo per permettere ad ogni Stato membro di raggiungere gli obiettivi di risparmio energetico negli usi finali dell'energia per il 2015.

Il 23 aprile 2009 è stata introdotta la Direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili che stabilisce un quadro comune⁶. Importante anche questo passaggio poiché si inizia concretamente a promuovere la produzione di energia da fonti rinnovabili e a fissare obiettivi precisi. Nella direttiva infatti si trovano inoltre gli obiettivi nazionali obbligatori per la quota complessiva di energia da fonti rinnovabili nel consumo finale lordo di energia e per la quota nei trasporti, nonché i criteri di sostenibilità per i biocarburanti e i bioliquidi.

Nel luglio 2010 entra in vigore la Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio europeo sulla prestazione energetica degli edifici, che aggiorna e sostituisce la direttiva 2002/91/CE⁷. Si aggiunge al cosiddetto pacchetto di norme tecniche a sostegno della direttiva EPBD. L'obiettivo di questa direttiva è quello di mettere ancora più a fuoco il tema dell'efficienza delle costruzioni sulla base delle condizioni climatiche dei singoli Stati membri introducendo la richiesta per gli edifici di nuova costruzione di essere ad energia 'quasi' zero.

⁵ Direttiva 2006/32/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 5 aprile 2006 concernente l'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e recante abrogazione della direttiva 93/76/CEE del Consiglio, *Gazzetta ufficiale dell'Unione europea* L. 114, 2006, pp. 64-85.

⁶ Direttiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 23 aprile 2009 sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE, *Gazzetta ufficiale dell'Unione europea* L. 140, 2009, pp. 16-62.

⁷ Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia, *Gazzetta ufficiale dell'Unione europea* L. 153, 2010, pp. 13-35.

Il 25 ottobre 2012, l'Unione europea adotta la nuova Direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica⁸, che conclude il processo legislativo, iniziato dalla Commissione europea nel giugno 2011, con la proposta di un testo contenente misure giuridicamente vincolanti per prescrivere un maggiore impegno degli Stati membri a utilizzare l'energia in modo più efficiente in tutte le fasi della catena energetica, dalla sua trasformazione alla sua distribuzione e al consumo finale.

La direttiva fa parte del Pacchetto Clima ed Energia 2020, con il quale l'Unione Europea si era prefissata di raggiungere tre importanti obiettivi entro il 2020:

- la riduzione delle emissioni di gas serra del 20% rispetto ai livelli del 1990;
- l'aumento dell'uso di fonti di energia rinnovabile (eolica, solare, biomassa, ecc.) e il raggiungimento di una quota del 20% di energia rinnovabile sul totale del consumo energetico europeo;
- l'aumento dell'efficienza energetica attraverso la riduzione del consumo di energia del 20%.

Infine, per completare la panoramica sulle normative di riferimento europee, nel giugno 2018 è stato pubblicato il documento UE 2018/844⁹, che apporta alcune modifiche alle direttive 2010/31/UE e 2012/27/UE ancora in vigore. Questo documento nasce dalla necessità di delineare una nuova direzione e dei nuovi obiettivi per i paesi membri al fine di promuovere lo sviluppo di un sistema

⁸ Direttiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 25 ottobre 2012 sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE, *Gazzetta ufficiale dell'Unione europea* L. 315, 2012, pp. 1-56.

⁹ Direttiva (UE) 2018/844 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 30 maggio 2018 che modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, *Gazzetta ufficiale dell'Unione europea* L. 156, 2018, pp. 75-91.

energetico sostenibile, competitivo, sicuro e decarbonizzato entro il 2050 e per ridurre le emissioni di gas serra di almeno il 40% entro il 2030. A tal fine, gli Stati membri sono stati invitati a recepire e attuare i requisiti della direttiva entro il 20 marzo 2020.

Tra le principali novità ci sono due indicazioni chiave:

- l'obbligo di migliorare il rendimento energetico degli edifici nuovi ed esistenti e di raggiungere un parco edilizio fortemente decarbonizzato entro il 2050; a tal fine, gli Stati membri sono tenuti a sviluppare strategie nazionali a lungo termine per promuovere l'efficienza degli edifici residenziali e non residenziali, sia pubblici che privati, al fine di ridurre le emissioni dell'UE (rispetto ai livelli del 1990) dell'80-95%;
- l'introduzione di un «indicatore di prontezza per gli edifici intelligenti» nelle strategie nazionali con l'obiettivo di sensibilizzare i proprietari e gli occupanti sul valore dell'automazione degli edifici e del monitoraggio elettronico dei sistemi tecnici degli edifici e di rassicurare gli occupanti sui risparmi reali di queste nuove funzionalità migliorate.

2.2.2 Quadro normativo italiano

Il quadro nazionale italiano sulle misure introdotte dalle direttive sull'efficienza e il rendimento energetico degli edifici è costituito da una serie di leggi che si sono susseguite dal 2005 sino ad oggi con l'adozione della prima direttiva 2002/91/CE.

Il primo passo di questo percorso è stato fatto con l'introduzione del Decreto Legislativo 192/2005¹⁰ che stabilisce i criteri, le condizioni e le modalità per migliorare il rendimento energetico degli edifici al fine di promuovere lo sviluppo, la valorizzazione e l'integ-

¹⁰ Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia, Decreto Legislativo, n. 192, approvato il 19 agosto 2005.

grazione delle fonti rinnovabili e la diversificazione energetica. Il successivo è stato l'approvazione del Decreto Legislativo 311/2006¹¹ che ha modificato e rafforzato vari aspetti del precedente, quali ad esempio:

- l'obbligo di certificare il rendimento energetico degli edifici sia in caso di vendita sia di locazione;
- l'obbligo di attestare la certificazione energetica nei contratti per la gestione degli impianti di climatizzazione negli edifici pubblici;
- l'inserimento di valori limite dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale (EPI) più restrittivi di quelli del D.lgs. 192/2005, diversificandoli per rapporto S/V¹², data di costruzione dell'edificio e zona climatica di appartenenza.

Nel 2008 è stata inoltre recepita la direttiva 2006/32/CE con il Decreto Legislativo 115/2008¹³, che introduce i seguenti punti:

- procedure semplificate per l'installazione di impianti eolici con altezza complessiva non superiore a 1,5 metri e diametro non superiore a 1 metro, impianti solari termici o fotovoltaici aderenti o integrati nelle coperture degli edifici con la stessa inclinazione e orientamento della falda, e autorizzazione alla costruzione e all'esercizio di impianti di cogenerazione con potenza < 300 MW;
- incentivi volumetrici per i nuovi edifici e deroghe alle distanze di confine per gli edifici nuovi ed esistenti se è realizzata una riduzione minima del 10% dell'indice di prestazione energetica;

¹¹ Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia, Decreto legislativo, n. 311, approvato il 29 dicembre 2006.

¹² Il rapporto tra la superficie disperdente (S) e il volume riscaldato (V).

¹³ Attuazione della direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE, Decreto legislativo, n. 115, approvato il 30 maggio 2008.

- obblighi del settore pubblico in materia di *audit* e certificazione energetica per gli edifici pubblici, acquisto di elettrodomestici, sistemi e veicoli ad alta efficienza energetica, utilizzo di strumenti finanziari per il risparmio energetico;
- sistemi di certificazione per esperti in gestione dell'energia, sistemi di gestione dell'energia e diagnosi energetiche.

Il Decreto del Presidente della Repubblica del 2 aprile 2009 n. 59¹⁴, entrato in vigore il 25 giugno 2009, relativo all'attuazione della direttiva comunitaria 2002/91/CE sul rendimento energetico nell'edilizia, ha completato i criteri, i metodi di calcolo e i requisiti minimi di efficienza energetica degli edifici. Il testo fissa i requisiti minimi per la prestazione energetica degli impianti e degli edifici nuovi ed esistenti, confermando quelli già stabiliti nell'allegato I del D.lgs. 192/2005, con l'aggiunta però di un valore massimo di prestazione energetica ammissibile per il raffrescamento estivo dell'involucro edilizio.

Nello stesso anno il Decreto Ministeriale 26 giugno 2009¹⁵ ha emanato le prime linee guida nazionali di riferimento per la certificazione energetica degli edifici nuovi e vecchi e per la definizione dei metodi di calcolo, sancendo definitivamente l'entrata in vigore della certificazione energetica su tutto il territorio nazionale, introducendo:

- una nuova classe energetica A+, che si aggiunge alle sette esistenti;
- una nuova classificazione energetica che indica le prestazioni dell'involucro (obbligatoria anche in estate per gli edifici superiori ai 200 m²).

¹⁴ Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia, Decreto del Presidente della Repubblica, n. 59, approvato il 2 aprile 2009.

¹⁵ Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici, Decreto Ministeriale approvato il 26 giugno 2009.

Il 29 marzo 2011 è entrato in vigore il Decreto legislativo 28/2011¹⁶ che recepisce la direttiva 2009/28/CE e definisce gli strumenti, i meccanismi, gli incentivi e il quadro istituzionale, finanziario e giuridico necessari per raggiungere gli obiettivi di energia da fonti rinnovabili fino al 2020.

Il quadro si è completato più recentemente con il Decreto legge 63/2013¹⁷, poi convertito nella legge 90/2019¹⁸, recante misure urgenti per l'attuazione della direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure di infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale. Tali disposizioni sono state attuate con la pubblicazione del Decreto Ministeriale 26 giugno 2015 sui seguenti tre argomenti:

- requisiti minimi e definizione dell'edificio a energia quasi zero;
- linee guida nazionali per la certificazione energetica, metodi di classificazione e nuovo modello di attestato di prestazione energetica;
- nuovi modelli per la relazione tecnica.

Infine, il recepimento della direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica è demandato al Decreto legislativo 102/2014¹⁹ e le disposizioni

¹⁶ Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE, Decreto legislativo, n. 28, approvato il 3 marzo 2011.

¹⁷ Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, Decreto-Legge, n. 63, approvato il 4 giugno 2013.

¹⁸ Conversione, con modificazioni, del decreto-legge 4 giugno 2013, n. 63., Legge n. 90, approvato il 3 agosto 2013.

¹⁹ Attuazione della direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE, Decreto legislativo, n. 102, approvato il 4 luglio 2014.

integrative e correttive del Decreto legislativo 141/2016²⁰, che contiene nuove disposizioni in materia di prestazione energetica degli edifici della pubblica amministrazione, audit energetici, misurazione e fatturazione, finanziamenti per l'efficienza e sanzioni.

2.2.3 Iniziative su base volontaria

L'Accordo di Parigi e l'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile rappresentano entrambi strategie politiche universalmente approvate che segnano un cambiamento di paradigma con un approccio dall'alto verso il basso dei mandati internazionali alle nazioni e, di conseguenza, ai loro cittadini.

Ci sono, tuttavia, diverse iniziative che seguono il percorso opposto (*bottom-up*) costituito da cittadini e consumatori che sono sempre più consapevoli e preoccupati riguardo i temi della sostenibilità. Si uniscono e manifestano per spingere i governi e le industrie ad accelerare la rivoluzione dei loro processi e prodotti verso la transizione ecologica e lo sviluppo sostenibile.

L'urgenza del problema ha fatto sì che le proteste e le azioni si siano diffuse quasi in modo virale, e i promotori sono soprattutto i giovani. In Italia, l'85% dei giovani nati dopo il 1997 si dichiara interessato alle questioni ambientali; il 70% sceglie aziende impegnate nella tutela dell'ambiente; l'82% è attento ai rifiuti e l'85% fa la raccolta differenziata²¹.

2.3 Strumenti

Analogamente a quanto visto prima anche questo paragrafo relativo agli strumenti messi a disposizione per valutare la sostenibilità delle

²⁰ Disposizioni integrative al decreto legislativo 4 luglio 2014, n. 102, Decreto Legislativo, n. 141, approvato il 18 luglio 2016.

²¹ «GENZ Monitor», Nomisma, <https://www.nomisma.it/servizi/osservatori/osservatori-realizzati-ad-hoc/genz-monitor/> (ultimo accesso 21 giugno 2023).

costruzioni e perseguire gli obiettivi dello sviluppo sostenibile, verrà trattato da due punti di vista. Saranno riportati gli strumenti obbligatori vigenti, che derivano dalle richieste normative, e quelli volontari che possono essere impiegati per far fronte alle richieste dell'utente finale.

2.3.1 Obbligatori

2.3.1.1 Appalti pubblici verdi

Sulla base delle indicazioni europee secondo il modello di Politica Integrata di Prodotto, negli ultimi anni si sono susseguiti in Italia una serie di provvedimenti politici in materia di *Green Public Procurement* (GPP) volti a integrare, accanto ai tradizionali parametri di prestazione e prezzo, considerazioni di carattere ambientale nelle procedure di acquisto di prodotti e servizi del settore pubblico. Alla luce della grande incidenza che questi acquisti hanno sul mercato comunitario, risulta evidente l'importanza del ruolo che ricoprono le pubbliche amministrazioni nell'orientare il sistema produttivo verso soluzioni sostenibili. I cosiddetti 'appalti verdi' possono infatti essere un motore importante per l'innovazione, dando all'industria incentivi reali per sviluppare prodotti e servizi 'verdi', in particolare in settori in cui le amministrazioni pubbliche sono tra i maggiori acquirenti sul mercato (ad esempio i settori dell'edilizia, della sanità e dei trasporti). Viene riportato esplicitamente nel Libro Verde della Commissione Europea sulla Politica Integrata di Prodotto: «le Amministrazioni Pubbliche devono assumersi le proprie responsabilità ed essere le prime a creare una domanda di prodotti ecologici».

Insieme agli evidenti vantaggi ambientali in termini di riduzione della quantità e della pericolosità dei rifiuti e dell'inquinamento, l'adozione di politiche volte ad acquisti verdi porterebbe vantaggi economici con la riduzione dell'utilizzo di materiali vergini ed energia nonché stimolando la crescita e creando nuovi posti di lavoro nelle imprese che sviluppano tecnologie innovative attente all'ambiente.

2.3.1.2 Criteri Ambientali Minimi

All'interno del PAN GPP²², è stata introdotta, tramite il Decreto 24 dicembre 2015²³ poi aggiornato con il Decreto Ministeriale 23 giugno 2022²⁴, la definizione dei Criteri Ambientali Minimi (CAM) per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici nonché per la gestione di cantieri nelle opere pubbliche. In conformità a quanto richiesto dal nuovo codice degli appalti, si è entrati nello specifico della materia, stabilendo i campi d'applicazione dei CAM nonché fissando i valori limite da soddisfare per la partecipazione ai bandi pubblici. L'applicazione dei CAM è prevista nei documenti di gara delle opere pubbliche sul 100% del valore d'asta e nell'aggiudicazione degli appalti secondo l'offerta economicamente più vantaggiosa. Gli ambiti a cui vengono richiesti dei criteri minimi ambientali negli appalti pubblici sono:

- Selezione dei candidati;
- Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico;
- Specifiche tecniche progettuali per gli edifici;
- Specifiche tecniche per i prodotti da costruzione;

²² Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Piano Nazionale d'Azione sul Green Public Procurement (PAN GPP), 2013, <https://gpp.mite.gov.it/Home/PianoAzioneNazionaleGPP> (ultimo accesso 21 giugno 2023).

²³ Adozione dei criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici per la gestione dei cantieri della pubblica amministrazione e criteri ambientali minimi per le forniture di ausili per l'incontinenza, Decreto del Ministero dell'ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, approvato il 24 dicembre 2015.

²⁴ Criteri ambientali minimi per l'affidamento del servizio di progettazione di interventi edilizi, per l'affidamento dei lavori per interventi edilizi e per l'affidamento congiunto di progettazione e lavori per interventi edilizi, Decreto del Ministero della Transizione Ecologica approvato il 23 giugno 2022.

- Specifiche tecniche progettuali relative al cantiere;
- Criteri premianti per l'affidamento del servizio di progettazione;
- Criteri per l'affidamento dei lavori per interventi edilizi;
- Criteri per l'affidamento congiunto di progettazione e lavori per interventi edilizi.

Risulta interessante notare come l'aspetto più innovativo di questo Decreto, più che ai limiti vincolanti richiesti per la partecipazione dei bandi pubblici, sia dovuto all'introduzione dei CAM all'interno dei processi d'aggiudicazione degli appalti secondo offerta economicamente più vantaggiosa. Favorire il confronto tra gli operatori del settore attraverso approcci prestazionali oltre che prescrittivi, infatti, è ritenuto ad oggi il nodo decisivo per incentivare la sperimentazione e la ricerca di innovazioni a beneficio della tutela dell'ambiente.

2.3.2 Volontari

2.3.2.1 Certificazione ambientale di Prodotto

Per i produttori che ricadono nell'ambito di una norma armonizzata, la marcatura CE costituisce un obbligo sancito dalla Direttiva comunitaria Prodotti da costruzione 89/106²⁵ sostituita nel 2011 dal Regolamento Prodotti da Costruzione 305/2011 (CPR)²⁶. Tale regolamento fissa le condizioni necessarie per la produzione e la distribuzione dei materiali e prodotti nel mondo dell'edilizia, a tutela della sicurezza e la

²⁵ Direttiva 89/106/CEE del Consiglio del 21 dicembre 1988 relativa al ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari e amministrative degli Stati Membri concernenti i prodotti da costruzione, *Gazzetta ufficiale delle Comunità europee* L. 40, 1989, pp. 12-26.

²⁶ Regolamento (UE) n. 305/2011 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 9 marzo 2011 che fissa condizioni armonizzate per la commercializzazione dei prodotti da costruzione e che abroga la direttiva 89/106/CEE del Consiglio, *Gazzetta ufficiale dell'Unione europea* L. 88, 2011, pp. 5-43.

salute dei lavoratori, alla difesa dei consumatori e dell'ambiente. Di fatto quindi, la marcatura CE attesta che le prestazioni del prodotto sono conformi alla normativa tecnica europea e che, pertanto, tale prodotto può essere immesso nel mercato e circolare liberamente all'interno dell'Unione Europea. A differenza delle certificazioni di qualità volontarie, la marcatura CE non viene rilasciata da alcun organo predisposto: il fabbricante stesso del prodotto da costruzione garantisce, per mezzo della dichiarazione di prestazione, la piena conformità ai requisiti richiesti dal CPR. Si parla dunque di «responsabilità dell'immissione del prodotto sul mercato».

La certificazione volontaria di parte terza, diversamente, si basa su una procedura in cui un organismo di certificazione, con la concessione di un marchio, fornisce assicurazione scritta sulla qualità e sulla conformità a determinati requisiti. Questa conformità viene quindi esplicitata attraverso la licenza d'uso di un apposito marchio, la cui presenza sull'oggetto, essendo espressione di controlli periodici anche sui processi produttivi e aziendali, assicura che tutta la produzione è conforme nel tempo a quanto dichiarato dal produttore. Essendo garante delle effettive prestazioni del prodotto, oggi sempre più operatori attenti si avvalgono di questa certificazione nel settore dell'edilizia, al fine di ottenere una maggiore credibilità sul vasto mercato.

L'idoneità del prodotto edilizio si basa su sette requisiti essenziali:

- resistenza meccanica e stabilità;
- sicurezza in caso di incendio;
- igiene, salute, ambiente;
- sicurezza nell'impiego;
- protezione acustica;
- risparmio energetico ed isolamento termico;
- uso sostenibile delle risorse ambientali.

A questi requisiti base se ne aggiungono numerosi altri tra cui le certificazioni sulla percentuale di materiale riciclato, la rintracciabilità dei materiali in ogni fase della produzione ecc. In alcuni casi, vengo-

no adottate valutazioni secondo le procedure del *Life Cycle Assessment* sull'intero ciclo di vita del prodotto.

Tra le certificazioni ambientali di organismi terzi i più diffusi per i prodotti dell'edilizia vi sono:

- Ecolabel nazionali in Europa (Angelo azzurro tedesco, Cigno bianco dei paesi nordici etc.);
- *Environmental Product Declaration* (EPD).

2.3.2.2 Certificazione ambientale degli edifici

Gli accordi internazionali tradotti in norme e leggi sono supportati da sistemi di valutazione della sostenibilità degli edifici. Si tratta di sistemi di certificazione volontari che, sulla base di un punteggio assegnato a specifici indicatori prestabiliti e utilizzando una scala di valutazione solitamente organizzata in livelli da raggiungere, permettono di misurare la qualità della costruzione.

I principali promotori della diffusione e dell'utilizzo di questi sistemi sono i clienti stessi, data la loro natura volontaria e non obbligatoria. Il rapporto 2018 su *World Green Building Trends*²⁷ conferma con i risultati dell'indagine che il principale motore delle attività edilizie orientate alla sostenibilità è la richiesta dei clienti.

Le ragioni di questa scelta sono molteplici e riconducibili a tre macro-aspetti: sociale, economico e ambientale. Dal punto di vista sociale, la principale tendenza rilevata nei clienti è quella di ottenere edifici che garantiscano migliori livelli di comfort abitativo e migliorino la salute degli occupanti. Un'altra ragione, che negli anni passati era di primaria importanza, è quella di promuovere e incoraggiare pratiche commerciali sostenibili. Per quanto riguarda le ragioni economiche, il minor costo nella gestione dell'edificio è rilevante, seguito da altre

²⁷ Smart Market Report. «World Green Building Trends 2018», in *Dodge Data & Analytics*, 2018. <https://worldgbc.org/wp-content/uploads/2022/03/World-Green-Building-Trends-2018-SMR-FINAL-10-11.pdf>

ragioni relative al maggior valore dell'immobile, che porta a maggiori entrate dalla sua vendita o affitto. Infine, dal punto di vista ambientale, vi è la possibilità di ridurre il consumo energetico, rimasto pressoché invariato negli anni. Troviamo poi altri motivi legati alla riduzione dell'uso delle risorse naturali e dell'acqua, alla produzione di gas serra e al miglioramento della qualità dell'aria.

Il primo sistema di certificazione, chiamato BREEAM, è stato sviluppato nel 1990 in Inghilterra e da allora molti altri sono stati sviluppati negli anni. Secondo uno studio del 2006, sono disponibili sul mercato più di 34 sistemi di valutazione per la bioedilizia o strumenti di valutazione ambientale, e il numero è ancora in crescita²⁸. Se ora guardiamo anche alle certificazioni di prodotto, si stima che ci siano quasi 600 certificazioni in tutto il mondo e il numero continuerà a crescere nei prossimi anni²⁹.

Tutti i sistemi di classificazione hanno quattro parti principali in comune³⁰:

- le categorie che formano un insieme specifico di voci relative alle prestazioni ambientali considerate durante la valutazione;
- un sistema di punteggio che permette di misurare le prestazioni accumulando punti o crediti quando si raggiungono determinati livelli nei vari aspetti analizzati;
- un sistema di ponderazione che permette di dare una diversa rilevanza ad ogni specifica categoria all'interno del sistema di punteggio complessivo;

²⁸ K. Fowler, E.M. Rauch, *Sustainable Building Rating Systems Summary*, in «Pacific Northwest National Laboratory», 2006.

²⁹ M. Mohamed, *Green Building Rating Systems as Sustainability Assessment Tools: Case Study Analysis*, a cura di M.J. Bastante-Ceca, J.L. Fuentes-Bargues, L. Hufnagel, F.C. Mihai, C. Iatu, Ch. 7. Rijeka, IntechOpen, 2019. <https://doi.org/10.5772/intechopen.87135>.

³⁰ E. Bernardi *et al.*, *An Analysis of the Most Adopted Rating Systems for Assessing the Environmental Impact of Buildings*, in «Sustainability», 9, 7, 2017, pp. 1-27. <https://doi.org/10.3390/su9071226>.

- un *output* finale che ha lo scopo di mostrare, in modo diretto e completo, i risultati delle prestazioni ambientali ottenuti durante la fase di punteggio.

Le pagine seguenti descriveranno le caratteristiche principali di due sistemi a punteggio: BREEAM e LEED. Il primo, come già accennato, è stato il punto di partenza di tutti questi sistemi ed è tuttora utilizzato; il secondo è il sistema più diffuso al mondo³¹.

Tra le altre certificazioni più conosciute a livello mondiale troviamo:

- il WELL sviluppato dall'*International WELL Building Institute*;
- *Excellence in Design for Greater Efficiencies* (EDGE) sviluppata da *International Finance Corporation* (IFC), membro del *World Bank Group*;
- *Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen* (DNGB) sviluppato in Germania;
- *Living Building Challenge* (LBC) sviluppato dall'*International Living Future Institute*;
- *Haute Qualite Environmentale* (HQE) sviluppato in Francia;
- *Green Mark* (GM) sviluppato a Singapore.

BREEAM

Il sistema BREEAM (*Building Research Establishment's Environmental Assessment Method*)³² è stato sviluppato nel 1990 dal BRE (*Building Research Establishment*). Il primo di tutti i sistemi di punteggio è stato usato come base per molti dei sistemi di certificazione. In Inghilterra, è il sistema più usato e il raggiungimento dei punteggi BREEAM è

³¹ Y. Zhang *et al.*, *A Survey of the Status and Challenges of Green Building Development in Various Countries*, in «Sustainability», 11, 19, 2019, pp. 1-29. <https://doi.org/10.3390/su11195385>.

³² BREEAM, Building Research Establishment Group, www.breeam.com (ultimo accesso 21 giugno 2023).

richiesto da diverse organizzazioni britanniche, tra cui *English Partnerships, Office of Government Commerce, Department for Children Schools and Families, Housing Corporation e Welsh Assembly*.

Originariamente BREEAM era disponibile per gli uffici e per le abitazioni mentre ora è anche possibile utilizzarlo per altre categorie di edifici: industriali, multi-residenziali, prigioni, negozi e scuole; inoltre, ora non è solo limitato al Regno Unito, ma è decollato in altri 80 paesi e ha più di 2 milioni di progetti registrati e 565.000 certificati emessi.

Il sistema BREEAM valuta le prestazioni degli edifici misurate in nove categorie e assegna un punteggio in base ai valori raggiunti. Ogni categoria è ponderata per incoraggiare i progetti a concentrarsi sulle categorie con il più alto impatto ambientale e i criteri minimi sono fissati per assicurare che gli aspetti chiave delle prestazioni siano soddisfatte per ottenere i più alti livelli di certificazione. Questo fornisce un livello di flessibilità d'uso pur mantenendo il rigore dello standard.

Infine, l'edificio viene valutato da un ente terzo sulla base del punteggio ottenuto, che può essere espresso da un minimo di 1 a un massimo di 5 stelle, nello specifico: 1 stella - *Pass*, 2 stelle - *Good*, 3 stelle - *Very Good*, 4 stelle - *Excellent* e 5 stelle - *Outstanding*. Sulla base di ciò, viene rilasciato il certificato assegnato al progetto.

LEED

Il secondo sistema in ordine cronologico è LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*)³³, introdotto dal *U.S. Green Building Council* (USGBC) e in uso dal 2000 con la sua prima versione per nuovi edifici (LEED-NC) negli Stati Uniti d'America. LEED è usato in tutto il Nord America e in oltre 30 paesi con più di 6.300 progetti attualmente certificati in tutto il mondo e oltre 21.000 progetti registrati. A settembre 2010, era usato in più di 35 governi statali, 380 città e 58 contee hanno

³³ LEED rating system, U.S. Green Building Council, <https://www.usgbc.org/leed> (ultimo accesso 21 giugno 2023).

emanato leggi, ordinanze o politiche sostenibili, molte delle quali richiedono specificamente la certificazione LEED. Oggi è usato in 167 paesi e ha oltre 80.000 progetti registrati e circa 32.500 certificati emessi.

Una delle peculiarità del sistema LEED è che è stato sviluppato con un processo aperto basato sul consenso, con il contributo di una vasta gamma di professionisti dell'edilizia e altri esperti, tra cui il Dipartimento dell'Energia degli Stati Uniti. Inoltre, un obiettivo dietro la creazione del sistema LEED era quello di stabilire uno standard di misurazione per ciò che è considerato un edificio verde. Al momento della creazione, alcuni professionisti statunitensi avevano difficoltà a decifrare le affermazioni dei loro concorrenti e dei produttori di prodotti per l'edilizia che avevano anche iniziato campagne su quanto fosse ecologico il loro prodotto o edificio.

Per ognuno dei requisiti, considerati caratterizzanti per la sostenibilità di un edificio attraverso una lista di controllo, vengono assegnati dei crediti. Il livello di certificazione ottenuto dipende dalla somma dei crediti accumulati. Nella prima versione con il sistema LEED-NC, gli edifici venivano giudicati attraverso un sistema di 69 punti di credito in cinque categorie di prestazioni ambientali e un'area aggiuntiva per le strategie innovative. Oggi si è giunti alla quarta versione, le categorie sono aumentate e non esiste più solo la versione per edifici nuovi. Oggi esistono sei varianti di LEED che a loro volta sono ulteriormente diversificate per diversi usi o tipologie di intervento, nello specifico sono: BD+C (*Building Design and Construction*), ID+C (*Interior Design and Construction*), O+M (*Operations and Maintenance*), *Residential*, *Cities and Communities* e *Recertification*.

Ogni categoria ha uno o più prerequisiti obbligatori, come la riduzione minima dell'energia e dell'uso dell'acqua, la raccolta dei rifiuti riciclati e il controllo del fumo di tabacco, e una serie di requisiti per specifiche strategie di sostenibilità che danno un punteggio all'edificio. Sommando i crediti ottenuti dalle nove categorie, il punteggio finale e il livello di certificazione si ottengono dalle quattro categorie: Certificato, Argento, Oro e Platino.

Il processo di certificazione LEED si svolge attraverso il sito web LEED-Online basato su quattro fasi: registrazione del progetto e selezione del sistema di valutazione; il team del progetto deve poi compilare la documentazione per dimostrare la conformità ai requisiti LEED e caricare questa documentazione online; la documentazione viene esaminata dal *Green Building Certification Institute* (GBCI); infine, la certificazione LEED si ottiene se si ottengono tutti i prerequisiti e un numero sufficiente di crediti.

2.4 Considerazioni conclusive

In questo capitolo è stato affrontato il tema della sostenibilità nel settore delle costruzioni attraverso l'analisi dell'impianto normativo, delle strategie comunitarie e della struttura legislativa italiana. Si è passati poi a presentare anche gli strumenti obbligatori e volontari che i professionisti sono chiamati ad utilizzare per la valutazione della sostenibilità del costruito.

Il passaggio cruciale in Europa nell'ambito delle normative e delle strategie a lungo termine è avvenuto all'inizio del nuovo millennio con l'introduzione della prima normativa sul rendimento degli edifici. Prima di allora sporadici, e demandati solo ai singoli stati membri, erano gli indirizzi per perseguire gli obiettivi della sostenibilità nel settore delle costruzioni, ma da quel momento inizia un approccio coordinato e sempre più incalzante che pone obiettivi chiari e concreti per il breve e lungo periodo. Ad esso dobbiamo numerose azioni quali ad esempio: il sistema di certificazione degli edifici; una normativa di calcolo armonizzata della prestazione energetica del costruito; requisiti minimi in termini di prestazione globale dell'edificio ma anche dei singoli componenti; requisiti di utilizzo e produzione di energia da fonti rinnovabili; ecc. Fondamentale è sottolineare che tutte queste richieste di miglioramento dell'efficienza degli edifici è stato supportato da un piano economico a sostegno, non solo degli Stati membri, ma anche dei singoli cittadini che hanno potuto beneficiare nel corso degli scorsi anni di Bonus fiscali di diversa natura e finalità.

Al fine di perseguire tali richieste sul rendimento energetico del costruito, si è innescato anche un processo di ricerca e sviluppo di nuovi materiali e tecnologie ma anche di miglioramento di quelli esistenti che oggi permettono ai progettisti di avere una vasta scelta sul mercato di differenti possibilità e opzioni per poter realizzare nuovi edifici o intervenire su quelli esistenti.

Un altro aspetto su cui si è voluto puntare l'attenzione è l'altro motore trainante di questa trasformazione del settore delle costruzioni nell'ambito della sostenibilità, ovvero gli utenti finali. Le richieste che emergono sono quelle di migliorare l'efficienza dell'edificio per avere così una riduzione dei consumi e dei relativi costi, ma anche per incrementare il benessere abitativo e quelle date da una maggiore consapevolezza delle conseguenze del nostro agire sul Pianeta. Gli utenti chiedono di avere evidenza della sostenibilità sia dei singoli prodotti impiegati sia dell'edificio nel suo insieme. Tale richiesta ha dato uno slancio alla diffusione di tutti gli strumenti volontari per la certificazione delle prestazioni di sostenibilità che sono stati presentati e allo sviluppo di nuovi che possano completare il quadro, quali ad esempio protocolli per la certificazione delle infrastrutture³⁴ o sistemi armonizzati per tutto il territorio europeo³⁵.

³⁴ Il protocollo Envision è il primo sistema di rating che valuta la sostenibilità di una infrastruttura. Il protocollo è stato sviluppato in collaborazione tra l'ISI (Institute for Sustainable Infrastructure), un'organizzazione no-profit con sede a Washington e lo Zofnass Program for Sustainable Infrastructure della Graduate School of Design dell'Università di Harvard.

³⁵ Nel 2018 è stato introdotto dalla Comunità Europea il sistema Level(s) con l'obiettivo di fornire un sistema comune per tutta l'UE per la valutazione della sostenibilità degli edifici.

3. Materiali innovativi per il progetto sostenibile

Salvatore Polverino

3.1 L'innovazione in sistemi costruttivi a base di materiali tecnologicamente avanzati

Negli ultimi decenni la ricerca di soluzioni tecnologiche che consentano il raggiungimento di inediti livelli di prestazioni nelle infrastrutture e nelle costruzioni è stata fortemente influenzata da molteplici fattori, primi fra tutti i requisiti ambientali. Il settore delle costruzioni, a causa della diffusa bassa efficienza energetica dell'esistente, è responsabile di oltre il 30% del consumo energetico mondiale e di un terzo delle emissioni globali totali dirette e indirette di CO₂ e di particolato¹. L'applicazione di strategie per il miglioramento delle prestazioni energetiche e la conseguente riduzione delle relative emissioni di carbonio può comportare l'ottenimento di ingenti benefici per gli attori e gli *stakeholders* del settore, come, ad esempio, maggiore comfort ambientale, costi di gestione inferiori e valori immobiliari più elevati².

¹ IEA, «Statistics Report: CO2 Emissions from Fuel Combustion», Paris, 2020. <https://www.iea.org/>

² M. Casini, *Smart Buildings Advanced Materials and Nanotechnology to Improve*, Sawston, Woodhead Publishing, 2016, <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/C2015-0-00182-4>.

A fronte delle suddette considerazioni, nel processo di progressiva decarbonizzazione dell'economia europea per il raggiungimento della neutralità climatica entro il 2050, il settore delle costruzioni gioca un ruolo significativo³, potendo contribuire a una riduzione di circa 6,5 miliardi di tonnellate di emissioni di CO₂ entro il 2040⁴.

Gli strumenti applicabili per il raggiungimento del suddetto obiettivo e per l'attivazione di una nuova fase evolutiva del settore delle costruzioni sono molteplici. Tra questi, si possono identificare diversi aspetti emergenti, come una maggiore industrializzazione dei processi edilizi, la digitalizzazione delle costruzioni e l'utilizzo di materiali innovativi⁵.

Nelle costruzioni, questi ultimi, possono operare su diversi livelli di scala per ridurre il loro impatto ambientale e migliorarne le prestazioni fisiche e meccaniche⁶; essi possono, infatti, essere impiegati dalla macroscale, come sistemi di componenti di elementi costruttivi ad alte prestazioni (in grado di garantire prestazioni dinamiche sempre efficienti al variare delle condizioni ambientali)⁷, fino alla nanoscale, come 'aggiunte' in materiali 'tradizionali' (compositi cementizi, metalli, ecc.).

³ European Commission, *A Clean Planet for All. A European Long-Term Strategic Vision for a Prosperous, Modern, Competitive and Climate Neutral Economy*, in «Com(2018)», 773, 2018. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52018DC0773>

⁴ IEA, «World Energy Outlook 2019», Paris, 2019. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>

⁵ M.J. Ribeirinho *et al.*, *The next Normal in Construction*, 2020. <https://www.mckinsey.de/en/capabilities/operations/our-insights/the-next-normal-in-construction-material-distribution>

⁶ J. Lehne, F. Preston, *Making Concrete Change; Innovation in Low-Carbon Cement and Concrete*, 2018. www.chathamhouse.org

⁷ A. Ritter, *Energy-Exchanging Smart Materials*, in *Smart Materials In Architecture, Interior Architecture and Design*, Basel, Birkhäuser Basel, 2007, pp. 164-72, https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8227-8_8.

Il suddetto risultato è conseguibile grazie al ‘*design* della materia’ attraverso l’impiego di nanotecnologie, per mezzo delle quali è possibile ottenere dei materiali da costruzione tecnologicamente avanzati (*advanced construction materials*)⁸; in tale categoria rientrano quei prodotti specificamente progettati per possedere inedite caratteristiche (strutturali, funzionali, ambientali) superiori rispetto ai materiali tradizionalmente utilizzati per svolgere le stesse funzioni⁹. Inoltre, a seconda del diverso meccanismo di reazione del materiale tecnologicamente avanzato rispetto al variare delle condizioni ambientali, è possibile distinguere un comportamento prestazionale di tipo statico o dinamico.

Nel primo caso si ha un tipo di *performance* ‘tradizionale’ dei materiali da costruzione: la prestazione offerta risente relativamente del mutare delle condizioni ambientali che, inevitabilmente, ne influenza in parte le caratteristiche.

Nel secondo caso è presente un meccanismo di reazione allo stimolo esterno, espletata dal materiale tecnologicamente avanzato, chiaramente distinguibile e consistente in un mutamento delle proprie peculiarità (ottiche, meccaniche, ecc.) o nella produzione di energia. In questo secondo caso si può parlare, nell’ambito del settore delle costruzioni, di materiale intelligente (*smart material*). Tale categoria rappresenta una delle più recenti frontiere nell’evoluzione del settore, costituendo una rottura con il concetto classico di materiale da costruzione.

⁸ M.F. Leone, *Cemento nanotech : nanotecnologie per l’innovazione del costruire*, Tecnologia e progetto, Napoli, CLEAN, 2012.

⁹ F. Pacheco-Torgal, *1 - Introduction to Nanotechnology in Eco-Efficient Construction*, in *Nanotechnology in Eco-Efficient Construction*, Seconda Edizione, a cura di F. Pacheco-Torgal *et al.*, Series in Civil and Structural Engineering, Sawston, Woodhead Publishing, 2019, 1-9, <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102641-0.00001-3>.

3.2 Materiali innovativi a comportamento dinamico

Come anticipato nel precedente paragrafo, oggi giorno uno dei campi del settore dei materiali per le costruzioni che ha destato maggiore interesse negli ultimi anni è rappresentato da quelle componenti definite *smart* o intelligenti. Queste, come visto in precedenza, reagiscono a uno stimolo esterno e sono in grado di garantire un comportamento dinamico e di adattare le loro caratteristiche alle nuove condizioni ambientali¹⁰. Tale inedito comportamento è dovuto a un meccanismo di reazione innescato da un cambiamento del campo energetico nel materiale, dovuto ad agenti esterni quali, ad esempio, il passaggio di corrente elettrica, la variazione del campo magnetico o il trasferimento di calore. In tal modo, lo stimolo esterno può attivare un'alterazione della struttura del materiale a livello molecolare (come la configurazione elettronica degli elettroni), innescando una differenza di potenziale, una reazione chimica, una variazione nelle proprietà meccaniche, una trasformazione di fase, ecc. In seguito, si ha poi la manifestazione degli effetti dei suddetti meccanismi indotti a livello macroscopico, come un cambiamento di colore, di proprietà ottiche, di deformazione, ecc.¹¹.

Tra le numerose peculiarità, i materiali intelligenti, per essere definiti tali, sono caratterizzati dalle seguenti principali caratteristiche¹²:

- immediatezza: la risposta agli stimoli avviene in tempo reale e la reazione è contestuale all'evento che la scatena;
- transitorietà: reagiscono a più condizioni ambientali;
- auto-attuazione: la capacità di reagire è insita nel materiale e non hanno bisogno di elementi esterni per innescarla;
- selettività: la reazione è distinguibile e prevedibile.

¹⁰ M. Addington, D. Schodek, *Smart Materials and New Technologies - for Architecture and Design Professions*, New York, Routledge, 2004.

¹¹ M. Casini, *op. cit.*

¹² M. Addington, D. Schodek, *op. cit.*

Un'ulteriore caratteristica dei materiali intelligenti è che i meccanismi di risposta sono generalmente reversibili e bidirezionali. A tal riguardo, un interessante esempio è rappresentato dai materiali piezoelettrici; quest'ultimi sono caratterizzati dal produrre una corrente elettrica quando soggetti a deformazione. Allo stesso modo, se viene applicata una differenza di potenziale, si verifica una deformazione nel materiale¹³.

Un'ulteriore peculiarità, derivante dall'impiego dei materiali intelligenti, consiste nella dimensione contenuta delle loro applicazioni rispetto ad analoghi sistemi costruttivi che prevedono l'impiego di elementi tradizionali; infatti, le suddette soluzioni innovative non necessitano di ingombranti elementi esterni per attivare i meccanismi di reazione, poiché il processo avviene nell'elemento a livello molecolare; un interessante esempio di quanto sopra esposto è rappresentato dai sistemi di schermatura solare basati su materiali a memoria di forma (*shape memory materials*, *SMM*), i quali non necessitano di motori esterni per il movimento degli elementi oscuranti¹⁴.

In base al meccanismo di reazione allo stimolo esterno, i materiali intelligenti sono generalmente classificati in due grandi gruppi: nel primo ricadono quei particolari elementi la cui reazione consiste nella mutazione di specifiche proprietà; nel secondo insieme, rientrano i materiali che sono in grado di assorbire uno 'stimolo energetico' e di restituirlo all'ambiente nella stessa forma o in un'altra. A tal riguardo nei prossimi paragrafi saranno affrontate maggiormente nel dettaglio le suddette categorie.

3.3. Materiali a proprietà mutevoli

Gli elementi che reagiscono agli stimoli esterni tramite meccanismi che ne mutano le caratteristiche intrinseche (forma, trasparenza, fase, ecc.)

¹³ A. Ritter, *op. cit.*

¹⁴ M. Addington, D. Schodek, *op. cit.*

prendono il nome di materiali a proprietà mutevoli¹⁵. Questi sono caratterizzati da processi di reazione reversibili e, di conseguenza, si ha un ritorno delle proprietà allo stato iniziale quando lo stimolo esterno o i suoi effetti terminano. Tali cambiamenti possono riguardare caratteristiche meccaniche, magnetiche, termiche, ottiche, e in base alle principali peculiarità del processo i materiali possono essere classificati nelle seguenti principali famiglie:

- a memoria di forma (*shape memory materials, SMM*): leghe a memoria di forma, polimeri a memoria di forma, legno a cambiamento di forma;
- cromogenici (*chromogenic materials*): termocromici, fotocromici, meccanocromici, elettrocromici;
- a cambiamento di fase (*phase-change materials, PCM*);
- a proprietà reologiche variabili: elettroreologici, magnetoreologici.

I materiali a proprietà mutevoli possono essere applicati principalmente nelle seguenti tipologie di elementi costruttivi¹⁶:

- schermature solari intelligenti: sistemi dinamici e autoregolanti che non prevedono l'impiego di elementi meccanici per il loro movimento;
- serramenti intelligenti: elementi dell'involucro trasparente basati sull'impiego di vetri a controllo dinamico della radiazione solare (materiali cromogenici);
- elementi ad alto calore latente: componenti dinamiche caratterizzate da elevata inerzia termica per un efficientamento energetico delle costruzioni e per il miglioramento del benessere ambientale esterno o interno degli utenti.

Oltre alle principali tipologie di materiali precedentemente menzionate, alcuni autori considerano anche i materiali fotocatalitici come com-

¹⁵ M. Addington, D. Schodek, *op. cit.*

¹⁶ M. Casini, *op. cit.*

ponenti a proprietà mutevoli. In tali elementi lo stimolo esterno è rappresentato dalla radiazione UV che innesci un meccanismo di risposta basato su reazioni chimiche (fotocatalisi)¹⁷. Questi materiali sono generalmente utilizzati in rivestimenti o compositi cementizi con proprietà autopulenti e capaci di degradare le sostanze nocive presenti nell'aria¹⁸.

Di seguito, sono elencate le principali tipologie di materiali a proprietà mutevoli utilizzate in architettura e in edilizia.

3.3.1. Leghe a memoria di forma

Le leghe a memoria di forma (*shape memory alloys*, SMA) sono materiali metallici caratterizzati dalla capacità di poter ritornare, in seguito alla presenza di uno stimolo esterno, a una forma memorizzata¹⁹. Il processo è innescato da sollecitazioni esterne, ad esempio un aumento della temperatura o uno stress meccanico, che innescano una modificazione all'interno della struttura del metallo; quest'ultimo è generalmente caratterizzato da due differenti conformazioni: austenite e martensite. Nel primo stadio avviene la memorizzazione della forma del materiale, che presenta una temperatura maggiore di quella ambientale di impiego e un comportamento meccanico a bassa deformazione simile ad altri metalli comunemente impiegati (per esempio l'acciaio)²⁰. Al contrario, quando la temperatura è prossima a quella di impiego si ha il secondo stato (martensite): il comportamento della lega metallica cambia, diventando

¹⁷ M. Le Pivert *et al.*, *Direct Growth of ZnO Nanowires on Civil Engineering Materials: Smart Materials for Supported Photodegradation*, in «Microsystems and Nanoengineering», 5, 1, 2019, pp. 1-7, <https://doi.org/10.1038/s41378-019-0102-1>.

¹⁸ L'applicazione di tali elementi nel campo dei compositi cementizi è esposta nel paragrafo 3.5.

¹⁹ M. Casini, *op. cit.*

²⁰ G. Song, N. Ma, H.N. Li, *Applications of Shape Memory Alloys in Civil Structures*, in «Engineering Structures», 28, 9, 2006, pp. 1266-74, <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2005.12.010>.

estremamente flessibile, grazie a una struttura molecolare di tipo romboidale²¹. Successivamente, quando la temperatura aumenta, a causa del calore dell'ambiente circostante o al passaggio di una corrente elettrica, c'è un ritorno allo stato inizialmente memorizzato²². Come suggerito già dal nome, a tale categoria appartengono materiali metallici, generalmente a base di nichel-titanio, rame o ferro. Grazie alle loro proprietà le leghe a memoria di forma sono spesso utilizzate come attuatori controllati elettronicamente in sistemi costruttivi complessi. Infine, vi sono alcuni materiali che impiegano un meccanismo di funzionamento alternativo a quello precedentemente descritto, basato sul fenomeno della superelasticità, dove la transizione dall'austenite alla martensite avviene per mezzo dell'applicazione di uno stress meccanico²³.

3.3.2. Polimeri a memoria di forma

I polimeri a memoria di forma (*shape memory polymers*, *SMP*) sono materiali capaci di modificare il proprio aspetto, ritornando a una forma inizialmente memorizzata²⁴. Lo stimolo esterno può essere di diversa natura: passaggio di corrente elettrica, assorbimento di calore o di umidità. I primi due casi sono equivalenti poiché la corrente elettrica è impiegata, sfruttando l'effetto Joule, per produrre il calore necessario affinché venga innescata la deformazione del materiale. Gli *SMP* attiva-

²¹ M. Addington, D. Schodek, *op. cit.*

²² S. Vollach, D. Shilo, *The Mechanical Response of Shape Memory Alloys under a Rapid Heating Pulse*, in «Experimental Mechanics», 50, 6, 2010, pp. 803-11, <https://doi.org/10.1007/s11340-009-9320-z>.

²³ B. Mas *et al.*, *Superelastic Shape Memory Alloy Cables for Reinforced Concrete Applications*, in «Construction and Building Materials», 148, 2017, pp. 307-20, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.041>.

²⁴ S. Beites, *Morphological Behavior of Shape Memory Polymers toward a Deployable, Adaptive Architecture*, in *ACADIA 2013: Adaptive Architecture - Proceedings of the 33rd Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture*, Cambridge, Riverside Architectural Press, 2013, pp. 121-28.

ti dall'aumento di temperatura sono quelli più comunemente impiegati nell'edilizia (per esempio, in componenti per la schermatura solare)²⁵; il loro comportamento è discretizzabile in due principali stadi: in una prima fase il materiale possiede una forma generica; successivamente, con l'aumento della temperatura, questi ritorna nella conformazione inizialmente memorizzata²⁶.

I principali svantaggi applicativi dei *SMP* rispetto alle leghe a memoria di forma (*SMA*) sono la minore resistenza legata al numero inferiore di cicli di fatica sopportabili (cioè 200 per i *SMP* contro 200.000 per le *SMA*) e la limitata durabilità nei confronti degli agenti atmosferici²⁷. Al contrario il principale vantaggio applicativo derivante dal loro utilizzo è il minor costo del sistema rispetto all'impiego di componenti a base di *SMA*.

3.3.3. Legno a cambiamento di forma

Il legno a cambiamento di forma è un materiale in cui la variazione del livello di umidità ambientale costituisce lo stimolo esterno che innesca una deformazione dell'elemento²⁸. In particolare, il materiale, ispirato a principi biomimetici (imita il meccanismo delle lamelle esterne delle pigne), sfrutta la capacità delle fibre di uno 'strato sensibile', di un sistema composito multistrato, di curvarsi in funzione del contenuto di umidità

²⁵ J. Yoon, *SMP Prototype Design and Fabrication for Thermo-Responsive Façade Elements*, in «Journal of Facade Design and Engineering», 7, 1, 2019, pp. 41-61, <https://doi.org/10.7480/jfde.2019.1.2662>.

²⁶ M. Behl, A. Lendlein, *Shape-Memory Polymers*, in «Materials Today», 10, 4, 2007, pp. 20-28, [https://doi.org/10.1016/S1369-7021\(07\)70047-0](https://doi.org/10.1016/S1369-7021(07)70047-0).

²⁷ F. Fiorito *et al.*, *Shape Morphing Solar Shadings: A Review*, in «Renewable and Sustainable Energy Reviews», 55, 2016, pp. 863-84, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.086>.

²⁸ D. Wood *et al.*, *Material Computation-4D Timber Construction: Towards Building-Scale Hygroscopic Actuated, Self-Constructing Timber Surfaces*, in «International Journal of Architectural Computing», 14, 1, 2016, pp. 49-62, <https://doi.org/10.1177/1478077115625522>.

ambientale assorbita²⁹. L'elemento composito è costituito da due o più fogli di legno di diverse essenze incollati con le fibre perpendicolari tra loro e parallele ai bordi del pannello. I materiali utilizzati sono caratterizzati da una diversa sensibilità alla variazione dell'umidità ambientale; lo strato più sensibile alla variazione di umidità (per esempio il legno di faggio e di acero) è definito come l'elemento conduttore. Al contrario, l'altro strato (per esempio il legno di abete rosso) costituisce la parte resistiva³⁰. I sistemi possono raggiungere diversi gradi di curvatura a seconda della loro stratificazione: con un singolo strato di curvatura ci sarà una curvatura gaussiana zero e un sistema monoclastico; quando si passa a un sistema *bilayer* si può ottenere un elemento con curvatura gaussiana negativa (cioè anticlastico); infine, costituendo un sistema di diversi elementi sensibili su un elemento di supporto rinforzato (per esempio, un substrato rinforzato con fibra di vetro) si può ottenere una curvatura gaussiana positiva (sinclastica)³¹.

3.3.4. Materiali a cambiamento di fase

I materiali a cambiamento di fase (*phase-change materials*, PCM) sono elementi in grado di assorbire o rilasciare grandi quantità di calore in funzione della variazione della temperatura ambientale³². In particolare, il materiale è caratterizzato dal passaggio da uno stato solido a uno liquido o gasso-

²⁹ D. Wood *et al.*, *Hygroscopically Actuated Wood Elements for Weather Responsive and Self-Forming Building Parts – Facilitating Upscaling and Complex Shape Changes*, in «Construction and Building Materials», 165, 2018, pp. 782-91, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.134>.

³⁰ D. Wood *et al.*, *From Machine Control to Material Programming - Self-Shaping Wood Manufacturing of a High Performance Curved Clt Structure – Urbach Tower*, in *Fabricate 2020 Making Resilient*, a cura di M. Skavara *et al.*, London, UCLpress, 2020, pp. 50-57.

³¹ D. Wood *et al.*, *op. cit.*, 2018.

³² Y. Cui *et al.*, *A Review on Phase Change Material Application in Building*, in «Advances in Mechanical Engineering», 9, 6, 2017, pp. 1-15, <https://doi.org/10.1177/1687814017700828>.

so quando si ha un incremento della temperatura del sistema, assorbendo calore dall'ambiente circostante. Al contrario, quando la temperatura diminuisce, il materiale ritorna al suo stato iniziale (per esempio solido) rilasciando calore all'ambiente³³. I *PCM* sono generalmente a base organica (ad esempio paraffina, acidi grassi, ecc.)³⁴, inorganica (sali idrati), o una miscela eutettica di questi³⁵. Inoltre, i *PCM* sono solitamente impiegati in un sistema composito con un altro materiale (polimeri, composti cementizi, gesso, ecc.) attraverso l'inserimento tramite macroincapsulamento, microincapsulamento o iniezione diretta nella matrice con cui sono combinati (come nel caso della struttura di un polimero o nei vuoti interstiziali dei compositi cementizi)³⁶. Infine, si possono ottenere diverse morfologie di microincapsulamento dei *PCM*: mononucleare, polinucleare, inserimento nella matrice e a più pareti o multifold³⁷.

³³ H. Yin et al., *Experimental Research on Heat Transfer Mechanism of Heat Sink with Composite Phase Change Materials*, in «Energy Conversion and Management», 49, 6, 2008, pp. 1740-46, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2007.10.022>.

³⁴ R. Wen et al., *Preparation and Thermal Properties of Fatty Acid/Diatomite Form-Stable Composite Phase Change Material for Thermal Energy Storage*, in «Solar Energy Materials and Solar Cells», Febbraio, 178, 2018, pp. 273-79, <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2018.01.032>.

³⁵ S. Kahwaji et al., *Stable, Low-Cost Phase Change Material for Building Applications: The Eutectic Mixture of Decanoic Acid and Tetradecanoic Acid*, in «Applied Energy», 168, 2016, pp. 457-64, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.01.115>.

³⁶ B.P. Jelle, S.E. Kalnæs, *Chapter 3 - Phase Change Materials for Application in Energy-Efficient Buildings*, in *Cost-Effective Energy Efficient Building Retrofitting Materials, Technologies, Optimization and Case Studies*, a cura di F. Pacheco-Torgal et al., Sawston, Woodhead Publishing, 2017, pp. 57-118, <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101128-7.00003-4>.

³⁷ M. Jurkowska, I. Szczygieł, *Review on Properties of Microencapsulated Phase Change Materials Slurries (MPCMS)*, in «Applied Thermal Engineering», 98, 2016, pp. 365-73, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.12.051>.

3.3.5. Materiali Cromogenici

I materiali cromogenici sono *smart materials* in cui lo stimolo esterno causa un cambiamento delle proprietà ottiche³⁸; queste variazioni sono reversibili: quando l'agente esterno non è più presente, le proprietà ottiche ritornano al loro stato originale³⁹. Ricadono in questa categoria i cosiddetti sistemi fotocromatici in cui la radiazione ultravioletta innesca il cambiamento delle proprietà ottiche; infatti, questa, una volta assorbita dagli elementi del sistema, crea uno stato di eccitazione nel materiale che passa dall'essere riflettente all'essere assorbente nei confronti della luce incidente⁴⁰. Inoltre, fanno parte di tale categoria i sistemi termocromici, dove l'aumento di temperatura costituisce lo stimolo esterno che causa reazioni chimiche o cambiamenti di fase all'interno del materiale⁴¹. Altro esempio è rappresentato dai sistemi elettrocromici dove il passaggio di una corrente elettrica rappresenta lo stimolo esterno⁴². In tale tipologia si hanno reazioni di ossido-riduzione che favoriscono il passaggio di energia da uno stato di accumulo a uno stato conduttivo, per poi confluire in quello propriamente elettrocromico.

³⁸ C.M. Lampert, *Chromogenic Smart Materials*, in «Materials Today», Marzo 2004, pp. 28-35.

³⁹ R.S. Zakirullin, *Chromogenic Materials in Smart Windows for Angular-Selective Filtering of Solar Radiation*, in «Materials Today Energy», 17, 2020, 100476, <https://doi.org/10.1016/j.mtener.2020.100476>.

⁴⁰ M. Casini, *Active Dynamic Windows for Buildings: A Review*, in «Renewable Energy», 119, 2018, pp. 923-34, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.12.049>.

⁴¹ C. Fabiani, V. L. Castaldo, A.L. Pisello, *Thermochromic Materials for Indoor Thermal Comfort Improvement: Finite Difference Modeling and Validation in a Real Case-Study Building*, in «Applied Energy», 262, Novembre 2019 (2020), 114147, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114147>.

⁴² M. Pittaluga, *17 - Electrochromic Glazing and Walls for Reducing Building Cooling Needs*, a cura di F Pacheco-Torgal *et al.*, Oxford, Woodhead Publishing, 2015, pp. 473-97, <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-380-5.00017-0>.

Tale processo si traduce macroscopicamente nella trasformazione del vetro dall'essere opaco a trasparente⁴³.

Infine, queste caratteristiche possono essere unite, come nel caso dei materiali termoelettrocromici, che cambiano la proprietà grazie all'effetto combinato dell'aumento della temperatura e dell'incidenza della radiazione solare⁴⁴.

3.4. Materiali a scambio energetico

I materiali a scambio energetico reagiscono agli stimoli esterni assorbendo energia da una fonte esterna e la restituiscono all'ambiente nella stessa forma o in un'altra. Questo meccanismo di reazione è possibile grazie alle dinamiche che avvengono a livello atomico: lo stimolo esterno (per esempio il passaggio di corrente elettrica, l'impatto di un fotone, l'aumento di temperatura, ecc.) provoca uno stato di eccitazione degli atomi costituenti la struttura del materiale, aumentando il livello energetico degli elettroni. Successivamente, a causa della loro instabilità, le suddette particelle tendono a tornare alla loro condizione stabile iniziale, rilasciando così l'energia assorbita nella forma originaria o trasformandola in un'altra di diversa natura⁴⁵.

I materiali a scambio energetico possono essere impiegati principalmente come componenti alla base di sistemi compositi, costituiti da più elementi distinguibili, come nel caso di un modulo fotovoltaico; alternativamente possono essere utilizzati in conformazioni in cui l'u-

⁴³ T.D. Nguyen *et al.*, *Electrochromic Smart Glass Coating on Functional Nano-Frameworks for Effective Building Energy Conservation*, in «Materials Today Energy», 18, 2020, 100496, <https://doi.org/10.1016/j.mtener.2020.100496>.

⁴⁴ P. Di Sia, *Nanotechnologies and Advanced Smart Materials*, in *The ELSI Handbook of Nanotechnology*, Wiley Online Books, Marzo 4, 2020, <https://doi.org/10.1002/9781119592990.ch4>.

⁴⁵ A. Ritter, *op. cit.*

nione irreversibile dei singoli costituenti genera l'elemento *smart*: è il caso di un rivestimento autoriscaldante.

I materiali che rientrano in questa categoria comprendono elementi⁴⁶:

- autoriscaldanti;
- luminescenti (fotoluminescenti, elettroluminescenti, chimicoluminescenti, termoluminescenti);
- piezoelettrici e piroelettrici;
- elettrostrittivi e magnetostrittivi;
- fotovoltaici.

Questi ultimi elementi sono materiali capaci di trasformare la radiazione solare incidente in elettricità, rappresentando così uno dei principali strumenti per la produzione di energia da fonti rinnovabili⁴⁷. In tale settore la tendenza attuale nella ricerca è quella di trovare soluzioni a basso costo e il meno possibile inquinanti; un esempio di tale filone di ricerca è rappresentato dallo sviluppo di soluzioni fotovoltaiche basate sull'impiego di moduli di ultima generazione a base di perovskite come possibile alternativa a sistemi tradizionali a base di silicio⁴⁸.

Nelle pagine seguenti vengono discussi in modo più dettagliato i materiali a scambio energetico maggiormente impiegati in edilizia e in architettura, come gli autoriscaldanti, i luminescenti e i piezoelettrici.

⁴⁶ M. Casini, *op. cit.*, 2016.

⁴⁷ D. Vatansever, E. Siores, T. Shah, *Alternative Resources for Renewable Energy: Piezoelectric and Photovoltaic Smart Structures*, in *Global Warming*, a cura di B. Raj Singh, Rijeka, IntechOpen, 2012, <https://doi.org/10.5772/50570>.

⁴⁸ M. Batmunkh, Y. Lin Zhong, H. Zhao, *Recent Advances in Perovskite-Based Building-Integrated Photovoltaics*, in «Advanced Materials», 32, 31, 2020, 2000631, <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/adma.202000631>.

3.4.1. Materiali Elettrotermici

I materiali autoriscaldanti o elettrotermici (*self-heating materials*) sono elementi intelligenti il cui impiego consente di utilizzare il passaggio di una corrente elettrica per la produzione di calore⁴⁹. Questi materiali sfruttano l'effetto Joule, fenomeno regolato dall'omonima legge, in cui è esplicitata la relazione che lega l'intensità della corrente, la resistenza elettrica e il calore prodotto. I sistemi elettrotermici tradizionali sono a base di metalli altamente conduttivi elettricamente che formano resistenze lineari attraversate dalla corrente⁵⁰. Negli ultimi anni vi sono state le prime interessanti applicazioni di sistemi non metallici basati su rivestimenti elettricamente conduttivi⁵¹; questi elementi sono generalmente composti da tre componenti principali: un legante (cementizio o polimerico), un solvente (organico, inorganico o a base d'acqua) e un'aggiunta conduttiva. Quest'ultimi elementi consentono il flusso di corrente attraverso il materiale e sono principalmente a base di carbonio o metalli⁵². I sistemi a base di materiali elettrotermici, a seconda delle condizioni finali di impiego, possono essere realizzati in

⁴⁹ D.D.L. Chung, *Self-Heating Structural Materials*, in «Smart Materials and Structures», 13, 3, 2004, pp. 562-65, <https://doi.org/10.1088/0964-1726/13/3/015>.

⁵⁰ S. Kubba, *Chapter Nine - Impact of Energy and Atmosphere*, in *Handbook of Green Building Design and Construction*, Seconda Edizione, a cura di S. Kubba, Oxford, Butterworth-Heinemann, 2017, pp. 443-571, <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-810433-0.00009-5>.

⁵¹ Z. Zhao *et al.*, *Development of High-Efficient Synthetic Electric Heating Coating for Anti-Icing/de-Icing*, in «Surface and Coatings Technology», 349, Marzo 2018, pp. 340-46, <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2018.06.011>.

⁵² C.Y. Tuan, *Electrical Resistance Heating of Conductive Concrete Containing Steel Fibers and Shavings*, in «ACI Materials Journal», 101, 1 (n.d.), <https://doi.org/10.14359/12989>;

O. Redondo *et al.*, *Anti-Icing and de-Icing Coatings Based Joule's Heating of Graphene Nanoplatelets*, in «Composites Science and Technology», 164, 18 Agosto 2018, pp. 65-73, <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2018.05.031>.

opera, mediante l'applicazione di vernici conduttive direttamente sul substrato da riscaldare, o arrivare in situ su elementi prefabbricati, che vengono montati su appositi elementi di supporto (pannelli in cartongesso, rotoli in materiale plastico, ecc.).

3.4.2. Materiali Piezoelettrici

I materiali piezoelettrici sono elementi a scambio energetico in cui una sollecitazione meccanica esterna genera una deformazione del componente, in grado di attivare una differenza di potenziale elettrico⁵³. In molti elementi piezoelettrici è valido anche il contrario: in seguito all'applicazione di una differenza di tensione, si verifica una deformazione della materia⁵⁴. Il comportamento sopra descritto si applica ai materiali polarizzati come il quarzo o le ceramiche innovative (ad esempio il titanato-zirconato di piombo o il titanato di bario)⁵⁵. Questi sono costituiti da dipoli, che, quando non soggetti a deformazione, sono allineati, formando una carica uniforme sull'intera superficie del materiale. Nel momento in cui è applicata una sollecitazione meccanica, l'uniformità degli elementi viene meno, alterando l'equilibrio delle cariche elettriche e generando, di conseguenza, una differenza di potenziale superficiale⁵⁶.

⁵³ N. Sezer, M. Koç, *A Comprehensive Review on the State-of-the-Art of Piezoelectric Energy Harvesting*, in «Nano Energy», 80, Novembre 2020 (2021), 105567, <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2020.105567>.

⁵⁴ A. Aabid *et al.*, *A Review of Piezoelectric Material-Based Structural Control and Health Monitoring Techniques for Engineering Structures: Challenges and Opportunities*, in «Actuators», 10, 5, 2021, p. 101, <https://doi.org/10.3390/act10050101>.

⁵⁵ J. Chen *et al.*, *Piezoelectric Materials for Sustainable Building Structures: Fundamentals and Applications*, in «Renewable and Sustainable Energy Reviews», 101, Novembre 2018 (2019), pp. 14-25, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.09.038>.

⁵⁶ S. Guerin, S.A.M. Tofail, D. Thompson, *Organic Piezoelectric Materials: Milestones and Potential*, in «NPG Asia Materials», 11, 1, 2019, pp. 1-5, <https://doi.org/10.1038/s41427-019-0110-5>.

A causa del loro meccanismo di reazione, questi elementi sono utilizzati come sensori e attuatori. I materiali comunemente usati per queste applicazioni sono i fluoropolimeri polarizzati (per esempio PVDF), che possiedono anche proprietà piroelettriche, cioè producono una carica elettrica indotta da una variazione di temperatura⁵⁷.

3.4.3. Materiali luminescenti

Gli elementi luminescenti sono materiali intelligenti che assorbono energia da uno stimolo esterno e la emettono sotto forma di luce^{58 59}. L'agente che innesca il meccanismo di reazione può essere di diversa natura: l'impatto della radiazione solare (comportamento fotoluminescente), il passaggio di una corrente elettrica (materiali elettroluminescenti) o una reazione chimica (chimicoluminescenza)⁶⁰. I materiali luminescenti più utilizzati sono solfuri metallici (per esempio ZnS)⁶¹, terre rare ed elementi a base di alluminio (alluminato di stronzio)⁶². Le impurità presenti nel materiale giocano un

⁵⁷ Y. Xin *et al.*, *The Use of Polyvinylidene Fluoride (PVDF) Films as Sensors for Vibration Measurement: A Brief Review*, in «Ferroelectrics», 502, 1, 25 Settembre 2016, pp. 28-42, <https://doi.org/10.1080/00150193.2016.1232582>.

⁵⁸ Energia nello spettro visibile, dovuta alla transizione di elettroni da uno stato superiore a uno inferiore.

⁵⁹ Y. Xin *et al.*, *op. cit.*

⁶⁰ G. Blasse, B.C. Grabmaier, *A General Introduction to Luminescent Materials*, in *Luminescent Materials*, Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg, 1994, pp. 1-9, https://doi.org/10.1007/978-3-642-79017-1_1.

⁶¹ P. Moraitis, R.E.I. Schropp, W.G.J.H.M. van Sark, *Nanoparticles for Luminescent Solar Concentrators - A Review*, in «Optical Materials», 84, Luglio 2018, pp. 636-45, <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2018.07.034>.

⁶² A. Escudero *et al.*, *Luminescent Rare-Earth-Based Nanoparticles: A Summarized Overview of Their Synthesis, Functionalization, and Applications*, in «Topics in Current Chemistry», 374, 4, 2016, <https://doi.org/10.1007/s41061-016-0049-8>.

ruolo chiave nel meccanismo di reazione. Questi elementi, infatti, producono ‘trappole’ che bloccano l’elettrone dal rilasciare energia sotto forma di luce, regolando il processo⁶³. Per governare il meccanismo di reazione, la miscela di base può essere progettata scegliendo appositi materiali fosforici definendo così le impurità presenti e modulando il corrispondente rilascio di energia⁶⁴. Tra gli elementi appartenenti alla presente categoria di materiali a scambio energetico, le componenti elettroluminescenti, in particolare, hanno una notevole versatilità di applicazione grazie all’elevata compatibilità con substrati di diversa natura. Infine, i suddetti sistemi hanno una buona durabilità grazie al completamento della loro applicazione con la ricopratura mediante uno strato protettivo trasparente, atto a garantirne, nel contempo, l’emissione di luce⁶⁵.

3.5. Conglomerati intelligenti

Il processo di innovazione che ha portato allo sviluppo e sperimentazione di materiali intelligenti ha coinvolto anche il settore dei compositi cementizi. Dalla fine del XX secolo, questo settore è stato caratterizzato da un rapido processo di evoluzione tecnologica che ha portato alla creazione di prodotti in grado di raggiungere livelli prestazionali sempre più elevati in funzione delle diverse esigenze costruttive⁶⁶. Al

⁶³ M. Addington, D. Schodek, *op. cit.*

⁶⁴ Y.K. Frodason *et al.*, *Self-Trapped Hole and Impurity-Related Broad Luminescence in β -Ga₂O₃*, in «Journal of Applied Physics», 127, 7, 2020, pp. 1-9, <https://doi.org/10.1063/1.5140742>.

⁶⁵ L. Akcelrud, *Electroluminescent Polymers*, in «Progress in Polymer Science (Oxford)», 28, 6, 2003, pp. 875-962, [https://doi.org/10.1016/S0079-6700\(02\)00140-5](https://doi.org/10.1016/S0079-6700(02)00140-5).

⁶⁶ M. Tang, *High Performance Concrete-Past, Present and Future*, in *Proceedings of the International Symposium on UHPC*, Kassel, 2004, pp. 3-9.

giorno d'oggi, l'alto livello di prestazioni è raggiunto anche grazie al possesso di 'proprietà dinamiche', ovvero alla capacità di reagire ai cambiamenti delle condizioni ambientali adattando le proprie caratteristiche intrinseche⁶⁷.

I compositi cementizi che presentano le suddette caratteristiche prendono il nome di 'conglomerati intelligenti' (*smart concrete*)⁶⁸. Questi materiali devono il loro peculiare comportamento all'aggiunta di particolari elementi denominati *filler* funzionalizzanti. Questi ultimi possono essere di diversa natura (generalmente, a base di carbonio o di metallo) e migliorano sia le proprietà fisiche del materiale (ad esempio la conducibilità elettrica e termica), sia il meccanismo di reazione agli stimoli esterni, amplificando le capacità reattive già presenti nel composito cementizio; a tal riguardo, un esempio emblematico è rappresentato dalla proprietà di piezoresistività, caratteristica insita nel composito, che l'aggiunta di *filler* funzionalizzanti rende utilizzabile per applicazioni finalizzate al monitoraggio strutturale⁶⁹. Infine, anche i materiali intelligenti illustrati nei precedenti paragrafi, possono essere impiegati quali *filler* funzionalizzanti in grado di trasformare un composito cementizio tradizionale in uno *smart concrete*; ricadono in quest'ultima casistica, i cosiddetti 'conglomerati autoregolanti' (*self-adjusting concrete*) in cui i materiali a cambiamento di fase vengono inseriti nella ma-

⁶⁷ A. Meoni *et al.*, *An Experimental Study on Static and Dynamic Strain Sensitivity of Embeddable Smart Concrete Sensors Doped with Carbon Nanotubes for SHM of Large Structures*, in «Sensors (Switzerland)», 18, 3, 2018, pp. 1-19, <https://doi.org/10.3390/s18030831>.

⁶⁸ D. Wang, W. Zhang, B. Han, *New Generation of Cement-Based Composites for Civil Engineering*, *New Materials in Civil Engineering* (INC, 2020), <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818961-0.00025-9>.

⁶⁹ D.D.L. Chung, *Piezoresistive Cement-Based Materials for Strain Sensing*, in «Journal of Intelligent Material Systems and Structures», 13, 9, 2002, pp. 599-609, <https://doi.org/10.1106/104538902031861>.

trice cementizia al fine di rendere auto-termoregolabile un composito cementizio tradizionale⁷⁰.

Nei casi precedentemente esposti, si parla di ‘conglomerato intelligente intrinseco’ (*intrinsic smart concrete*), dato che gli agenti funzionalizzanti sono collocati all’interno della matrice cementizia. Al contrario, la funzione *smart* può essere esercitata da elementi posti all’esterno del composito cementizio, ma che cooperano sinergicamente con esso; quest’ultimo è il caso del conglomerato a recupero di energia (*energy-harvesting concrete*), in cui gli elementi piezoelettrici applicati alla superficie esterna sfruttano la deformazione del sistema, per produrre una differenza di potenziale. Nel caso precedentemente esposto si può usare la denominazione di ‘conglomerato intelligente non-intrinseco’ (*non-intrinsic smart concrete*), definizione utilizzata da Tian et al.⁷¹ per indicare una particolare categoria di conglomerati intelligenti autosensibili per il monitoraggio strutturale, caratterizzati da sensori esterni al materiale. La scelta di utilizzare uno smart concrete non intrinseco può derivare da diversi fattori come, ad esempio, la necessità di avere un sistema di conglomerato autosensibile, senza rendere l’intero calcestruzzo elettricamente conduttivo con la conseguente diminuzione delle proprietà meccaniche dovuto ad alti carichi di *nanofiller*⁷².

Le origini degli *smart concrete* possono essere individuate nelle prime sperimentazioni degli anni ’90 del XX secolo con le cosiddette miscele autodiagnostiche (*self-diagnostic concrete*), impiegate per il moni-

⁷⁰ D. Zhang et al., *Development of Thermal Energy Storage Concrete*, in «Cement and Concrete Research», 34, 6, 2004, pp. 927-34, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2003.10.022>.

⁷¹ Z. Tian et al., *A State-of-the-Art on Self-Sensing Concrete: Materials, Fabrication and Properties*, in «Composites Part B: Engineering», 177, Maggio 2019, 107437, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107437>.

⁷² Y. Lin, H. Du, *Graphene Reinforced Cement Composites: A Review*, in «Construction and Building Materials», 265, 2020, 120312, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120312>.

toraggio strutturale, in cui il composito è in grado di ‘percepire’ quando il materiale raggiunge il punto critico di rottura, grazie all’uso di fibre di carbonio e vetro incorporate nella matrice cementizia⁷³. Negli anni successivi, il crescente interesse per il miglioramento delle prestazioni dei materiali da costruzione, finalizzato a una maggiore sicurezza e durabilità delle opere con, nel contempo, un contenimento del consumo di risorse e dell’impatto ambientale, ha favorito la ricerca nel settore, ottenendo così più di venti categorie di conglomerati intelligenti⁷⁴.

Infine, al giorno d’oggi, il termine *smart concrete* è talvolta impiegato anche per definire compositi cementizi caratterizzati dall’applicazione di nanotecnologie in cui non vi è una specifica reazione a stimoli esterni; in quest’ultima casistica rientra il calcestruzzo superidrofobico, le cui proprietà sono dovute a una particolare conformazione superficiale, definita alla nanoscala, e non a una reazione esterna, come la caduta di un liquido sulla superficie⁷⁵.

Nelle pagine seguenti sono presentate le principali tipologie di conglomerati intelligenti, in cui è evidente la reazione a uno stimolo esterno, come avviene nei materiali intelligenti descritti nei paragrafi precedenti.

3.5.1. Calcestruzzo autoriscaldante

Il conglomerato autoriscaldante (*self-heating concrete*) è un composito cementizio che utilizza il passaggio di corrente elettrica per produrre calore⁷⁶.

⁷³ N. Muto *et al.*, *Design of Intelligent Materials with Self-Diagnosing Function for Preventing Fatal Fracture*, in «Smart Material Structures», 1992, pp. 324-29, <https://doi.org/10.1088/0964-1726/1/4/007>.

⁷⁴ B. Han, L. Zhang, and O. Jinping, *Smart and Multifunctional Concrete Towards Sustainable Infrastructures*, Singapore, Springer, 2017, <https://doi.org/10.1007/978-981-10-4349-9>.

⁷⁵ *Ibidem*.

⁷⁶ H. Lee *et al.*, *Self-Heating and Electrical Performance of Carbon Nanotube-Enhanced Cement Composites*, in «Construction and Building Materials», 250, 2020, 118838, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118838>.

Il conglomerato, come altri materiali autoriscaldanti, sfrutta l'effetto Joule trasformando la corrente elettrica in calore⁷⁷. I calcestruzzi autoriscaldanti sono prodotti aggiungendo riempitivi conduttivi all'interno della matrice cementizia in modo da aumentare la conduttività elettrica, formando un percorso conduttivo all'interno del materiale⁷⁸. I suddetti *filler* impiegati possono avere dimensioni alla scala microscopica, per esempio fibre di acciaio, fibre di carbonio, fogli a base di fibre di carbonio, grafite, ecc.⁷⁹, o in alternativa a quella nanometrica, come nanotubi di carbonio o grafene, ecc.⁸⁰.

3.5.2. Calcestruzzo fotocatalitico

Il calcestruzzo fotocatalitico è un conglomerato intelligente che può essere impiegato per la riduzione dell'inquinamento ambientale⁸¹. In particolare, il composito cementizio, attraverso processi di fotocatalisi, contribuisce alla degradazione di sostanze tossiche (ad esempio NO_x,

⁷⁷ Z. Tang *et al.*, *Self-Heating Graphene Nanocomposite Bricks*, in «Materials», 13, 714, 2020, pp. 1-13.

⁷⁸ D.D.L. Chung, *op. cit.*

⁷⁹ Z. Hou, Z. Li, J. Wang, *Electrical Conductivity of the Carbon Fiber Conductive Concrete*, in «Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.», 22, 2, 2007, pp. 346-49, <https://doi.org/10.1007/s11595-005-2346-x>.

⁸⁰ G. M. Kim *et al.*, *Heating and Heat-Dependent Mechanical Characteristics of CNT-Embedded Cementitious Composites*, in «Composite Structures», 136, 2016, pp. 162-70, <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2015.10.010>;

I. Rhee *et al.*, *Thermal Performance, Freeze-and-Thaw Resistance, and Bond Strength of Cement Mortar Using Rice Husk-Derived Graphene*, in «Construction and Building Materials», 146, 2017, pp. 350-59, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.109>.

⁸¹ H. Witkowski *et al.*, *Air Purification Performance of Photocatalytic Concrete Paving Blocks after Seven Years of Service*, in «Applied Sciences (Switzerland)», 9, 9, 2019, <https://doi.org/10.3390/app9091735>.

SO₂, ecc.), rendendole innocue⁸². Inoltre, le superfici fotocatalitiche hanno anche un comportamento autopulente: il meccanismo di fotocatalisi degrada le sostanze inquinanti e macchianti che si depositano sulla superficie del manufatto, che sono successivamente rimosse con lo scorrimento dell'acqua piovana⁸³.

Il conglomerato viene prodotto utilizzando aggiunte fotocatalitiche come composti semiconduttori, ad esempio TiO₂, ZnO, CdS, ecc.⁸⁴. Il sistema fotocatalitico è caratterizzato principalmente da tre configurazioni diverse. La prima consiste nell'impiegare sostanze fotocatalitiche direttamente nel processo di miscelazione del composito cementizio⁸⁵. Il secondo metodo consiste nell'utilizzare una sostanza, definita vettore (*carrier*), per il trasporto delle componenti fotocatalitiche nella miscela (ad esempio, aggregati fini o grossolani impregnati di un rivestimento fotocatalitico)⁸⁶. Infine, un terzo metodo consiste nell'applicare uno strato (*layer*) fotocatalitico sulla

⁸² R.K. Nath, M.F.M. Zain, M. Jamil, *An Environment-Friendly Solution for Indoor Air Purification by Using Renewable Photocatalysts in Concrete: A Review*, in «Renewable and Sustainable Energy Reviews», 62, 2016, pp. 1184-94, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.018>.

⁸³ S.N. Zailan *et al.*, *Review on Characterization and Mechanical Performance of Self-Cleaning Concrete*, in «MATEC Web of Conferences», 97, 2017, <https://doi.org/10.1051/mateconf/20179701022>.

⁸⁴ K. He, Y. Chen, M. Mei, *Study on Influencing Factors of Photocatalytic Performance of CdS/TiO₂ nanocomposite Concrete*, in «Nanotechnology Reviews», 9, 1, 2020, pp. 1160-69, <https://doi.org/10.1515/ntrev-2020-0074>.

⁸⁵ L. Yang *et al.*, *Photocatalyst Efficiencies in Concrete Technology: The Effect of Photocatalyst Placement*, in «Applied Catalysis B: Environmental», 222, Ottobre 2017 (2018), pp. 200-208, <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2017.10.013>.

⁸⁶ L. Yang *et al.*, *Enhanced Photocatalytic Efficiency and Long-Term Performance of TiO₂ in Cementitious Materials by Activated Zeolite Fly Ash Bead Carrier*, in «Construction and Building Materials», 126, 2016, pp. 886-93, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.09.062>.

superficie esterna del manufatto in calcestruzzo o malta⁸⁷. Il conglomerato fotocatalitico, tra gli *smart concrete*, è il composito cementizio più utilizzato, con numerosi esempi applicativi in architettura e in edilizia⁸⁸.

3.5.2. Calcestruzzo autoperceptivi

Il conglomerato autoperceptivo (*self-sensing concrete*) è un composito capace di rilevare, grazie all'introduzione di sensori o *filler* funzionalizzanti, la comparsa di fenomeni nel materiale come sollecitazioni meccaniche, lesioni, aumento di temperatura, variazioni di umidità o deformazione eccessiva⁸⁹. In misura maggiore rispetto ad altre tipologie di *smart concrete*, i conglomerati autoperceptivi spesso presentano sensori o elementi sensibili esterni al composito cementizio, non inglobati nella matrice (conglomerato autoperceptivo non intrinseco)⁹⁰: questi possono essere inseriti all'interno del materiale o incollati sulla sua superficie e sono di diversa natura. A tal riguardo, sono documentate in letteratura applicazioni di estensimetri a resistenza elettrica, fibre ottiche, materiali piezoelettrici, polimeri a memoria di forma, ecc.⁹¹. Se

⁸⁷ V.B. Koli, S. Mavengere, J.S. Kim, *An Efficient One-Pot N Doped TiO₂-SiO₂ Synthesis and Its Application for Photocatalytic Concrete*, in «Applied Surface Science», 491, Giugno 2019, pp. 60-66, <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.06.123>.

⁸⁸ H.S. Russell *et al.*, *NO_x Remediation*, in «Catalyst», 11, 675, 2021, pp. 1-45.

⁸⁹ M.T. Mohammadi *et al.*, *Chapter 17 - Nano Self-Sensing Concretes (NSCs)*, in *Micro and Nano Technologies*, a cura di S. Thomas *et al.*, Elsevier, 2021, pp. 373-95, <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823358-0.00019-8>.

⁹⁰ Z. Tian *et al.*, *op. cit.*

⁹¹ Y.Y. Lim, S.T. Smith, C.K. Soh, *Wave Propagation Based Monitoring of Concrete Curing Using Piezoelectric Materials: Review and Path Forward*, in «NDT and E International», 99, Giugno 2018, pp. 50-63, <https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2018.06.002>.

nel composito cementizio sono inseriti *filler* elettricamente conduttivi, il materiale diventa esso stesso un sensore e in questo caso si ha un conglomerato autoperceettivo intrinseco⁹². Gli additivi hanno il compito di aumentare la conducibilità elettrica del composito cementizio e possono essere di natura metallica (fibre di acciaio)⁹³ o a base di carbonio (fibra di carbonio, nanotubi di carbonio, ecc.)⁹⁴. Nel caso di un sistema basato su un conglomerato autoperceettivo intrinseco, il materiale può costituire l'elemento strutturale stesso o può essere posizionato nei suoi punti critici⁹⁵.

3.6 Sintesi e considerazioni conclusive

Nel presente capitolo sono state illustrate le principali peculiarità dei materiali intelligenti impiegati nel settore delle costruzioni.

Dapprima sono state elencate le caratteristiche essenziali di uno *smart material* e del meccanismo di reazione agli stimoli provenienti dall'ambiente esterno; in seguito, sono state riportate le principali famiglie di materiali ricadenti in questa categoria analizzandone le ca-

⁹² B. Han, S. Ding, X. Yu, *Intrinsic Self-Sensing Concrete and Structures: A Review*, in «Measurement: Journal of the International Measurement Confederation», 59, 2015, pp. 110-28, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.09.048>.

⁹³ I.S. Abbood, S.S. Weli, F.L. Hamid, *Cement-Based Materials for Self-Sensing and Structural Damage Advance Warning Alert by Electrical Resistivity*, in «Materials Today: Proceedings», 46, 2021, pp. 615-20, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.381>.

⁹⁴ G. Yildırım *et al.*, *Self-Sensing Capability of Engineered Cementitious Composites: Effects of Aging and Loading Conditions*, in «Construction and Building Materials», 231, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117132>.

⁹⁵ J. Han *et al.*, *A Review on Carbon-Based Self-Sensing Cementitious Composites*, in «Construction and Building Materials», 265, 2020, 120764, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120764>.

ratteristiche e le attuali tendenze di ricerca. A tal riguardo, sono stati individuati quali classi di elementi intelligenti i materiali a proprietà mutevoli, a scambio energetico e gli *smart concrete*.

Nei precedenti paragrafi si è visto come le principali differenze tra le tipologie individuate risiedano nel diverso meccanismo di reazione agli stimoli esterni: mentre i materiali a proprietà mutevoli cambiano le proprie caratteristiche, quelli a scambio energetico sono in grado di assorbire e trasformare la sollecitazione esterna in una forma di energia di natura uguale o diversa rispetto allo stimolo esterno che ha innescato la reazione. La seconda categoria presenta numerose affinità con un'ulteriore tipologia di materiali tecnologicamente avanzati, la quale prevede l'impiego di conglomerati cementizi additivati con aggiunte nanotecnologiche, cioè gli *smart concrete*. Questi infatti presentano molteplici meccanismi di risposta, caratterizzati per lo più da processi che portano alla trasformazione di forme energetiche, lasciando inalterate le loro proprietà.

Analizzando le principali potenzialità applicative esposte nei precedenti paragrafi, si può notare come i materiali intelligenti possano ricoprire un ruolo chiave nel processo di adattamento e mitigazione agli effetti dei cambiamenti climatici. Nel contempo, però, vi è ancora tutt'oggi un netto divario tra l'ampio bagaglio di conoscenze, derivanti dalle esperienze sperimentali, e le ancora limitate applicazioni nel settore edile e architettonico; questo scarto implica che tali soluzioni vengano impiegate per lo più in settori dell'ingegneria tecnologicamente più avanzati e tradizionalmente più aperti all'innovazione di processo e di prodotto (aerospaziale, energetico, biomedicale, ecc.).

4. Sul disegno tecnico: progetto e costruzione

Vittoria Bonini

4.1 Introduzione

Il frutto delle esperienze maturate durante i laboratori dei corsi di Architettura Tecnica rappresenta l'occasione per provare a formulare alcune note sul ruolo che il disegno tecnico assume nel mondo della progettazione architettonica. Questa catena di riflessioni, priva di qualsiasi pretesa di completezza o esaustività e senza alcuna intenzione di esondare nel più ampio campo della rappresentazione architettonica, si configura piuttosto come un tentativo di riflettere sul valore radicale che il disegno tecnico assume all'interno dell'inscindibile e sostanziale rapporto tra progetto e costruzione di un manufatto architettonico.

In tal senso il tema d'indagine, soffermandosi su alcuni aspetti metodologici e processuali, ben si adatta alla definizione di disegno tecnico «quale condensatore, nel suo farsi e darsi, di un sapere teorico e medium di un sapere pratico»¹. Caposaldo indispensabile nell'insegnamento della progettazione architettonica, il disegno tecnico così inteso

¹ La citazione è tratta dall'editoriale contenuto nella rivista STOÀ 02 - *Disegni*, numero che indaga, in particolare, il disegno come strumento pedagogico per il progetto architettonico. Si veda: STOÀ 02 - [Disegni]. Rivista Quadrimestrale, Anno I, 2/2, Autunno 2021.

diviene, a tutti gli effetti, uno strumento di progetto che, al pari dei componenti dell'architettura, si distingue per il mantenere nel corso di epoche e di contesti storici differenti una costanza di uso e di significato; ovvero, rientrando in quelli che definiamo elementi fondamentali dell'architettura, contribuisce a tracciarne la natura resistente².

4.2 Disegno e immagine in architettura

L'architettura è sempre materia concreta. L'architettura non è astratta, bensì concreta. Un progetto disegnato su carta non è architettura, ma soltanto una rappresentazione più o meno incompleta dell'architettura, paragonabile allo spartito musicale. La musica ha bisogno dell'esecuzione. L'architettura ha bisogno della realizzazione. È allora che il suo corpo prende forma³.

P. Zumthor

Nel 1992, in occasione dell'*opening* della mostra *De Ruimte Verruimd* al Kroll-Muller Museum di Otterlo, lo storico dell'architettura Francesco Dal Co intavola un discorso inaugurale che mette in luce, in maniera tanto decisiva quanto efficace, la netta scissione tra la concezione di disegno d'architettura in età moderna e in epoca contemporanea⁴. Tale

² V. Bonini, E. Canepa, V. Scelsi, *Prossimità e progetto*, in *Un anno di didattica. Innovazione e ricerca nella scuola di architettura di Genova*, Genova, Sagep Editori, 2021, p. 9.

³ P. Zumthor, *Thinking Architecture*, Terza Edizione, Basel, Birkhausen, 2010, p. 66. [Originale: *Architecture is always concrete matter. Architecture is not abstract, but concrete. A plan, a project drawn on paper is not architecture but merely a more or less inadequate representation of architecture, comparable to sheet music. Music needs to be performed. Architecture needs to be executed. Then its body can come into being*].

⁴ Il catalogo della mostra (*Dimensions expanded explored = De Ruimte verruimd*, Rijksmuseum Kroller-Muller, Otterlo, 1992) è curato dai progettisti

distinzione, riportata integralmente sul numero 36 della rivista OASE, dal titolo *Over de architectuur-tekening* (Sul disegno dell'architettura)⁵, si configura in maniera ottimale come punto di partenza per provare a formulare un ragionamento sull'intricato nodo che lega il trittico disegno, progetto, costruzione.

Dal Co comincia con il definire moderna quell'idea di disegno d'architettura che trova terreno fertile nelle pratiche rinascimentali e, in particolare, porta come esempio Filippo Brunelleschi (1377-1446); appassionato studioso dell'arte del costruire della Roma antica, Brunelleschi struttura le sue ricerche basandosi su accurate misurazioni e su restituzioni grafiche; ovvero, sul rilievo e sul disegno⁶. Dal Co riconosce nell'operare del Brunelleschi, nel desiderio di prendere consapevolezza dei criteri costruttivi e compositivi attraverso la 'misura delle cose' e tracciandone le proporzioni, il ruolo del disegno 'moderno' come strumento fondante per la comprensione e la formulazione delle regole che governano l'ordine e le logiche classiche.

Una seconda e differente concezione del disegno, che Dal Co identifica come contemporanea, caratterizza il periodo che va dall'inizio del XIX secolo, attraverso l'*Ecole Des Beaux Arts*, passa per l'architettura moderna del XX secolo, fino ad arrivare ai disegni postmoderni; in questo secondo caso, l'idea è quella di dover produrre, attraverso il disegno, qualcosa di necessariamente nuovo, inedito, secondo la logica della variazione infinita; così distingue il disegno 'moderno' da quello 'contemporaneo': «In un caso [moderno], l'architettura è in grado di

Peter Wilson, Ben van Berkel, Coop Himmelblau, Zaha Hadid, Herzog & De Meuron, Aldo Rossi.

⁵ F. dal Co, *De moderne en de eigentijdse architectuurtekening*, in «OASE», 36, 1993, pp. 3-11.

⁶ Sulla gestione e direzione dei cantieri di Brunelleschi si veda: L. Cupelloni, *Antichi cantieri moderni. Concezione, sapere tecnico, costruzione da Iktinos a Brunelleschi*, Roma, Gangemi, 1997.

raggiungere la verità; in un altro [contemporaneo] genera prodotti destinati al consumo, semplicemente perché nuovi»⁷.

Il tema è approfondito in un recente numero della rivista dal titolo *Tekenpraktijken* (Pratiche del disegno), all'interno del cui editoriale tale differenza si traduce in una variazione dell'uso e delle finalità del disegno di architettura; mentre il disegno architettonico contemporaneo sembra confondere il disegno con la pittura, con la volontà di produrre nuove immagini in grado di essere apprezzate singolarmente, la maniera moderna non è concentrata sulla qualità estetica, dal momento che il disegno è inteso solo come uno strumento funzionale al raggiungimento, nel caso brunelleschiano, delle verità classiche⁸.

In altre parole: «Si tratta di due forme di rappresentazioni autonome, dotate di regole e di principi fondativi differenti: sostanzialmente il disegno sviscera, spiega, suggerisce; l'immagine seduce, sintetizza, suggella»⁹.

O, ancora:

La differenza fondamentale che sussiste tra un disegno 'funzionale' (il cui compito puramente strumentale può riguardare la trasmissione di alcune informazioni relative alle proprietà visibili, ad alcuni aspetti tecnici e costruttivi di un oggetto, quanto quella di visualizzare dei dati logici) e un disegno autonomo, quale espressione artistica in sé finita e indipendente, risiede nel fatto che il primo genere di disegno è strutturato secondo una sempre più settoriale forma di decodificazione del

⁷ F. dal Co, *op. cit.* [Originale: *On the one hand, architecture is something that is able to find truth; on the other, it is something that produces objects meant for consumption, simply because they are new*].

⁸ B. Decroos, V. Patteuw, A. Cicek, J. Engels, *The Drawing as a Practice. De tekening als praktijk*, in «OASE», 105, 2021, pp. 13-24.

⁹ E. Canepa, *Contro la tirannia dell'occhio*, in *History of the Future*, a cura di E. Canepa, Genova, Sagep, 2017, pp. 9-16.

segno grafico, una sorta di norma grafica; mentre il disegno cosiddetto 'artistico' richiede un approccio opposto di continua trasgressione e invenzione della forma grafica del segno, un'incessante ricerca verso sempre nuove possibilità espressive [...]»¹⁰.

Se la pretesa di autonomia spinge l'architettura nel dominio della pittura, minando la specificità del disegno architettonico e se un sempre maggior numero di raffigurazioni architettoniche invadono le pagine di riviste e di siti web, favorendo un prevalere dell'immagine sul disegno tecnico, cosa accade quando queste devono tradursi in architettura costruita? Quanto diventa ampio il divario tra il tavolo da disegno (per meglio dire, il nostro schermo del computer) e il cantiere? Come può il disegno architettonico realizzarsi nel suo ruolo fondativo di strumento di comunicazione tra progetto e costruzione?

«Gli architetti non fanno gli edifici; gli architetti disegnano gli edifici»¹¹, risponderebbe Robin Evans, storico dell'architettura, dedito per buona parte della sua ricerca a rintracciare e delineare l'intrinseco rapporto tra il disegno e la costruzione¹². Presa alla lettera, questa affermazione contenuta all'interno del catalogo dell'esibizione *Architecture and Its Image* tenutasi nel 1989 al Canadian Centre for Architecture a Montréal¹³ sembrerebbe suggerire una sconnessione tra l'atto del dise-

¹⁰ E. Giacomelli, *Riflessione 00_Progetto e rappresentazione*, in *Compendio al Corso di Composizione Architettonica*, Torino, Politecnico di Torino, 2013. https://issuu.com/g-studio/docs/riflessione_0_progetto_e_rappresent (ultima consultazione: 04.04.2022).

¹¹ B. Decroos *et al.*, *op. cit.* [Originale: *Architects do not make buildings; they make drawings of buildings*].

¹² R. Evans, *Translations from Drawing to Building and Other Essays*, London, Architectural Association, 1997.

¹³ E. Blau, E. Kaufman. *Architecture and Its Image: Four Centuries of Architectural Representation*, Works from the Collection of the Canadian Center for Architecture, Montreal, MIT Press, 1989.

gnare e del costruire; in realtà l'assunto sancisce l'importanza del primo come inscindibile e irrinunciabile presupposto del secondo.

Presa coscienza del diverso significato riservato al disegno tecnico e all'immagine autonoma, senza presupporre il prevalere dell'uno sull'altra, ma riconoscendo loro uguale importanza, sebbene con diversa destinazione, occorre allora concentrarsi su cosa significhi, oggi, quel 'disegnare edifici'¹⁴.

4.3 Il progetto esecutivo e il piacere del dettaglio

Per inoltrarci ulteriormente nel mondo del disegno d'architettura, tanto stimolante e affascinante per il progettista quanto complesso e variegato nelle sue declinazioni, si rende necessario chiarire alcune condizioni di partenza che hanno permesso di dar vita alle seguenti note. In questa sede ci interessa, infatti, affrontare la questione del disegno da un preciso punto di vista; quello del disegno tecnico, il più dettagliato e obiettivo strumento grafico di cui disponiamo, predisposto per svolgere una funzione descrittiva, operativa, tassonomica, illustrativa. Ciò in quanto esso rappresenta uno dei principali mezzi per decodificare, in maniera oggettiva, un'idea progettuale; è, potremmo dire, il disegno *anatomico* di un'architettura, ovvero quello che consentirà a una concezione iniziale, ancora immateriale, di diventare oggetto concreto, formalmente e funzionalmente coerente, tramite una sempre maggiore discesa di scala. In tal senso si esprime l'architetto svizzero Peter Zumthor:

Tra tutti i disegni realizzati dagli architetti, i miei preferiti sono i disegni esecutivi. I disegni esecutivi sono dettagliati e obiettivi. Creati per gli artigiani che devono dare una forma materiale all'oggetto immaginato, sono privi di manipolazioni associative. Non cercano di

¹⁴ B. Decroos *et al.*, *op. cit.*

convincere e impressionare come i disegni di progetto. Sembrano dire:
 “Questo è esattamente come apparirà”¹⁵.

Progettare un'architettura è, potremmo dire, un'attività al contempo tecnica e creativa; infatti, se si ritiene che l'atto costruttivo sia il fine, è chiaro che l'ideazione dell'opera debba essere da principio connessa a una volontà di esecuzione; l'eseguibilità diventa requisito connaturato al concetto stesso di progetto¹⁶. L'efficacia comunicativa che permette questo passaggio, da idea a sostanza, da progetto a costruzione, è garantita, tra gli altri¹⁷, dal più oggettivo degli strumenti, ovvero quello che Peter Zumthor chiamerebbe *working drawing*; l'apparato grafico, sistema di segni e di forme espressive, diventa il linguaggio tramite il quale il progettista si esprime per simulare una realtà immaginaria con il fine di renderla

¹⁵ P. Zumthor, *op. cit.* [Originale: *Among all the drawings produced by architects, my favourites are the working drawings. Working drawings are detailed and objective. Created for craftsman who are to give the imagined object a material form, they are free of associative manipulation. They do not try to convince and impress like project drawings. They seem to be saying: «This is exactly how it will look»*].

¹⁶ «Le capacità di concezione (*progetto*) e realizzazione (*costruzione*) dell'opera edilizia presuppongono l'acquisizione di una *forma mentis* che sia capace di valutare la fenomenologia architettonica, dal passato e di oggi, nella sua complessa realtà di meditata risposta ai quesiti posti da molteplici parametri» in E. Dassori, R. Morbiducci, *Costruire l'architettura. Tecniche e tecnologie per il progetto*, Milano, Tecniche Nuove, 2010, p. 57.

¹⁷ La fase progettuale che, possedendo il necessario livello di dettaglio, permette il passaggio da progetto a costruzione è quella *esecutiva*. A livello normativo il Codice dei contratti pubblici (Decreto legislativo 18 aprile 2016, n. 50) così definisce tale fase: «Il progetto esecutivo, redatto in conformità al progetto definitivo, determina in ogni dettaglio i lavori da realizzare, il relativo costo previsto, il cronoprogramma coerente con quello del progetto definitivo, e deve essere sviluppato ad un livello di definizione tale che ogni elemento sia identificato in forma, tipologia, qualità, dimensione e prezzo. Il progetto esecutivo deve essere, altresì, corredato da apposito piano di manutenzione dell'opera e delle sue parti in relazione al ciclo di vita».

tangibile. È chiaro, quindi, che la conoscenza di tale linguaggio sia qualcosa della cui padronanza un progettista non possa esimersi: un codice che, proprio come quello scritto o parlato, si basa su regole grammaticali e sintattiche che devono essere conosciute e rispettate da chi voglia farsi perfettamente comprendere. Il disegno tecnico, per esempio, deve possedere, a seconda della scala grafica (che dipende a sua volta dalla fase progettuale) il corretto numero e posizionamento di quote (topografiche, planimetriche o altimetriche); gli adeguati spessori di linea (o pennino) per distinguere il sezionato, il visto, il proiettato...; tutte le annotazioni necessarie a rendere il disegno inequivocabile.

La centralità della cultura disegnativa nel fare architettura, che si protrae dal momento dell'apprendimento dell'*ars* alla fase del progetto, è discussa ampiamente nel Libro I del trattato *De Architectura* di Marco Vitruvio Pollione¹⁸; quest'ultimo sottolinea che l'architetto, per potersi dichiarare tale, deve avere una preparazione completa dimostrandosi «*peritus graphidos*» (esperto del disegno) e deve possedere «*graphidos scientiam [...] qui facilis exemplariibus pictis quam velit operis speciem deformare voleat*» (la tecnica del disegno, per potere più facilmente mediante grafici dare la raffigurazione dell'opera progettata); inoltre, illustra l'«*ichnographia*», scienza preposta al disegno della pianta di un edificio, l'«*orthographia*», disciplina che illustra il disegno dell'alzato, e la «*scaenographia*» deputata a rappresentare il rapporto tra la fronte e i lati e la profondità spaziale dell'edificio¹⁹.

Se oggi siamo abituati a ragionare sulla base di un compendio di regole dato, affinati ed evoluti in sintonia con una sempre più chiara e precisa norma grafica, è bene ricordare che i dettami per l'esercizio di questa attività si sono manifestati in modo graduale, principalmente in

¹⁸ M. Vitruvio Pollione, *De Architectura*, a cura di P. Gros, Torino, Einaudi, 1997.

¹⁹ A. Corso, *I disegni che corredevano il 'De Architectura' nel contesto delle rappresentazioni antiche di temi architettonici*, in *Vitruvio e il disegno di architettura*, a cura di P. Clini, Venezia, Marsilio, 2012.

parallelo al progresso tecnico e tecnologico che ha investito le società. Parimenti, anche gli strumenti del disegno tecnico sono progrediti; nel corso del tempo, dispositivi sempre più evoluti si sono susseguiti a sostegno delle diverse elaborazioni grafiche, inserendosi in un costante e perenne processo di aggiornamento, passando dal disegno manuale, praticato prima con l'ausilio di strumenti tradizionali (righe, squadre, compassi...) e poi sussidiari (tecnigrafi), ai software di modellazione digitale, con la rivoluzione apportata dal CAD (*Computer Aided Design*) e, negli ultimi anni, dal BIM (*Building Information Modeling*)²⁰.

Allo stesso modo, la scansione e il contenuto delle fasi di elaborazione del progetto di architettura si sono lentamente precisate attraverso la prassi professionale a partire dal Rinascimento assumendo la struttura a noi più nota verso la fine del XVIII secolo²¹. Consideriamo la figura di Raffaello (1483-1520), pittore e architetto italiano, ma anche teorico del disegno architettonico²², e il caso della Fabbrica di S. Pietro, per la quale viene chiamato a sostituire, nella direzione del cantiere, Donato 'Donnino' di Angelo di Pascuccio, detto il Bramante (1444-1514), figura emblematica del Cinquecento italiano. Se quest'ultimo seguiva direttamente la costruzione, in quanto esperto delle tecniche costruttive, completamente differente e rivoluzionario è il *modus operandi* di Raffaello che, con una formazione assai diversa, affida ai disegni le sue idee; saranno i suoi collaboratori a curarne la fedele applicazione in cantiere²³. Si configura così

²⁰ Il BIM fa parte, nel campo digitale, dei cosiddetti *megatrend* legati alla progettazione, alla pianificazione e alla gestione di un progetto, insieme a Big Data, Internet delle Cose (IoT), Realtà Virtuale e Realtà Aumentata. Il tema è approfondito in V. Bonini, P. Galelli, A. Minetto, *Tomorrow is Re-Loading. Il ruolo del digitale nel progetto della città contemporanea*, Genova, Genova University Press, 2022.

²¹ J.S. Hakerman, *Architettura e disegno. La rappresentazione da Vitruvio a Gehry*, Milano, Electa, 2003.

²² S. Ray, *Raffaello architetto*, Bari, Laterza, 1974.

²³ Raffaello si avvale della collaborazione di validi assistenti: dapprima fra'

un ruolo *moderno* per l'architetto; i disegni non possono consentire libere interpretazioni infedeli alle intenzioni del progettista e per questo devono essere estremamente precisi, chiari e completi di ogni informazione necessaria. Questa nuova consapevolezza viene espressa da Raffaello in una lettera del 1519 a Papa Leone X, in cui evidenzia la specificità del disegno tecnico di architettura rispetto alla pittura ed enuncia i tre principali tipi di proiezione – pianta, prospetto e sezione – attraverso dettagliate descrizioni che si distinguono per un taglio pratico, lontano dal linguaggio delle teorie della geometria descrittiva. Prima si disegna la pianta («La pianta si è quella che comparte tutto el spazio piano del luoco da edificare, o – voglio dir – el disegno del fondamento di tutto lo edificio, quando già è rasente al pian della terra»); quindi il prospetto, impostato sulla linea di base («dalle due extremitati della linea della larghezza tirinsi due linee parallele perpendicolari sopra la linea della base, e queste due linee siano alte quanto ha da essere lo edificio, ché in tal modo faranno l'altezza dello edificio»); infine, la sezione verticale («questa è necessaria non meno che l'altre due, et è fatta medesimamente dalla pianta con le linee parallele, come la parete di fôra; e dimostra la metà dello edificio di dentro, come se fosse diviso per mezzo»)²⁴.

Piante, sezioni, prospetti, assonometrie sono tutti strumenti a supporto della realizzazione di un manufatto architettonico, a partire dal primo schizzo dell'idea progettuale; ma cosa accade quando si scende di scala? Come si rappresentano le caratteristiche costruttive di un oggetto progettato? Attraverso il disegno esecutivo²⁵ e l'insieme dei particolari

Giocondo, anziano ed esperto ingegnere, poi Antonio da Sangallo il Giovane.

²⁴ Il manoscritto cartaceo è costituito da 6 carte di formato 220 x 290 mm circa, ripiegate a formare fascicoletto non rilegato di 24 facciate, di cui 21 scritte, 3 bianche ed è conservato al ASMn, Archivio Castiglioni (busta 2, n. 12).

²⁵ esecutivo agg. [der. del lat. *executus*, part. pass. di *exsequi* «eseguire»]. [...] b. Nella tecnica, progetto e., il progetto (di un edificio, di una macchina, ecc.) in base al quale viene eseguito un lavoro, e che costituisce lo studio definitivo,

costruttivi, ovvero gli strumenti che consentono di descrivere in modo completo ed esaustivo ogni aspetto del progetto, anche il più piccolo e celato. La caratteristica principale di questa categoria espressiva è quindi il livello di dettaglio elevato, la massima precisione e la ricchezza di informazioni. Difficilmente il particolare costruttivo viene etichettato tra i disegni ‘accattivanti’ o in grado di sedurre l’occhio, ma se siamo in grado di intenderlo, di leggerlo, il dettaglio è forse uno dei momenti progettuali più appaganti per il progettista. Basti pensare alla costante sfida che ci troviamo ad affrontare nello sviluppare un insieme di soluzioni, volte a soddisfare al contempo qualità formali e tecniche, che assicurino all’architettura un’espressione definitiva il più possibile coerente con il momento della sua genesi. È chiaro che compiere una discesa di scala comporti spesso la messa in discussione delle scelte precedenti, la loro variazione e la ricerca di nuovi percorsi per implementarle; tale condizione è per il progettista un’occasione straordinaria per entrare in contatto con la realtà delle proprie idee, che si concreterà integralmente solo con la realizzazione delle stesse.

Si tratta, dunque, di un momento formativo attraverso cui far progredire la propria preparazione sugli aspetti concreti del costruire, abituandosi a coltivare l’attitudine a immaginare manufatti realizzabili o di elaborare soluzioni costruttive ogniquale volta si abbia una interazione tra le parti, con superfici che si intersecano o materiali diversi che si incontrano; ogni giunto, ogni unione, ogni interazione che serve a rafforzare l’opera nel suo insieme. In quest’ottica disegnare un dettaglio esecutivo è, a tutti gli effetti, un atto creativo del progetto; lo dimostrano gli elaborati progettuali di alcuni tra i più grandi architetti italiani del secolo scorso.

completo di tutti i particolari che interessano la costruzione, a differenza del progetto di massima che risulta soltanto da uno studio preliminare; disegni e., i disegni relativi al progetto esecutivo. Online: <https://www.treccani.it/vocabolario/esecutivo/> (ultima consultazione: 04.04.2022).

so come, per citarne alcuni, Mario Ridolfi (Roma, 1904-Terni, 1984)²⁶, Carlo Scarpa (Venezia, 1906-Sendai, 1978)²⁷ o Franco Albini (Robbiate 1905-Milano 1977)²⁸, per i quali il disegno tecnico non è altro che la manifestazione del compendio ragionato di un intero iter costruttivo; la grande scala e i dettagli emergono con pari rilevanza nel definire lo spazio architettonico. Il particolare costruttivo diventa lo strumento per realizzare quei dettagli che si distinguono non solo per la concezione tecnologica, ma anche per un carattere di sofisticata qualità formale.

Differente nelle tecniche, ma non nelle intenzioni, è il caso, a noi contemporaneo, dello studio di architettura Atelier Bow-Wow, con sede a Tokyo e fondato nel 1992 da Yoshiharu Tsukamoto e Momoyo Kaijima, che hanno fatto del disegno di dettaglio il loro marchio di fabbrica. Nel volume *Graphic Anatomy* propongono una serie di illustrazioni di edifici da loro stessi definiti *anatomici*, dove gli elementi

²⁶ Si veda: F. Cellini, C. D'Amato, *Mario Ridolfi. Manuale delle tecniche tradizionali del costruire. Il ciclo delle Marmore*, (Firenze: Electa, 1997). Il testo analizza l'opera di Ridolfi concentrandosi sulle tecniche di disegno e di costruzione, relativamente a dodici case progettate e costruite dall'architetto.

²⁷ «Scarpa dunque usa i materiali tradizionali con proprietà, consapevolezza e libertà consentiti solo dalla padronanza e dalla capacità di colloquiare con gli artigiani, infondendo il loro sapere tecnico ed esecutivo nel processo progettuale, come fonte di approfondimento, ma anche di cambiamento e di variazione nel processo d'approssimazione che tende all'espressione più esatta dell'idea progettuale, e che contemporaneamente la chiarisce e le dà forma», M. Manzelle, *Il sapere materiale e costruttivo nell'opera di Carlo Scarpa: una lezione da tramandare*, in *Carlo Scarpa. L'opera e la sua conservazione*, a cura di M. Manzelle, Milano, Skira, 2002, pp. 28-29.

²⁸ Si vedano: F. Bucci, G. Bosoni, *Il design e gli interni di Franco Albini*, Seconda Edizione, Milano, Mondadori Electa, 2016; F. Bucci, A. Rossari, *I musei e gli allestimenti di Franco Albini*, Milano, Mondadori Electa, 2016. Nei testi si evidenziano i caratteri di originalità dell'opera di Albini che si distingue per l'ordine geometrico, la perfezione tecnica e la pregevolezza dei materiali; il tutto tramite un ricco apparato iconografico costituito da disegni a matita e inchiostro.

sono rappresentati nei loro contorni, spessori e trame ed etichettati con una precisa e dettagliata notazione di materiale, dimensione, finitura²⁹.

4.4 Cultura artigianale e innovazione digitale

È da tempo, ormai, che strumenti di disegno digitale, bi e tri-dimensionale, hanno sostituito matite, righelli, squadre e tecnigrafi... Negli ultimi anni, mezzi di modellazione sempre più avanzati e sofisticati hanno dato luogo a un ulteriore significativo momento di cambiamento che ha coinvolto, non con qualche ritardo o esitazione rispetto ad altri, anche il settore delle costruzioni. Settore che oggi si trova nel pieno di una transizione digitale soggetta a una perpetua implementazione, parallela, o quasi, al costante e sempre più rapido aggiornamento delle innovazioni tecnologiche e digitali; a un metodo CAD (*Computer Aided Design*) se ne sta sostituendo uno BIM (*Building Information Modeling*)³⁰. La più immediata differenza tra i due strumenti non sta nella mera rappresentazione, quanto nel fatto che, attraverso una modellazione BIM, o parametrica, si supera la modellazione puramente geometrica di un edificio in favore di una ricostruzione virtuale, una

²⁹ Si vedano: A. Wan, *Atelier Bow-Wow - Graphic Anatomy*, Toto, 2007 e A. Wan, *Atelier Bow-Wow - Graphic Anatomy 2*, Toto, 2014. Gli architetti parlano di un modo di descrivere, attraverso il disegno, l'architettura in modo da garantirne una 'earnestness of observation'.

³⁰ BIM: Acronimo di Building Information Modeling, il BIM designa un processo che, supportato da un metodo e unitamente al *computational design*, permette di effettuare simulazioni progettuali di un manufatto edilizio in ambito digitale, quindi computabili, tese ad assicurare la coerenza tra i diversi elementi che lo compongono, secondo un approccio in grado di anticipare e rispondere ai possibili fenomeni che potrebbero verificarsi in ogni fase del suo ciclo di vita. Online, https://www.treccani.it/enciclopedia/bim_%28Enciclopedia-Italiana%29/#:~:text=Acronimo%20di%20Building%20Information%20Modeling,diversi%20elementi%20che%20lo%20compongono (ultima consultazione: 12.04.2022).

sorta di pre-costruzione; ciò avviene attraverso l'impiego di componenti che sono gli equivalenti virtuali di quelli utilizzati nella realtà (muri, solai, pilastri, tetti...) e, quindi, dotati di parametri³¹. Potremmo allora affermare che il divario più grande e in qualche maniera dirompente, stia non tanto nello strumento di disegno di progetto, quanto nella maniera di pensare il progetto³². Infatti, come afferma la ricercatrice Elisabetta Canepa:

Il disegno rimane un disegno, nonostante non sia stata una punta di grafite a tracciarlo. Il supporto operativo, le scale di rappresentazione e gli schemi grafici si trasformano, ma il ragionamento creativo primigenio permane immutato, annidato in ogni tocco di mouse: il difficile sta nel decifrare i meccanismi che alimentano il funzionamento delle nuove tecnologie e la tattica più efficace si rivela studiarle e adoperarle in prima persona per conquistarne una radicata confidenza³³.

C'è chi, progettista o critico che sia, teme che tali strumenti alimentino una transizione verso una progettazione basata su impenetrabili algoritmi che misurano una serie di dati collezionati, archiviati e combinati tra loro, che esulano dal campo dell'architettura e che finiscono con il

³¹ In questa condizione i parametri, o proprietà (per esempio larghezza, altezza, materiale...) diventano il punto di contatto, il linguaggio comune, tra progettista e software BIM.

³² Le dimensioni BIM fanno riferimento ai diversi livelli di informazione di un modello: 3D: modellazione tridimensionale; 4D: gestione della programmazione (analisi dei tempi); 5D: gestione informativa economica (analisi dei costi); 6D: valutazione della sostenibilità (sociale, economica e ambientale); 7D: gestione e facility management. Oggi, esiste un dibattito aperto su tre nuove dimensioni del BIM: 8D: sicurezza in fase di progettazione e realizzazione dell'opera; 9D: costruzione lean; 10D: industrializzazione delle costruzioni.

³³ E. Canepa, *op. cit.*, 2017, pp. 9-16.

mettere da parte il progettista stesso³⁴. L'architetto e saggista olandese Rem Koolhaas (1944), senza mancare di evidenziare quella 'pretesa di autonomia' del progetto di architettura da parte dei contemporanei cui ci si riferiva all'inizio di questo contributo, individua nella standardizzazione, non solo del prodotto quanto del *modus operandi*, il principale dilemma e controsenso:

La reputazione e le aspettative degli architetti si basano in gran parte sulla loro presunta unicità, ma in realtà assembliamo elementi che sono stati in gran parte definiti da altri, prodotti in serie, offerti in cataloghi su internet, accessibili a chiunque e assemblati da manodopera sempre più indifferente... [...] al punto che intere sezioni di ogni edificio sono diventate de-facto dominio di altri, inaccessibili agli stessi architetti...³⁵.

Tale affermazione, più che comprensibile e largamente condivisa nel campo architettonico, potrebbe farci ricadere, se estremizzata, nella cosiddetta *retro-mania*³⁶; non è affatto ciò che ci proponiamo, anzi:

³⁴ La settorializzazione delle competenze e le regole del mercato dell'edilizia agiscono in direzione di un progressivo affidamento della fase esecutiva a soggetti diversi da quelli che hanno governato le fasi iniziali del processo. Il rischio è che l'espropriazione della progettazione esecutiva al progettista conduca allo stravolgimento dell'idea iniziale: evitarne una banalizzazione è dovere e compito di ogni buon tecnico a cui ne è richiesta l'ingegnerizzazione.

³⁵ R. Koolhaas, *Elements of architecture*, Köln, Taschen, 2018. [Originale: *Architect's reputations and expectations are largely based on their supposed uniqueness, but we actually assemble elements that have largely been defined by others, mass produced in series, offered in catalogues on the internet, accessible to anyone and put together by increasingly indifferent labor... [...] to the point where entire sections of each buildings de-facto have become the domain of others, inaccessible to the architects themselves...*]

³⁶ La definizione di *Retro-mania* è presa in prestito e trasposta nel campo architettonico dal testo: S. Reynolds, *Retromania. Musica, cultura pop e la nostra ossessione per il passato*, London, Faber & Faber, 2012.

«la tecnologia è un contributo troppo prezioso ed energico per essere rifiutato: un'onda portatrice di evoluzione, che nel suo invito alla sperimentazione chiede di essere accolta, assimilando criticamente le novità che essa introduce»³⁷. Non una semplice e passiva accettazione, quindi, ma una ragionata e coerente elaborazione.

La critica non va forse rivolta allo strumento di traduzione finale dell'opera in fatto concreto, quanto piuttosto al rischio di ridurre il momento della genesi di un'idea a un processo automatico e standardizzato o, ancor peggio, a un fatto unicamente burocratico o normativo. L'architettura è un fenomeno completo, un'arte nella quale il momento dell'idea e l'atto del costruire hanno sempre medesimo valore; lo studio di dettaglio deve essere per il progettista lo strumento di ricerca per realizzare quei particolari costruttivi in grado di distinguersi sia per la concezione tecnologica e per la verifica della fattibilità tecnica, sia per la qualità formale e per il controllo del carattere espressivo.

Quanto si chiede al progettista, oggi, è risolvere una sfida: essere contemporanei al proprio tempo, senza perdere la cultura artigianale del particolare, facendo un uso critico delle nuove tecnologie a disposizione; il tutto, rendendo un gesto costruttivo un momento di costante e appassionata ricerca progettuale.

È esattamente questo quanto ci proponiamo.

Nota

Nell'Agosto 2021 ho avuto la fortuna e la casuale occasione di bussare alla porta dello studio dell'ormai ottantanovenne architetto Alberto Ponis a Palau, in Sardegna. Folgorata dalla bellezza dell'ambiente da lui progettato, colmo di librerie, mensole e scaffali pieni di giornali, riviste e libri, tra i più rari e intriganti, ho subito notato la mancanza della

³⁷ E. Canepa, *op. cit.*, 2017, pp. 9-16.

presenza di qualsivoglia elaborato progettuale, che fosse una *maquette* di studio o un disegno di progetto. Gli chiesi se avesse qualcosa da mostrarmi, senza riferirmi a un progetto specifico; toccare con mano e osservare i suoi disegni sarebbe stata, in ogni caso, un'occasione più unica che rara. Quasi si stupì: «Disegni? I disegni servono per costruire», mi disse, «i disegni restano nel luogo per cui sono nati: i disegni restano in cantiere».

E forse, è anche questo carattere effimero, fugace e instabile che contribuisce a rendere il disegno esecutivo, per come lo abbiamo sinora inteso, così intrigante, affascinante e prezioso agli occhi di ciascun progettista.

PARTE II
ESEMPI DI APPLICAZIONI NELLA
DIDATTICA

1. Introduzione

Renata Morbiducci

Le considerazioni conclusive qui presentate vogliono essere una dimostrazione che ciò che si è affermato in teoria può essere applicato nella pratica progettuale; ma dato che l'obiettivo del volume è di tipo didattico per gli studenti di corsi universitari nel settore delle costruzioni, si propongono alcuni esempi di progettazione sostenibile sviluppati insieme agli studenti in circa dieci anni di insegnamenti.

La proposta applicativa per il raggiungimento degli obiettivi illustrati nei precedenti capitoli qui prende una forma concreta, si traduce, infatti, in una serie di caratteristiche/scelte progettuali suddivisibili in tre livelli, sostanzialmente corrispondenti alla scalarità delle fasi progettuali (Fig.1):

Caratteristiche/scelte ambientali

L'ambiente esterno è un contesto complesso che influisce fortemente sulle condizioni di benessere abitativo. I principali fattori ambientali che possono contemporaneamente influire ed essere sfruttati per creare condizioni di benessere abitativo sono il clima e i suoi fenomeni meteorologici, la morfologia del sito, le caratteristiche locali del sito.

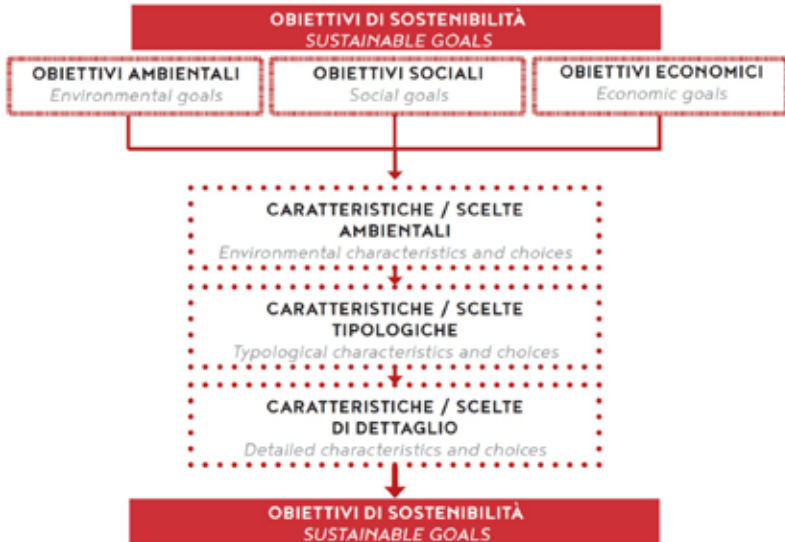


Fig.1. La proposta applicativa del metodo.

Caratteristiche/scelte tipologiche

Il rapporto tra ambiente e costruzione è prioritario per la definizione delle cosiddette caratteristiche/scelte tipologiche. Esse indicano la scelta progettuale d'insieme finalizzata a ottenere i requisiti sostenibili primari ovvero a ottimizzare le prestazioni di benessere abitativo. In questo senso i principi tipologici sono da interpretarsi come le prime scelte 'architettoniche', influenzate dalle caratteristiche ambientali del sito che considerano la costruzione, o l'insieme delle costruzioni, nella loro globale volumetria, inserita in un sito con le sue peculiarità ambientali. L'analisi delle caratteristiche/scelte tipologiche è impostata in base al concetto di orientamento e forma delle costruzioni.

Caratteristiche/scelte di dettaglio

I principi che definiamo di dettaglio riguardano le soluzioni tecniche e tecnologiche finalizzate, nell'ottica della sostenibilità, alla esecutività

di un'opera. La matrice di queste soluzioni è costituita dall'insieme dei materiali, degli elementi e delle tecniche costruttive che il progetto valuta rispettivamente nelle caratteristiche naturali, nelle prestazioni d'insieme, nella capacità di costituire sistemi complessi dotati di requisiti tali da soddisfare le prestazioni attese.

Per quanto riguarda le tecniche costruttive 'sostenibili', esse possono essere classificate in passive e attive. Le prime, come vedremo più avanti, sono quelle che operano esclusivamente attraverso le proprietà naturali e le scelte progettuali, le seconde si attivano con l'utilizzo di componenti impiantistici, quando le soluzioni passive non sono sufficienti a garantire le condizioni di benessere abitativo. Anche nel caso di tecniche attive può essere perseguito un criterio di sostenibilità quando si opti per sistemi che sfruttino fonti energetiche rinnovabili, quali energia eolica, solare (solare termico e fotovoltaico), geotermica, dal moto ondoso (o altre forme di energia marina), idraulica, biomassa, da gas di scarica o residuati da processi di depurazione e biogas, o comunque si usi sistemi di climatizzazione a basso consumo e alto rendimento. Le tecniche attive, che non tratteremo in quanto peculiari di altri ambiti disciplinari, impongono che sia risolta l'integrazione delle componenti impiantistiche nella configurazione degli spazi funzionali interni e nella soluzione formale dell'involucro.

Questo approccio graduale delle scelte progettuali, dalla dimensione ambientale a quella della soluzione puntuale di materiali ed elementi costruttivi, ha dato vita a specifici 'modi' di progettare nella contemporaneità. A titolo di esempio si citano l'architettura sostenibile e l'architettura bioclimatica.

La stessa metodologia è scalabile dal caso del singolo manufatto sino alla progettazione di un'intera città o, in teoria, di un'intera nuova regione, come per esempio nel caso del contemporaneo progetto dello sviluppo sostenibile di intere regioni africane. A parte le due prime categorie d'intervento, per il resto è evidente che nella normalità si ha a che fare con situazioni complesse in cui la caratteristica più stimolante e impegnativa è la commistione di edifici esistenti di diverse epoche di costruzione, nuove realizzazioni, variegate funzioni e servizi, ecc. La complessità aumenta an-

cora se si vuole tentare di declinare l'idea di progettazione sostenibile nel contesto della rigenerazione urbana di un nucleo storico. Anche in questo caso, però, la proposta è fattibile se si mantiene il principio semplice, ma imprescindibile, di raggiungere gli obiettivi della sostenibilità ambientale, sociale ed economica. Se si parte da tale principio ciò che cambierà saranno le specifiche soluzioni, ma non 'le regole e gli effetti'.

La metodologia, dunque, è il punto di partenza per un progetto che abbia tra i suoi obiettivi quelli dello sviluppo sostenibile. In particolare, un progetto può essere sviluppato nelle consuete due fasi, inserendo analisi, scelte e modalità che permettano di accumulare le informazioni necessarie per eseguire poi le scelte progettuali compatibili con gli obiettivi di sostenibilità:

Lo Stato di Fatto

Le analisi ambientali e urbanistiche vengono condotte sull'intera area d'intervento. In particolare:

- **Analisi Ambientali:** caratteristiche climatiche, morfologiche e di peculiarità del sito.
- **Analisi Urbanistiche:** considerazioni generali (contesto, strategicità, zonizzazione, vincoli, punti d'interesse, ecc.) e standard urbanistici (viabilità, flussi, verde urbano, vuoti urbani, rifiuti, demografia, ecc.).
- **Analisi Tipologiche e di Dettaglio:** proprietà degli immobili, destinazioni d'uso, epoca di realizzazione delle costruzioni e delle infrastrutture, stato di manutenzione, caratteristiche costruttive, caratteristiche degli abitanti, interviste agli abitanti.

Considerazioni finali dello Stato di Fatto

L'insieme delle analisi compiute permettono di evidenziare i punti su cui dirigere le azioni di riqualificazione/rigenerazione/progettazione e di mettere in luce le problematiche da affrontare con azioni coordinate e con tempi di realizzazione realistici.

Lo Stato di Progetto

A partire da quanto dedotto dall'analisi dello stato di fatto la fase progettuale si differenzia in modo sostanziale a seconda della tipologia d'intervento e delle sue dimensioni fisiche ed economiche, tenendo conto degli impatti ambientali e sociali imprescindibili.

Nei paragrafi successivi si mostreranno esempi di applicazioni di quanto illustrato sino a questo momento sulla proposta operativa di progetto sostenibile. Gli esempi mostrano applicazioni su casi di nuova progettazione e di interventi sul costruito considerando singoli edifici, complessi di edifici, sino a interventi di interi quartieri.

2. Edificio di nuova costruzione

Salvatore Polverino, Vittoria Bonini, Clara Vite, Renata Morbiducci

2.1 Introduzione del caso presentato

La ‘nuova costruzione’ rappresenta un ambito ideale per le applicazioni in ambito didattico dei principi della progettazione sostenibile, in quanto gli studenti, neofiti dell’argomento, hanno una maggiore libertà di azione rispetto all’intervento su edifici esistenti; inoltre, tale contesto facilita lo sviluppo di un approccio digitale alla progettazione sostenibile, consentendo l’acquisizione di una metodologia di lavoro coerente con le richieste di innovazione provenienti dal settore edilizio¹.

L’applicazione dei principi della progettazione sostenibile in ambiente digitale costituisce il pilastro fondante dell’esercitazione laboratoriale dell’insegnamento Progettazione Sostenibile dell’Architettura, afferente al corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile-Architettura della Scuola Politecnica dell’Università di Genova. Oggetto dell’esercitazione è l’implementazione di un progetto di una nuova costruzione (ad esempio edificio residenziale multifamiliare, casa a schiera, residenza universitaria), già sviluppato durante i precedenti i corsi di Architettura Tecnica, attraverso

¹ European Construction Sector Observatory, «Digitalisation in the Construction Sector», 2021, <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/45547/attachments/1/translations/en/renditions/native>.

l'applicazione di scelte progettuali proprie della progettazione sostenibile.

Il lavoro è stato sviluppato a partire dall'a.a. 2017-2018 ed è stato seguito dalla Prof.ssa R. Morbiducci assistita nel corso degli anni da ing. C. Vite, ing. S. Polverino e ing. V. Bonini.

I principali esiti del suddetto percorso sono sintetizzati nel presente paragrafo.

2.2 Caratteristiche/scelte ambientali

La prima fase del progetto è consistita nel collocare l'edificio oggetto di studio in uno specifico ambito territoriale al fine di poter fornire agli studenti lo scenario ambientale sul quale basarsi per la definizione di scelte progettuali sostenibili. A tal fine, gli studenti sono stati suddivisi in gruppi e a ciascuno di essi è stata assegnata una Zona Climatica entro la quale simulare la collocazione del progetto: utilizzando la Tab. A (Elenco dei comuni italiani diviso per regioni e provincie) allegata al D.P.R. 412/93, gli studenti hanno individuato un Comune ricadente nella zona climatica assegnata; all'interno di quest'ultimo, mediante l'ausilio di software che impiegano immagini satellitari (ad esempio Google Earth e Openstreetmap), è stato individuato un lotto entro il quale collocare il progetto di nuova costruzione oggetto di studio (Fig. 1). La scelta è stata guidata dal rispetto dei principi della sostenibilità ambientale, ponendo come criteri i seguenti aspetti: saturazione di aree incolte del tessuto urbano, al fine di limitare il consumo di suolo agricolo; lotti non ricadenti in aree naturali; andamento altimetrico dell'area compatibile con l'edificio, in modo da limitare interventi massivi per il raccordo della costruzione al lotto preesistente (eccessivi lavori di scavo, rampa accesso, ecc...) (Fig. 2).

Nella fase successiva, gli studenti hanno effettuato una prima caratterizzazione dell'area entro cui collocare il progetto, raccogliendo dati relativamente alle principali caratteristiche ambientali; in particolare, sono stati analizzati i seguenti aspetti: temperatura, precipitazioni, stato del cielo, umidità relativa, radiazione solare e regime dei venti. Le infor-



CAPITOLO 0: PRESENTAZIONE DEL SITO

Localizzazione: Roma



Il sito in cui viene collocato il progetto si identifica con un lotto di terreno localizzato nella città di Roma e posto tra il Parco urbano "Andrea Campagna", via Mario Pannunzio e Piazza B. Abazzini.

Esso si trova nel quartiere Tiburtino a circa un chilometro dall'importante stazione ferroviaria "Roma Tiburtina" e meno di sei dal centro della capitale, in posizione Nord-Est rispetto ad esso.

Questa zona è caratterizzata da numerosi progetti di riqualificazione urbana.

La città di Roma, situata nel centro Italia, più precisamente nella regione Lazio, se analizzata tramite scala **topoclimatica**, si colloca all'interno della zona climatica contrassegnata dalla **lettera D**, categoria che comprende i luoghi in cui i gradi giorno sono compresi tra i 1400 e 2100, poiché ve ne sono 1415.

Le categorie di suddetta scala vanno dalla lettera A alla lettera F, comportano un diverso utilizzo del riscaldamento e sono identificate come qui di seguito:

Clima:	Gradi giorno	Ore consentite di riscaldamento e riscaldamento
A	< 600	6 ore/giorno
B	tra 600 e 900	8 ore/giorno
C	tra 900 e 1400	10 ore/giorno
D	tra 1400 e 2100	12 ore/giorno
E	tra 2100 e 3000	14 ore/giorno
F	> 3000	nessun limite



Le fonti:
Immagini derivate da Google Earth

Università degli studi di Genova - A. A. 2019/2021
Laboratorio di progettazione ambientale dell'architettura
Prof. Arch. R. ANDREASSINI, Ing. V. BONINI, Ing. S. POLI, Ing. M. PELLEGRINI
Gruppo 11: Tiberio MALCUCCHI, Valeria PELAZZA

01

Fig. 1 – Tavola esemplificativa della scelta del lotto oggetto di studio. (Immagine di G. Malvuccio e V. Pelazza)

1.2 SOPRALUOGO DELL'AREA INDIVIDUATA



SOPRALUOGO

Il comune di Garessio è situato in Val Tarnaro caratterizzata dal passaggio dell'omonimo fiume.

Il sito dove verrà inserito l'edificio è stato approfondito attraverso diverse viste. Queste sono state catturate da un livello vista uomo camminando lungo le strade che lo circondano.

Sia dalle analisi effettuate tramite l'applicazione Google Earth che dal sopralluogo da noi effettuato, risulta essere un terreno pianeggiante facilmente accessibile dalla strada SP178 (Via Valcasotto) e dalla via minore Via pian dei Prati.



— Perimetrazione lotto

Da fonte: GoogleEarth.org
Foto scattate dall'autrice Torterolo

Fig. 2 – Tavola esemplificativa delle analisi sul lotto oggetto di studio. (Immagine di C. Coregli e C. Torterolo)

mazioni raccolte sono state recuperate da siti web² che offrono gratuitamente banche dati di rapido e facile accesso, raccolti su un intervallo temporale di almeno dieci anni.

Le informazioni recuperate hanno consentito la definizione di un quadro critico esauriente enunciato attraverso una serie di elaborati, i cui principali esempi sono riportati di seguito, suddivisi per caratteristica climatica affrontata:

- temperatura (Fig. 3):
 - » andamento annuale della temperatura media, massima e minima mensile;
 - » andamento annuale della temperatura media, massima e minima mensile negli ultimi tre anni³.
- umidità (Fig. 3):
 - » andamento mensile dell'umidità media relativa;
 - » rapporto tra umidità relativa, temperatura e comfort termico.
- precipitazioni e stato del cielo (Fig. 3):
 - » precipitazioni totali mensili;
 - » precipitazioni nevose⁴.
- radiazione solare (Fig. 4):
 - » media mensile dell'irradiazione solare quotidiana;
 - » diagramma stereografico polare solare⁵;

² Tra i siti utilizzati ricordiamo: it.windfinder.com, it.weatherspark.com, www.ilmeteo.it, www.windy.com. Inoltre vi sono anche dati regionali reperibili sul sito delle Agenzie Regionali per la Protezione Ambientale (ARPA).

³ Tale elaborato è stato realizzato per analizzare il discostamento dell'andamento delle temperature medie mensili degli ultimi tre anni rispetto ai dati storici come evidenza del cambiamento climatico in atto.

⁴ Solo per lotti ricadenti in zona E ed F.

⁵ Diagramma che riporta la traiettoria del Sole (altezza e azimut solari) nell'arco di un'intera giornata per ogni mese durante l'intero anno. Elaborato grazie all'applicativo dell'Atlante Italiano della radiazione solare, reperibile al sito <http://www.solaritaly.enea.it/>.



CAPITOLO 1: PRINCIPI AMBIENTALI

Caratteristiche climatiche: precipitazioni, temperatura, umidità relativa



Fig. 1: Confronto tra umidità relativa e precipitazioni (medie)

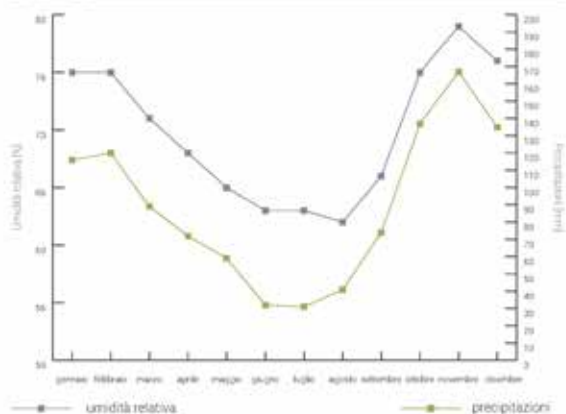


Fig. 2: Confronto tra umidità relativa e temperatura (medie)

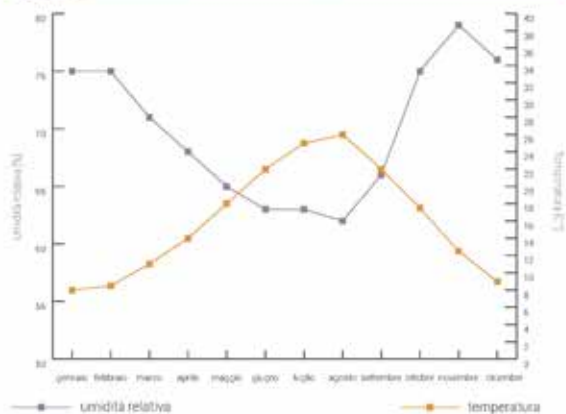


Fig. 3: Andamento delle precipitazioni (mm)

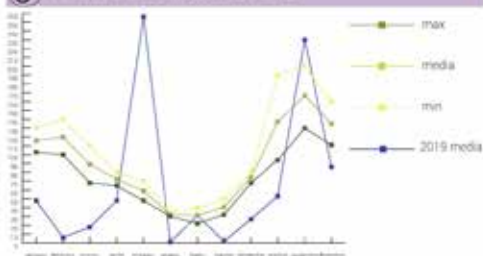


Fig. 4: Andamento dell'umidità relativa (%)

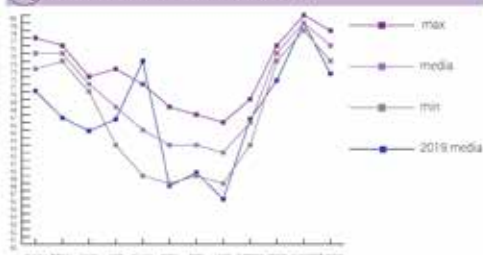
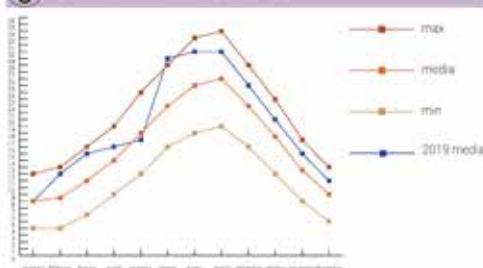


Fig. 5: Andamento della temperatura (°C)



Faccendo un confronto dell'umidità relativa con la temperatura (Fig. 1) e con le precipitazioni (Fig. 2) si riesce a cogliere un nesso tra questi elementi.

L'umidità relativa è direttamente proporzionale alle precipitazioni, quindi nei mesi più piovosi sarà anche presente una maggiore umidità ed, al contrario, in quelli con meno piogge avremo un clima più secco.

Il rapporto dell'umidità relativa con le temperature è invece totalmente opposto: una **proporzionalità inversa**. All'aumentare dell'umidità diminuiscono i gradi e, di conseguenza, significa che vi è stato anche un innalzamento delle precipitazioni.

Da questi dati analizzati attraverso dei diagrammi a punti si evince che gli **inverni** romani sono **piovosi, bagnati e freddi**, mentre le **estati** sono esattamente il contrario, indi per cui sono caratterizzate da un clima **secco, caldo** con **scarse piogge**.

Le fonti:

<https://www.meteoitalia.com/>
<https://it.weather24.com/>
<https://www.3meteo.net/>
<https://www.ariaitalia.com/it/>
<https://it.weather24.com/>
<https://www.windy.com/>
<http://www.jalisco.net/>

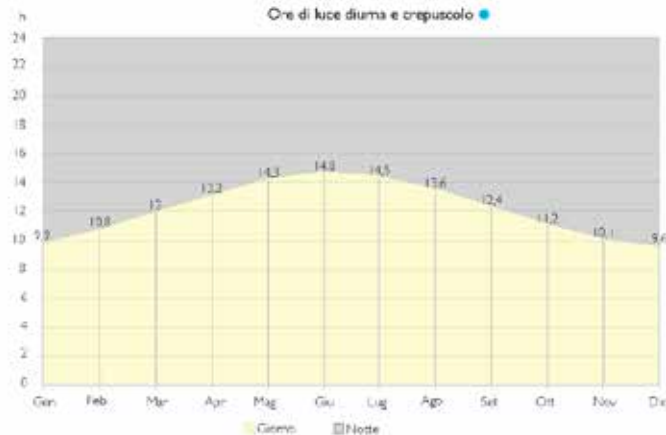
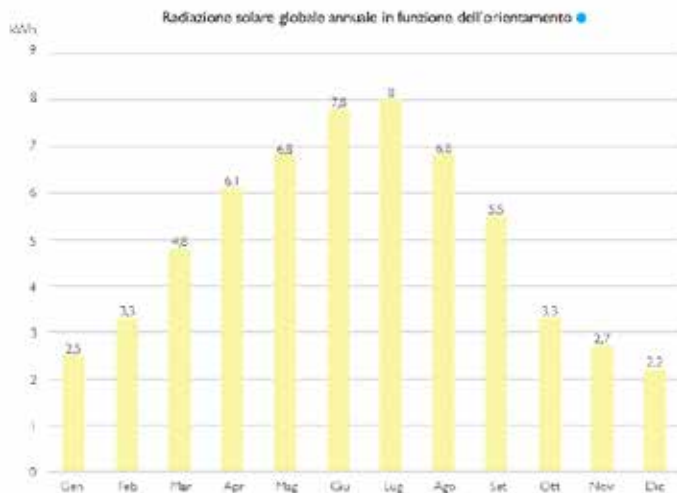
<http://www.meteoaria.it/>
<http://www.3meteo.com/>
<http://www.visionmeteo.it/>
<http://www.giocoalpi.it/>
<http://www.aria.it/>
<http://my.meteoalarm.it/>

Università degli studi di Genova - A. A. 2020/2021
 Laboratorio di progettazione ambientale e dell'architettura
 Prof. Arch. G. Malvuccio, Ing. V. Pelazza, Ing. S. Polverini

Gruppo E1 - Giuseppe MALVUCCIO, Valentina PELAZZA

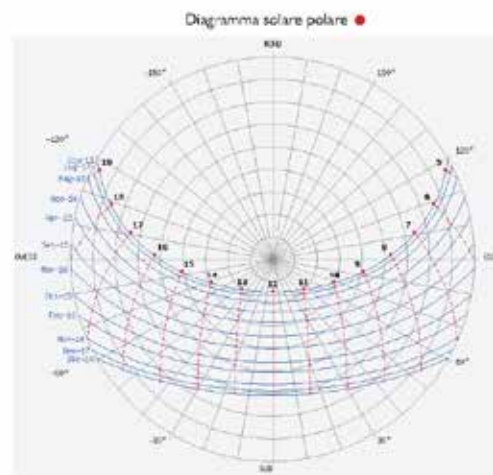
03

2.1.3 RADIAZIONE SOLARE



● <https://weatherpark.com/71741/Condizioni-meteorologiche-medie-a-Marsala-Italia-sotto-l'anno>
 ● <http://www.solaris.it/area/SeDiagrammiSolar/032Mes2.php>

2.1 CARATTERISTICHE CLIMATICHE



RADIAZIONE SOLARE

Questa sezione affronta il tema dell'energia solare totale a onde corte incidente giornaliera che raggiunge la superficie del suolo, che subisce numerose variazioni stagionali durante l'intero anno.

La radiazione delle onde corte include la luce visibile e i raggi ultravioletti, la quale dipende dalle variazioni stagionali della lunghezza del giorno, l'elevazione del sole sull'orizzonte e l'assorbimento da parte delle nuvole oltre ad altri elementi atmosferici. Il periodo con maggior luminosità dell'anno ha una durata di circa 3 mesi, dal 6 maggio al 18 agosto, con un'energia a onde corte incidente giornaliera media per m^2 di oltre 6.8 kWh. Il mese più luminoso dell'anno è luglio, con una media di 8 kWh. Anche il periodo con maggior oscurità ha una durata di circa 3 mesi, dal 28 ottobre al 13 febbraio, con un'energia a onde corte incidente giornaliera media per m^2 di meno di 3,3 kWh. Il mese più buio dell'anno a Marsala è dicembre, con una media di 2,2 kWh.

Il grafico del diagramma solare soprastante indica il percorso del sole alla latitudine di $37^{\circ}48'$ e longitudine $12^{\circ}26'$ le quali corrispondono alle coordinate del lotto designato per l'inserimento dell'edificio.

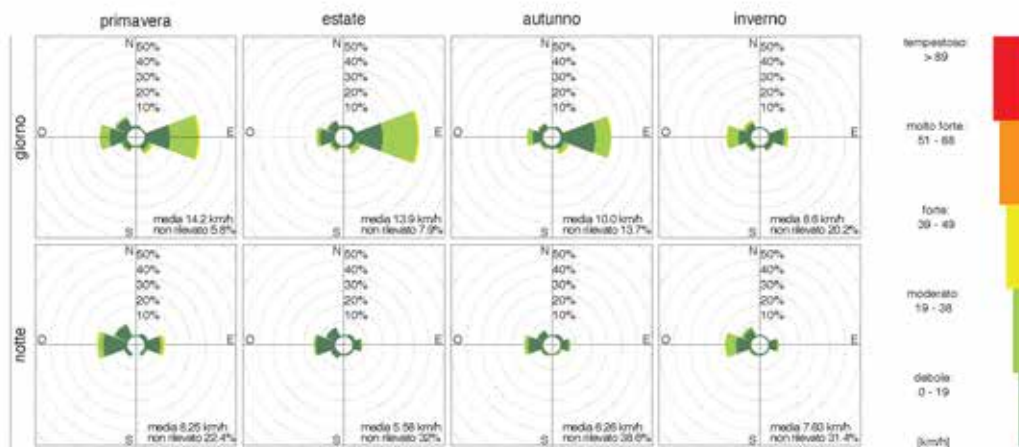
Nel riferimento polare, i raggi uniscono punti di uguale azimut, mentre le circonferenze concentriche punti di uguale altezza. Nel diagramma, le circonferenze sono disegnate con passo di 10° a partire dalla circonferenza più esterna (altezza = 0°) fino al punto centrale (altezza = 90°). Le linee che intersecano sia i cerchi sia i raggi indicano il percorso del sole durante ogni mese dell'anno.

Dallo stesso si può intuire come nei mesi invernali, i prospetti occidentale, orientale e meridionale del nostro edificio ricevano luce naturale, a differenza di quello settentrionale che, nei mesi indicati, rimane in ombra. A differenza di quanto analizzato in precedenza, nei mesi estivi anche le facce settentrionali godono del sole diretto.

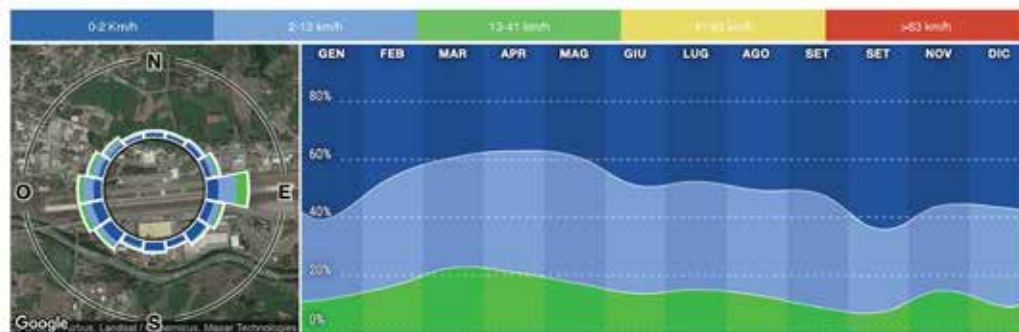
Fig. 4 – Tavola esemplificativa dell'analisi della radiazione solare. (Immagine di C. Bermond e A. Ruello)

1 caratteristiche climatiche

rosa dei venti - Saint Cristophe- Aeroporto



fonte: www.cf.regione.vda.it
periodo osservazione dati: 01.01.1980 - 31.12.2018



fonte: www.windfinder.com
periodo osservazione dati: 11.2015 - 11.2020 giornalmente dalle 7 alle 19 orario locale

regime del vento

I grafici rappresentano la frequenza delle osservazioni in funzione della provenienza dei venti, che vengono classificati in base all'intensità.

Si può osservare che nella stagione fredda e di notte i venti provenienti da ovest prevalgono con intensità debole e moderata, mentre di giorno e nella stagione calda prevalgono i venti provenienti da est più intensi.

Si deduce che i venti provengono prevalentemente dalle direzioni lungo est ed ovest. Questo dato è fortemente influenzato dalla morfologia del territorio.

Il secondo grafico mostra le intensità dei venti in relazione ai mesi dell'anno e la frequenza delle osservazioni in funzione della provenienza dei venti durante tutto l'anno. Dal confronto dei due grafici si possono ottenere le stesse osservazioni fatte precedentemente.

Di seguito viene riportata la scala Beaufort per avere misura dell'intensità dei venti tramite la descrizione.

scala Beaufort	descrizione	velocità [km/h]
0	calma	0 - 1
1	bava di vento	2 - 5
2	calma	6 - 11
3	bava di vento	12 - 19
4	brezza leggera	20 - 28
5	brezza fresca	29 - 38
6	vento fresco	39 - 49
7	vento forte	50 - 61
8	burrasca moderata	62 - 74
9	burrasca forte	75 - 88
10	tempesta	89 - 102
11	fortunaie	103 - 117
12	uragano	> 117

Fig. 5 – Tavola esemplificativa dell'analisi del regime dei venti. (Immagine di C. Cirabisi e G. Ferrucci)

- regime dei venti (Fig. 5):
 - » media mensile della velocità del vento;
 - » direzione prevalente mensile dei venti.

Dopo aver delineato il quadro di insieme inerente le caratteristiche climatiche dell'area prescelta, sono stati analizzati aspetti quali la morfologia e le peculiarità del sito, riducendo, così, la scala dell'oggetto delle analisi: dall'area geografica (caratterizzata dai dati climatici riportati dalle stazioni metereologiche) al lotto, analizzato nella sua conformazione altimetrica e nelle sue caratteristiche locali (presenza di vegetazione, ombreggiamento e regime dei venti locale). I principali dati raccolti in questa fase⁶ sono stati elaborati mediante un *software* BIM⁷ che ha permesso di ottenere una restituzione tridimensionale dell'area in cui è stato collocato l'edificio oggetto dell'attività progettuale; tale operazione ha permesso di estrapolare le informazioni inerenti la clivometria, l'orientamento medio dei pendii e le caratteristiche materiche del suolo circostante; analisi, quest'ultima, di fondamentale importanza per la valutazione delle peculiarità dell'area oggetto di intervento, in quanto consente di valutare aspetti quali l'albedo e la permeabilità del suolo, necessari per avere un quadro conoscitivo completo sull'area (Fig. 6).

L'analisi delle caratteristiche locali del sito è stata completata mediante l'ausilio di immagini satellitari, che hanno consentito lo studio della vegetazione presente nell'area⁸ e di come questa vada a influenzare l'ombreggiamento e il regime locale dei venti (Fig. 7); per queste ultime

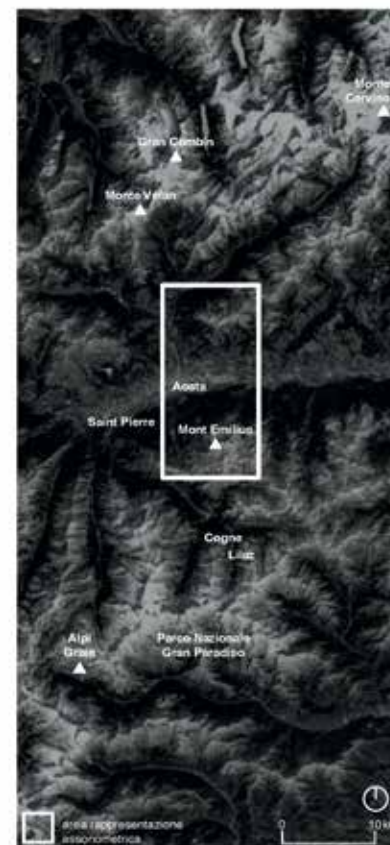
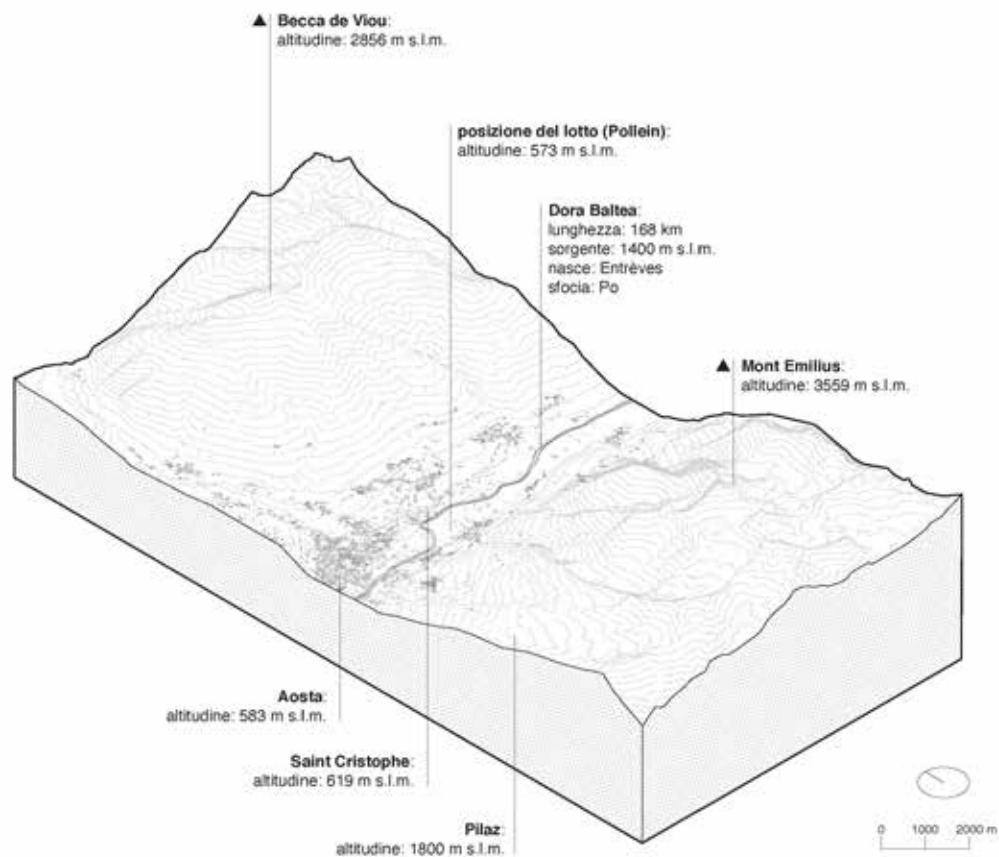
⁶ L'andamento altimetrico è stato delineato grazie all'utilizzo di programmi che impiegano immagini satellitari (Google Earth) e siti contenenti banche dati di file CAD (cadmapper.com) rappresentanti l'intera superficie terrestre.

⁷ Nell'esercitazione è stato utilizzato il software BIM Revit prodotto dall'azienda statunitense Autodesk.

⁸ Sono stati analizzati aspetti quali la disposizione nel lotto, l'altezza e, laddove possibile, le essenze presenti.

0 peculiarità del sito

orografia



gruppo 06: Chiara Cirabisi
Giuliana Ferrucci

corso di Progettazione sostenibile dell'architettura
A.A. 2020/2021

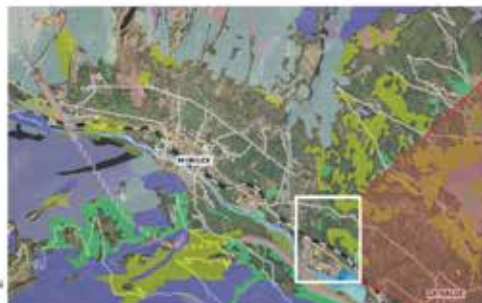
Fig. 6 – Tavola esemplificativa dell'analisi morfologica del suolo. (Immagine di C. Cirabisi e G. Ferrucci)



caratteristiche peculiari VEGETAZIONE E PRESSIONE ANTROPICA

Tipi forestali 2011

- Formazioni legnose riparie
- Altilivisti
- Querceti di roverella
- Querceti di rovere
- Castagneti
- Piante di pino silvestre
- Boscaglie pianure e d'invasione
- Alberi plantati e montani
- Aceri-tiglio-frassineti
- Faggete
- Alberici
- Piceete
- Piante di pino uncinato
- Lariceti e cedroni
- Arbusteti subalpini
- Arbusteti plantati, cespugli e montani
- Monteboscaglie



La **vegetazione** valdostana vanta la presenza di **circa 2000 specie diverse** (su un totale di 5600 varietà catalogate per l'intera flora italiana).

Il piano collinare, fino a 800 m, ospita, oltre ad alberi da frutto e vigneti, boschi di roverella e castagno.

Lungo la Dora Baltea, oltre ai canneti, si trovano ontani, ploppl e salici.

La **vegetazione arborea (latifoglie alle quote più basse)** evolve gradatamente con l'altitudine, dapprima in miscelanee con betulle ed aceri montani, quindi in popolazioni di aghifoglie; queste annoverano, fino a 2000 m, il raro e pregiato pino cembro dai lunghi aghi riuniti in fascette da 5. Tra le **conifere**, si trovano anche il pino montano e silvestre, l'abete bianco, con i suoi coni eretti e la corteccia bianco cinerina, e quello rosso, dai coni pendenti. Più alto di tutti è il larice, che, in autunno, assume una caratteristica colorazione giallo oro. Nel parco regionale del Mont Avic l'albero più diffuso è, invece, il pino uncinato.

Una particolare ricchezza botanica è osservabile sui terrazzi prativi alla fine di giugno, con la fioritura alpestre: compaiono le stelle alpine, piante protette, e gli astri. Sulle morene, varia è la flora rupicola, con ericacee, e ginepro nano. Particolare menzione meritano le varie specie di Artemisia, raccolti per la fabbricazione del **Génépy**, noto liquore valdostano.

Nel territorio di Perloz si segnala anche la presenza della "Peonia officinalis". La flora tipica delle aree umide può essere osservata non solo nei bacini lacustri, ma anche in aree torboscose e acquitrinose presenti in varie riserve naturali.

fonte: <https://mappe.regione.vda.it/pub>

Riserva naturale del Marais



Fonte: www.biodid.it

La **riserva del Marais** è costituita da un breve tratto di Dora Baltea e relativa piana alluvionale, si trova ad un'altezza di 890 m.s.l.m. tra i comuni di La Salle e Morgex ed è caratterizzata dalla **vegetazione** tipica degli ambienti ricchi d'acqua. È un rifugio per tutte quelle specie faunistiche e floristiche amanti dell'acqua, ormai molto rare, se non addirittura del tutto assenti nel resto della regione.

I bordi dello sbarramento sono fitti di canne, luogo di riparo e nidificazione per uccelli, anfibi e insetti. Poco lontano dall'acqua, una passerella pedonale permette di scoprire le caratteristiche del bosco igrofilo di ontano bianco, pressoché scomparso a livello regionale.



Legenda

- Corridoi ecologici
- Pressione antropica
- alta
- media
- bassa
- acqua
- altro

Fonte: ISPRA (2013) - AZERRE (2014)

Un **corridoio ecologico** è una particolare area verde, studiata ad-hoc per preservare specie animali e piante che vivono in quel tipo di habitat.

La funzione principale del corridoio ecologico è quella di permettere il passaggio graduale tra un **habitat** e un altro. Un esempio perfetto di corridoio ecologico, nella definizione classica, è quello di un fiume; quest'ultimo infatti preserva le specie ma funziona anche da confine netto per animali e vegetazione.

I corridoi ecologici hanno quindi diverse funzioni, dalla ripopolazione di determinate specie alla preservazione di piante ed elementi territoriali, altrimenti a rischio nella normale situazione urbana.



Progettazione sostenibile dell'architettura
anno accademico 2022-2023

gruppo 3
Valeria Capurro
Silvia Veltri

TAV.15

Fig. 7 – Tavola esemplificativa dell'analisi della vegetazione locale. (Immagine di V. Capurro e S. Veltri)



caratteristiche peculiari STUDIO DELLE OMBRE

Equinozio
AUTUNNO



ore 7.45 (30 minuti dopo l'alba)



ore 12.00



ore 19.02 (30 minuti prima del tramonto)

Solstizio
INVERNO



ore 8.38 (30 minuti dopo l'alba)



ore 12.00



ore 14.18 (30 minuti prima del tramonto)

Equinozio
PRIMAVERA



ore 7.00 (30 minuti dopo l'alba)



ore 12.00



ore 18.10 (30 minuti prima del tramonto)

Solstizio
ESTATE



ore 6.10 (30 minuti dopo l'alba)



ore 12.00



ore 20.54 (30 minuti prima del tramonto)



Progettazione sostenibile dell'architettura
anno accademico 2022-2023

gruppo 3
Valeria Capurro
Silvia Veltri

TAV.17

Fig. 8 – Tavola esemplificativa dell'analisi dell'ombreggiamento del lotto. (Immagine di V. Capurro e S. Veltri)

due analisi si è rivelato fondamentale l'uso del *software* BIM Revit che ha consentito di simulare l'ombreggiamento sul lotto prescelto durante l'intero anno, considerando l'effetto di eventuali ostacoli presenti nell'area (alberi, altri edifici, rilievi, ecc.) (Fig. 8).

2.3 Caratteristiche/scelte tipologiche

A seguito della valutazione delle caratteristiche ambientali, analisi imprescindibile nel processo di applicazione dei principi della progettazione sostenibile, gli studenti hanno affrontato il tema delle caratteristiche tipologiche. In questa nuova fase sono state analizzate quelle particolari scelte progettuali atte a garantire il mantenimento dei requisiti di benessere abitativo per gli utenti, nel rispetto dei principi di sostenibilità. Il primo aspetto analizzato è consistito nella determinazione dell'orientamento dell'edificio in funzione della radiazione solare; tale analisi ha consentito di valutare l'esposizione solare più compatibile con il clima dell'area in cui è stato collocato l'edificio. Per la suddetta operazione di ottimizzazione dell'orientamento, si è deciso di seguire un duplice approccio: uno analogico e uno digitale.

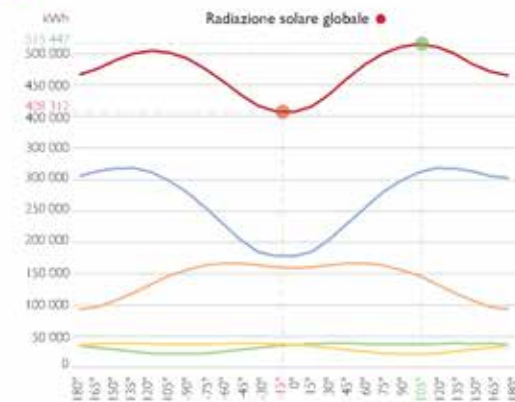
Il primo metodo si basa sull'impiego di un applicativo dell'*Atlante italiano della Radiazione Solare* (portale gestito dall'ENEA)⁹ che consente di calcolare la radiazione incidente su superfici inclinate al variare della loro esposizione, individuata dall'azimut solare; tali valori sono stati poi moltiplicati per il valore della superficie vetrata di ciascun prospetto dell'edificio oggetto di studio, al fine di associare l'effettivo apporto di radiazione solare a uno specifico orientamento (Fig. 9).

Nell'approccio digitale, le suddette analisi sul rapporto tra la radiazione solare incidente in funzione dell'orientamento dell'edificio oggetto di studio sono state svolte in ambiente BIM. A tal riguardo è stata utilizzata

⁹ Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile.

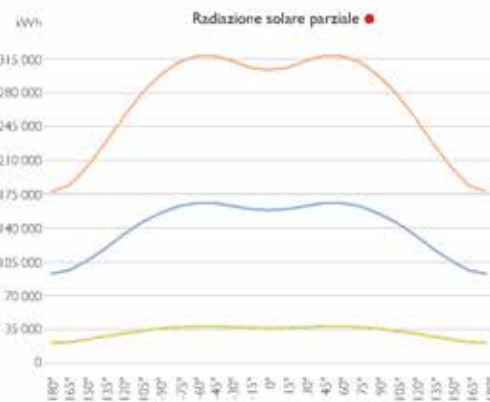
3.1.1 RADIAZIONE SOLARE

3.1 ORIENTAMENTO



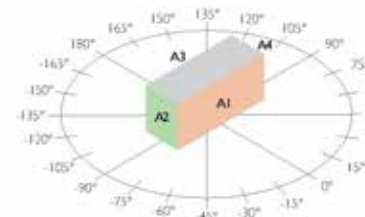
Irraggiamento dei singoli prospetti è da considerarsi rispetto all'orientamento di A1

■ A1 ■ A2 ■ A3 ■ A4 ■ TOTALE



Irraggiamento dei singoli prospetti è da considerarsi rispetto al proprio orientamento

■ A1 ■ A2 ■ A3 ■ A4



Schema rotazione prospettive
Ogni prospettiva presenta superfici vetrate

A1					A2					A3					A4					TOTALE	
Azimut	RGSA/mq	Sup. vetrata	RGSA	RGSA	Azimut	RGSA/mq	Sup. vetrata	RGSA	RGSA	Azimut	RGSA/mq	Sup. vetrata	RGSA	RGSA	Azimut	RGSA/mq	Sup. vetrata	RGSA	RGSA		RGSA
[°]	[kWh/m²]	[m²]	[kWh]	[kWh]	[°]	[kWh/m²]	[m²]	[kWh]	[kWh]	[°]	[kWh/m²]	[m²]	[kWh]	[kWh]	[°]	[kWh/m²]	[m²]	[kWh]	[kWh]		[kWh]
-180°	83%	110,8	92638,3	105	1314	25,6	33638,4	15	1440	212,4	30585,6	-90	1405	25,6	30968	460791,2					
-165°	870	110,8	96396	120	1202	25,6	30771,2	30	1478	212,4	312440,4	-75	1467	25,6	37555,2	477162,8					
-150°	941	110,8	104678,8	135	1079	25,6	27622,4	45	1496	212,4	317750,4	-60	1497	25,6	38223,2	480174,8					
-135°	1079	110,8	119553,2	150	964	25,6	24601,6	60	1497	212,4	317942,8	-45	1496	25,6	38292,6	500415,2					
-120°	1202	110,8	133181,6	165	870	25,6	22272	75	1467	212,4	311590,8	-30	1471	25,6	37657,6	504702					
-105°	1314	110,8	145591,2	180	836	25,6	21401,6	90	1405	212,4	298422	-15	1440	25,6	36664	502278,8					
-90°	1405	110,8	155674	180	836	25,6	21401,6	105	1314	212,4	279093,6	0	1426	25,6	36505,6	492674,8					
-75°	1467	110,8	162543,6	140	870	25,6	22272	120	1202	212,4	293304,8	15	1440	25,6	36664	476594,4					
-60°	1497	110,8	16867,6	150	964	25,6	24601,6	135	1079	212,4	229179,6	30	1471	25,6	37657,6	457506,4					
-45°	1496	110,8	168754,8	135	1079	25,6	25622,4	150	964	212,4	298164,6	45	1496	25,6	38292,6	435732,2					
-30°	1478	110,8	167954,8	120	1202	25,6	30771,2	165	870	212,4	184788	60	1497	25,6	38323,2	494682,8					
-15°	1440	110,8	157552	105	1314	25,6	33638,4	180	836	212,4	175564,4	75	1467	25,6	37555,2	460791,2					
0°	1426	110,8	158003,2	90	1405	25,6	35968	180	836	212,4	175564,4	90	1405	25,6	35968	457506,2					
15°	1440	110,8	159552	-75	1467	25,6	37555,2	165	870	212,4	184788	105	1314	25,6	33638,4	415533,6					
30°	1478	110,8	162865,8	-60	1497	25,6	38323,2	150	964	212,4	298164,6	120	1202	25,6	30771,2	436497,6					
45°	1496	110,8	168754,8	-45	1496	25,6	38292,6	135	1079	212,4	229179,6	135	1079	25,6	27622,4	460864,4					
60°	1497	110,8	16867,6	-30	1471	25,6	37657,6	120	1202	212,4	293304,8	150	964	25,6	24601,6	483431,6					
75°	1467	110,8	162543,6	-15	1440	25,6	36664	105	1314	212,4	279093,6	165	870	25,6	22272	500773,2					
90°	1405	110,8	155674	0	1426	25,6	36505,6	90	1405	212,4	298422	180	836	25,6	21401,6	512053,2					
105°	1314	110,8	145591,2	15	1440	25,6	36664	-75	1467	212,4	311590,8	180	836	25,6	21401,6	515447,6					
120°	1202	110,8	133181,6	30	1471	25,6	37657,6	-60	1497	212,4	317942,8	165	870	25,6	22272	511074					
135°	1079	110,8	119553,2	45	1496	25,6	38292,6	-45	1496	212,4	317550,4	150	964	25,6	24601,6	502020,8					
150°	964	110,8	104678,8	60	1497	25,6	37555,2	-30	1471	212,4	312440,4	135	1079	25,6	27622,4	484096,8					
165°	870	110,8	96396	75	1467	25,6	38323,2	-15	1440	212,4	30585,6	120	1202	25,6	30771,2	471346,4					
180°	836	110,8	92638,3	90	1405	25,6	35968	0	1426	212,4	303822,4	105	1314	25,6	33638,4	460117,6					

● <http://www.solaritaly.enea.it/Calcolgmmnci/Calcoli1.php>

ORIENTAMENTO E RADIAZIONE SOLARE MEDIANTE ENEA SOLARITALY

Attraverso il servizio di calcolo fornito da "Enea Solaritaly" si è preso in considerazione l'intero edificio, di cui sono stati numerati i prospetti (A1, A2, A3, A4) e si è calcolata la superficie vetrata di ogni prospetto basandosi sui disegni del progetto di partenza.

Si è valutata la radiazione incidente su ciascun prospetto variandone di volta in volta l'orientamento di 15°. Moltiplicando la superficie vetrata di ogni prospetto per i valori di radiazione globale annua espressi in kWh/m² si ottiene la radiazione solare incidente espressa in kWh.

Infine, sommando i risultati ottenuti per ogni prospetto, abbiamo individuato il valore di radiazione solare maggiore (evidenziato in verde), ossia

515 477,6 kWh, che corrisponde all'orientamento di A1 di 105°, rispetto all'azimut zero.

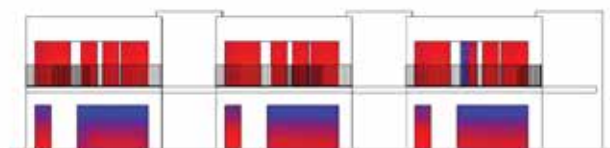
Absolutamente sfavorevole la rotazione -15°, a cui corrisponde una bassa radiazione solare pari a 408 312 kWh (evidenziato in rosso).

Fig. 9 – Tavola esemplificativa dell'analisi della radiazione solare incidente sull'edificio mediante l'applicativo EneaSolarItaly. (immagine di C. Bermond e A. Ruello)

l'estensione *Solar Analysis* disponibile per il *software* BIM Autodesk Revit, in grado di calcolare la radiazione solare incidente su una generica superficie dell'edificio, comprese le componenti dell'involucro trasparente; il principale vantaggio derivante da quest'ultima metodologia, rispetto al metodo analogico, è consistito nell'ottenere risultati più prossimi alla realtà, in quanto l'impiego di un modello digitale consente di tener conto dell'influenza della presenza di ostacoli esterni (edifici, vegetazione, rilievi, ecc...) oltre all'effetto ombreggiante derivante dalla forma dell'edificio stesso o dal posizionamento degli infissi rispetto all'involucro dell'edificio (Fig. 10). In entrambi i metodi, gli studenti hanno ottenuto un diagramma rappresentante l'andamento della radiazione solare globale annua¹⁰ incidente sulle superfici vetrate dell'edificio in funzione dell'orientamento di un prospetto scelto come riferimento, ottenendo, così, la posizione ottimizzante l'apporto della radiazione solare (Fig. 11).

L'orientamento prescelto è stato in seguito ulteriormente analizzato mediante una sua validazione rispetto al regime locale dei venti, valutando come questi vadano a impattare l'edificio oggetto di studio. In particolare, grazie all'ausilio di strumenti digitali interoperabili con *software* BIM è stato simulato l'andamento dei venti nella stagione invernale ed estiva. Gli studenti hanno valutato quali strategie progettuali adottare al fine di garantire il comfort degli utenti limitando, nel contempo, i consumi energetici (ad esempio la modifica dell'orientamento precedentemente ipotizzato o l'inserimento di alberature). A tal riguardo si è voluto garantire la massima permeabilità al vento nei mesi estivi, così da ottimizzare la ventilazione naturale e la conseguente azione rinfrescante; nel contempo, nei mesi invernali, si è deciso di massimizzare l'effetto schermante nei confronti dei venti freddi dato dalla presenza di ostacoli o dal particolare orientamento delle bucatore dell'involucro esterno dell'edificio, per limitare gli scambi termici con l'ambiente circostante, riducendo così i consumi legati al riscaldamento (Fig. 12).

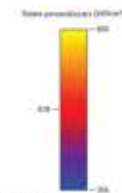
¹⁰ L'unità di misura adottata per tale parametro è il kWh/m².



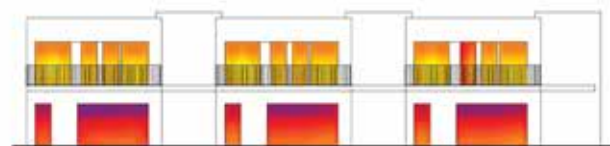
A2



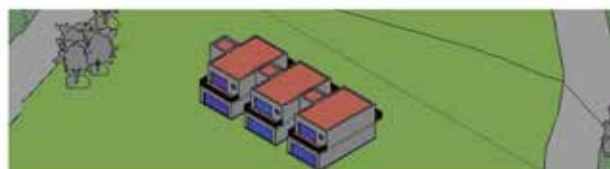
POSIZIONE: NORD-EST, AZIMUT 120°



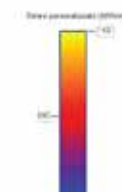
Prezzi del progetto: 70.800.000 (IVA al 9%) e 76.272.000 (IVA al 9%)
Dati a cui si riferisce lo studio: 01/01/2010-30/06/10
Data o anno di fine dello studio: 31/12/2010 23/09/10



A3



POSIZIONE: NORD, AZIMUT $\pm 180^\circ$



Riceviamo dal copyright: 76.683.2612.2366000 1.107702 Mar 06/94
 Data e ora di inizio della nostra sessione: 10/07/2019 00:00:00
 Data e ora di fine della nostra sessione: 27/10/2019 23:59:59

Docenti: Prof.ssa Archi. R. Morbiducci, Ing. V. Bonini, S. Polverino
GRUPPO 3: R. Forzenigo, C. Immordino, E. Oddone

Fig. 10 – Tavola esemplificativa sulla analisi della radiazione solare incidente sull'edificio mediante *software* Autodesk Revit. (Immagine di R. Forzenigo, C. Immordino e E. Oddone)

ANALISI IRRAGGIAMENTO REVIT

Dopo aver inserito il lotto nel sito considerando l'esposizione migliore, abbiamo ricavato le seguenti sezioni. Le prime tre, mostrano il posizionamento delle ville a schiera, mentre l'ultima rappresenta l'intero modello BIM che abbiamo creato.



Sezione A-A'



Sezione B-B'



Sezione C-C'



Sezione D-D'

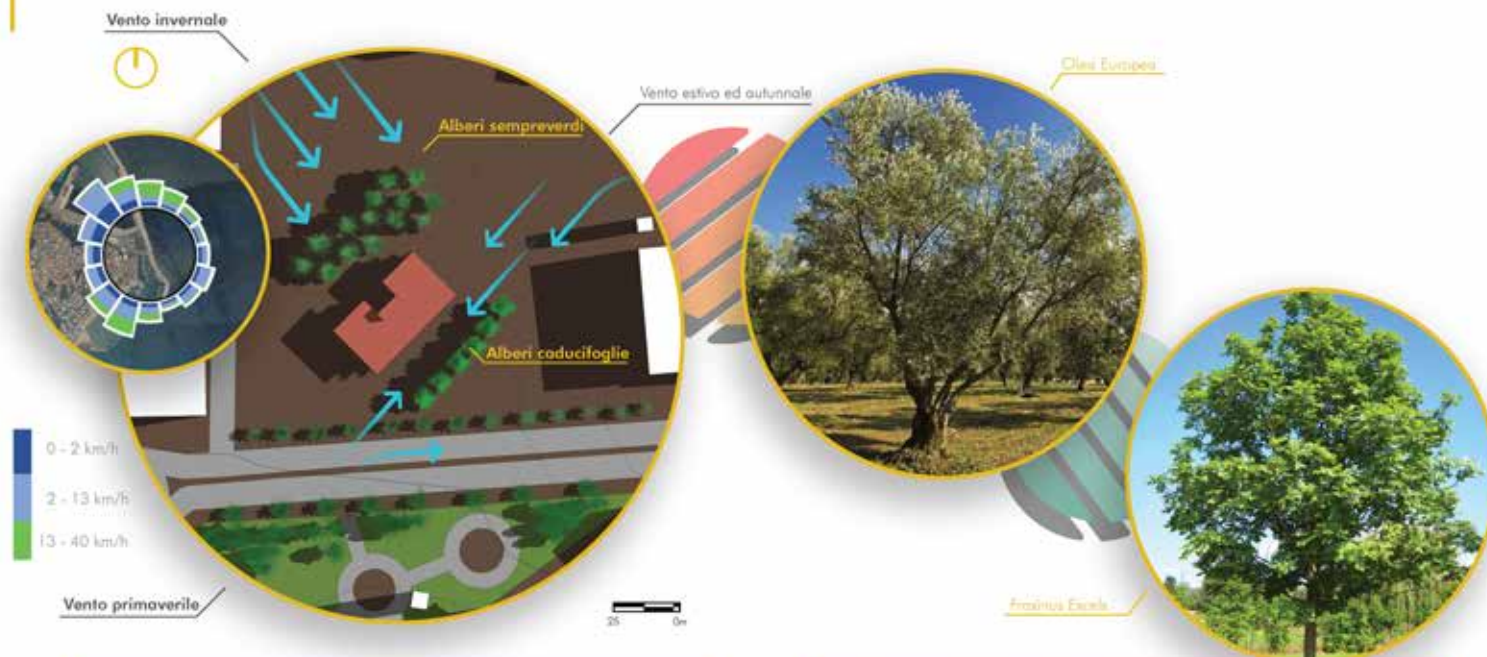


Università degli Studi di Genova
LM-4 Ingegneria Edile-Architettura

Corso di Progettazione Sostenibile dell'Architettura
Prof. Arch. Renata Morbiducci

Gruppo 2 : Elisa Del Franco, Alessia Piazza, Dario Salvarezza
Assistenti : Ing. Vittoria Bonini, Ing. Salvatore Polverino

Fig. 11 – Tavola esemplificativa sullo studio del posizionamento dell'edificio nel lotto mediante *software* Autodesk Revit. (Immagine di E. Del Franco, A. Piazza e D. Salvarezza)



L'aspetto del regime locale del vento è stato preso in considerazione sotto un duplice punto di vista. Da una parte si sfrutta la possibilità di poter indirizzare le brezze estive lungo le pareti esposte a Sud-Est e Sud-Ovest per mezzo di alberi caducifoglie che d'estate generino zone d'ombra sul terreno e d'inverno non ostacolano la radiazione solare che giunge con un angolo di incidenza minore. Dall'altra si è deciso di ridurre il carico termico dell'edificio davanti ai venti nord occidentali che, in media, spirano prevalentemente da dicembre a febbraio. Questo viene fatto piantando alberi sempreverdi che da una parte bloccano direttamente il flusso che lambisce la parete esposta a Nord-Est e allo stesso tempo impediscono la formazione di correnti che, deviate dalla fila di alberi a Est, potrebbero correre lungo le tre pareti dell'edificio comportando dispersioni di calore. Le soluzioni adottate funzionano tutto l'anno: i venti autunnali hanno direzione pari a quelli estivi e non vengono alimentati dagli

alberi spogli, quelli primaverili hanno influenza relativamente bassa perché smorzati dalla vegetazione già presente allo stato di fatto. La specie scelta per gli alberi sempreverdi è l'Olea (Olea Europea), presente sul territorio e tipico della macchia mediterranea. Per quanto riguarda la scelta degli alberi caducifoglie ci si è riferiti all'epoca di fogliazione e defogliazione delle varie specie. In particolare si è deciso di adottare alberi caratterizzati da epoca di defogliazione precoce (fino al 31 ottobre) in modo da evitare che questi alimentino i venti autunnali. L'epoca di fogliazione dovrebbe essere preferibilmente media o tardiva in modo da poter alimentare le brezze estive nei periodi effettivamente caldi. Queste peculiarità sono caratteristiche del Fraxinus comune (Fraxinus Excelsa) che, con un'epoca di fogliazione media (dopo il 1 aprile), corrisponde alla specie scelta per il lato sud-est.

Fig. 12 – Tavola esemplificativa dell'analisi del rapporto tra vegetazione e regime del vento. (Immagine di F. Campanini, C. De Nigris e M. Valentini)

Laddove non sia stato possibile ottimizzare l'orientamento secondo la suddetta strategia, sono stati impiegati dei sistemi di schermatura verde preferendo l'impiego di essenze caducifoglie: in estate con la loro chioma hanno una funzione ombreggiante, mentre nei mesi freddi massimizzano l'apporto della radiazione solare.

Infine, ulteriore parametro considerato ai fini della determinazione del migliore orientamento è stata la valutazione delle caratteristiche peculiari del sito e di come queste possano influenzare il benessere degli utenti, validando così quanto precedentemente individuato.

Altri aspetti analizzati relativi alle scelte tipologiche hanno riguardato caratteristiche quali il rapporto di forma S/V ¹¹ e la distribuzione degli spazi interni dell'edificio. In relazione a questi aspetti, fondamentale è stato l'apporto del modello BIM che ha consentito di delineare una rapida sintesi delle informazioni dimensionali consentendo la valutazione del grado di compattezza dell'edificio che, come noto, influenza notevolmente il comportamento energetico del sistema edilizio¹² (Fig. 13). Ulteriori analisi svolte sono consistite nell'evidenziare gli ambienti riscaldati all'interno dell'edificio, nello studio dell'organizzazione funzionale delle unità abitative e, infine, nel calcolo delle superfici vetrate per ogni singolo prospetto (Fig. 14).

2.4 Caratteristiche/scelte di dettaglio

L'ultima fase del percorso laboratoriale ha riguardato la definizione delle scelte di dettaglio; in tale momento, svolto interamente mediante l'utilizzo di *software* BIM, gli studenti hanno analizzato l'involucro

¹¹ Rapporto tra la superficie disperdente e il volume condizionato che consente di definire il grado di compattezza dell'edificio.

¹² C. Mitterer *et al.*, *Optimizing Energy Efficiency and Occupant Comfort with Climate Specific Design of the Building*, in «Frontiers of Architectural Research», 1, 3, 2012, pp. 229-35, <https://doi.org/10.1016/j.foar.2012.06.002>.



RAPPORTO SUPERFICI DISPERDENTI VOLUME RISCALDATO

Per effettuare il calcolo del rapporto tra le superfici disperdenti ed il volume riscaldato dell'edificio, come prima cosa sono state individuate, in pianta, le porzioni del progetto soggette a condizionamento invernale e/o estivo da quelle non soggette, ossia il vano scala ed i balconi. Il vano scala è situato parzialmente all'interno dell'edificio e ciò comporta che una parte di locali riscaldati entra in contatto con esso provocando, purtroppo, una maggiore dispersione di calore dell'edificio. Questa potrebbe essere diminuita nell'ipotesi in cui il vano scala fosse posizionato esternamente al volume totale dell'edificio, senza che si crei dunque un contatto tra le pareti interne dei locali riscaldati

con quelle del vano scala non riscaldato. Determinato dunque il valore totale della superficie disperdente dell'edificio è stato possibile rapportare questo risultato con il valore del volume riscaldato che, nel caso in oggetto, si tratta del volume ricompreso tra i due piani dell'edificio. Eseguendo questo rapporto si denota un risultato pari a $0,83 \text{ m}^1$, il quale simboleggia un valore relativamente alto. Un rapporto Superficie/Volume alto necessiterà di un isolamento molto maggiore per raggiungere buone prestazioni energetiche, fondamentali all'interno della progettazione sostenibile, in modo tale da garantire una continuità dell'involucro esterno.

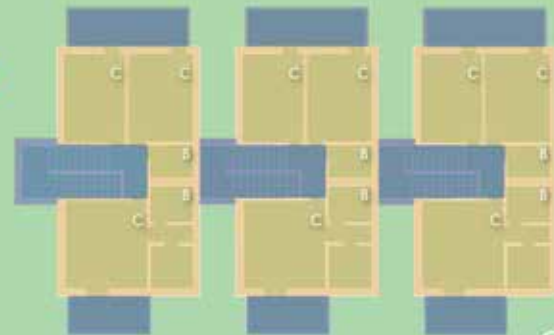
Superficie non riscaldata
Superficie riscaldata



PIANTA PIANO TERRA



Sotto tetto
Pareti
Solato controterra



PIANTA PRIMO PIANO

Superficie disperdente

m²

Sotto tetto

240.63

Pareti

200.37

Solato controterra

205.74

Tot. Superficie Disperdente

646.74

Totale volume riscaldato = 773.37 m^3

$$\frac{\text{Superficie disperdente}}{\text{Volume riscaldato}} = \frac{646.74 \text{ m}^2}{773.37 \text{ m}^3} = 0.83 \text{ m}^1$$

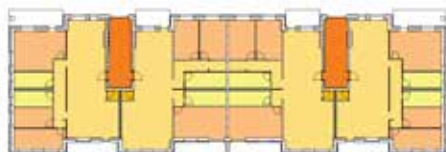
Fig. 13 – Tavola esemplificativa dell'analisi del rapporto tra superficie disperdente e volume riscaldato nell'edificio. (Immagine di M. G. Grosso e C. Rotelli)

3.2.1 DISPOSIZIONE DEI LOCALI E SUPERFICI VETRATE

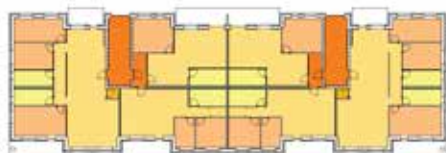
3.2 FORMA



Pianta del piano terra



Pianta del primo e terzo piano



Pianta del secondo piano

	Vano scala (m ²)	Cantine (m ²)	Locali tecnici (m ²)	Zona giorno (m ²)	Zona notte (m ²)	Bagni (m ²)
Piano terra	34,4	252,5	11,2	15,3	-	-
1° piano	34,4	-	-	180,6	170,8	35,4
2° piano	34,4	-	-	297,6	153,2	37
3° piano	34,4	-	-	280,6	170,8	35,4

Tabella metrature locali



Prospetto A1 - prospetto sud-est



Prospetto A3 - prospetto nord-est

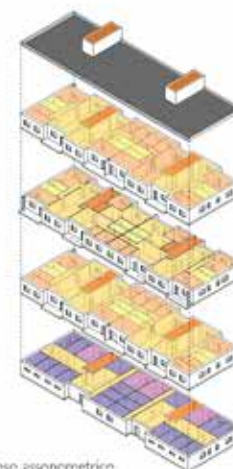


Prospetto A4 - prospetto nord-est

Prospetto A2 - prospetto sud-ovest

	Superficie vetrata (m ²)	Superficie opaca (m ²)	Superficie totale (m ²)	Superficie vetrata (%)
Prospetto A1	108	354	464	23,27
Prospetto A2	21	205	226	9,29
Prospetto A3	99	465	564	17,55
Prospetto A4	21	205	226	9,29

Tabella superfici vetrate - opache



Esplosio assonometrico

DISPOSIZIONE DEI LOCALI

Nella prima parte della presente tavola, sono riportati i livelli costruttivi dell'edificio ossia piano terra, primo e terzo piano, secondo piano.

Lo schema progettuale prevede due entità distinte, ma strutturate in un'unico edificio, che, pertanto, si caratterizza da due ingressi e due vani scala.

I piani analizzati sono adibiti a: locali cantine e vani tecnici al piano terra; quattro unità abitative al piano 1°-3°; sei unità al piano 2°.

Ciascun appartamento è suddiviso in zona giorno, comprensiva di cucina e soggiorno, e di una zona notte complete di servizi.

Nella prima tabella a margine, sono riportate tali suddivisioni con relative metrature.

SUPERFICI VETRATE

Nella seconda parte vengono riportati i prospetti dell'edificio nei quali sono state evidenziate le superfici vetrate e nella successiva tabella sono state indicate le relative quotature.

Fig. 14 – Tavola esemplificativa dell'analisi della distribuzione degli spazi interni e delle superfici vetrate. (Immagine di C. Bermond e A. Ruello)

edilizio optando per una serie di scelte progettuali finalizzate a una sua ottimizzazione in chiave sostenibile.

In primo luogo, partendo dal progetto sviluppato nel corso di Architettura Tecnica, il modello elaborato durante le precedenti fasi è stato ulteriormente completato inserendo informazioni inerenti la definizione stratigrafica dei singoli elementi costruttivi; in questa fase, inoltre, gli studenti hanno definito i materiali costituenti l'involucro edilizio, scegliendo tra le diverse soluzioni presenti sul mercato, privilegiando scelte sostenibili dal punto di vista ambientale (predilezione per materiali locali ed ecocompatibili) ed economico (Fig. 15).

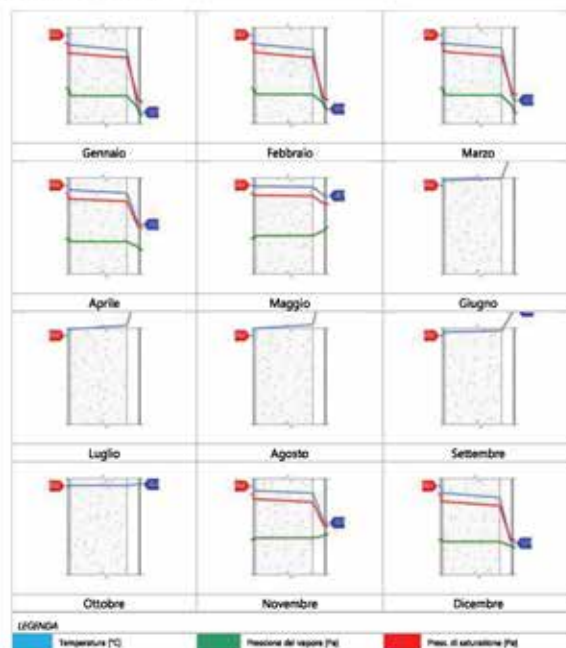
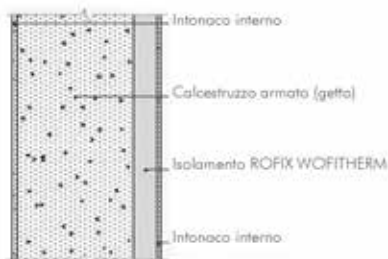
Ai fini di una maggiore definizione delle strategie atte all'efficientamento energetico dell'edificio, le scelte di dettaglio, operate precedentemente, sono state validate mediante l'impiego di un *software* BEM¹³ (Fig. 16). In particolare, si è verificato l'intero involucro edilizio secondo la normativa vigente nel territorio all'interno del quale è stata collocata la costruzione, andando ad analizzare le singole componenti edilizie ed elementi di criticità quali i ponti termici. Per quest'ultimo aspetto, sono state effettuate analisi agli elementi finiti (FEM) sui singoli punti di debolezza dell'involucro edilizio, arrivando così alla definizione della soluzione di dettaglio più performante (Fig. 17).

Infine, le suddette operazioni hanno portato alla definizione del modello BIM completo contenente tutte le stratigrafie adottate a seguito dell'analisi energetica e ulteriormente arricchito con elaborati grafici atti alla definizione dei nodi costruttivi inerenti i punti di maggiore criticità dell'organismo edilizio (ad esempio, intersezione tra primo calpestio involucro esterno, nodo trave perimetrale-tamponatura-solaio intermedio, nodo copertura-tamponatura verticale, ecc...); tale operazione è stata principalmente finalizzata all'offrire

¹³ BEM: Building energy model. Il software impiegato è *Termolog*, sviluppato dalla Logical Soft.

ELEMENTI COSTRUTTIVI

M8 (vano scala)



MODELLO BEM

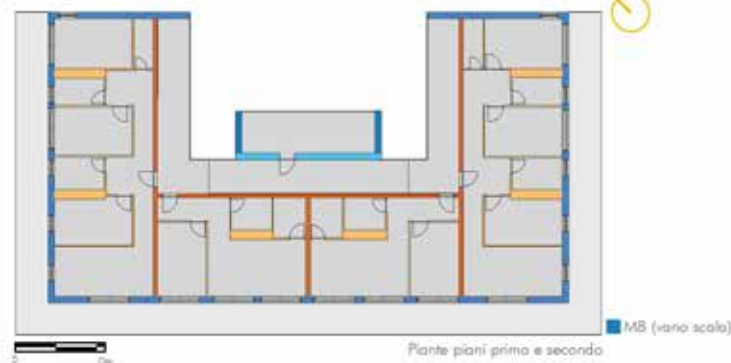
Spessore	380,0 mm	Trasmittanza	0,506 W/m ² K
Resistenza	1,977 m ² K/W	Massa superf.	727 kg/m ²
Tipologia	Parete		
Descrizione			

STRATIGRAFIA

	Strato	Spessore h mm	Conduttività λ W/(mK)	Resistenza R m ² K/W	Densità ρ Kg/m ³	Capacità C kJ/(kgK)	Fattore μ
	Aciduttanza interna (flusso orizzontale)	-	-	0,130	-	-	-
A	Intonaco interno	10,0	0,700	0,014	1.400	1,00	11,1
B	Calcestruzzo armato (getto)	300,0	1,910	0,157	2.400	1,00	999.999,0
C	Isolamento ROFIX WOFITHERM	60,0	0,037	1,622	110	2,10	3,0
D	Intonaco interno	10,0	0,700	0,014	1.400	1,00	11,1
	Aciduttanza esterna (flusso orizzontale)	-	-	0,040	-	-	-
	TOTALE	380,0	-	1,977	-	-	-

VERIFICA DI TRASMITTANZA - LIMITI RELATIVI ALLA NORMATIVA NAZIONALE LEGGE 90

Comune	Crotone
Zona climatica	B
Trasmittanza	0,506 W/m ² K
Trasmittanza limite	0,800 W/m ² K
Esito della verifica	OK

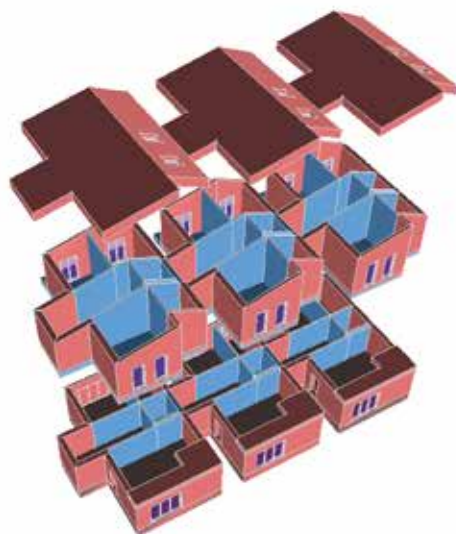


M8 è il tamponamento del vano scala, costituito principalmente da un getto di calcestruzzo armato e dotato di uno strato isolante ai fini del rispetto delle verifiche termo-igrometriche eseguite dal software

Fig. 15 – Tavola esemplificativa dell'analisi sulle stratigrafie degli elementi costruttivi dell'edificio oggetto di studio. (Immagine di F. Campanini, C. De Nigris e M. Valentini)

4 analisi energetica in BEM

verso di dispersione



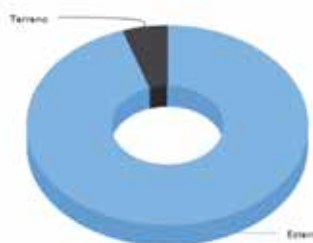
esterno
interno alla zona
terreno

calcolo e verifica del coefficiente medio globale di scambio termico $H'T$

- Scambi termici per tipologia [W/K] / Intero edificio



- Scambi termici per verso [W/K] / Intero edificio



fonte: Termolog

Come detto in precedenza, lo studio delle caratteristiche dei materiali è stato fondamentale per elaborare le stratigrafie, in seguito dettagliate: a tale scopo ha avuto grande rilevanza la consultazione delle schede tecniche commerciali dei prodotti.

Dal momento che il progetto è stato collocato in un sito specifico a cui corrispondono dei requisiti minimi normati, si è resa necessaria la modifica dei materiali e dei relativi spessori rispetto agli elementi costruttivi di base. Ad esempio, in considerazione del fatto che il progetto si colloca in zona climatica E, è stato aumentato lo spessore dell'isolamento termico per tutti gli elementi dell'involucro. Per le verifiche si fa riferimento alla Normativa Nazionale: L. 90/2013 - D.M. (Requisiti Minimi).

L'edificio, come evidenziato nello schema a sinistra, è privo di zone non riscaldate all'interno; gli elementi confinanti con l'esterno, facenti parte dell'involucro, sono la copertura, il solaio controterra, il soffitto della parte terrazzata e i muri perimetrali.

Nei diagrammi a torta sulla destra, si può osservare la sintesi delle analisi compiute con l'impiego del coefficiente $H'T$ - che fornisce la misura della trasmittanza termica globale -, la cui verifica risulta soddisfatta in relazione alle singole unità immobiliari e all'intero edificio (cfr. tabella in basso).

Dai grafici si evince principalmente che - nel calcolo dello scambio termico - le pareti hanno rispetto agli altri elementi una incidenza molto alta (circa la metà), seguite in percentuale dai serramenti.

Nelle pagine seguenti sono riportate:

- le stratigrafie di ciascun elemento costruttivo con le relative caratteristiche energetiche e le verifiche termiche e alla condensa

- la verifica dei più importanti ponti termici con le relative verifiche della trasmittanza lineica e della muffa.

dati generali		calcolo e verifica del coefficiente medio globale di scambio termico HT			
indirizzo		unità immobiliare	A netta	HT	HT limite
	comune: Polisti (AO)				
intervento		unità immobiliare 01	465.18	0.229	0.5
	normativa: normativa nazionale L. 90/2013 - D.M. Requisiti Minimi	unità immobiliare 02	456.47	0.232	0.5
	tipo di intervento: nuova costruzione	unità immobiliare 03	453.99	0.234	0.5
	uso prevalente: abitazioni adibite a residenza con carattere continuativo	intero edificio	1375.54	0.232	0.5

gruppo 06: Chiara Cirabisi
Giuliana Ferrucci

corso di Progettazione sostenibile dell'architettura
A.A. 2020/2021

Fig. 16 – Tavola esemplificativa dell'analisi BEM sull'edificio oggetto di studio. (Immagine di C. Cirabisi e G. Ferrucci)

PONTE TERMICO - INCROCIO A T M1 - M5

DETTAGLIO DEI MATERIALI

Materiale	λ [W/mK]
1 Rasante + collante Rofix Unistar Light	0,360
2 Isolamento ROFOX WORTHERM	0,037
3 laterizio 25x30x25	0,192
4 Intonaco interno	0,700
5 Rasante + collante Rofix Unistar Light	0,360
9 Rasante + collante Rofix Unistar Light	0,360
12 Intonaco interno	0,700
14 laterizio B X 25 X 25	0,213
15 pannello fonotermoisolante	0,035
16 Aria 200 mm (flusso orizzontale, aperture 500 - 1500 mm ²)	2,220
17 pannello fonotermoisolante	0,035
18 laterizio B X 25 X 25	0,213

DETTAGLIO DEI CONFINI

Confine	T [°C]	R [m ² K/W]
1 Temperatura esterna: direzione orizzontale del flusso	10,5	0,04
2 Temperatura interna: direzione orizzontale del flusso	20,0	0,13
3 Temperatura interna: direzione orizzontale del flusso	20,0	0,13
4 Temperatura interna: direzione orizzontale del flusso	20,0	0,13
5 Temperatura interna: direzione orizzontale del flusso	20,0	0,13

DETTAGLIO DI PRESSIONE E TEMPERATURA VALUTATI LUNGO TUTTO L'ARCO DELL'ANNO

Mese	Te [°C]	qe [%]	Pe [Pa]	Δp [Pa]	Pi [Pa]	Psi [Pa]	Tsi [°C]	Ti [°C]	Rsi
dicembre	13,00	91,1	1.363,7	348,5	1.712,2	2.140,3	18,59	20,00	0,7982
gennaio	10,50	80,7	1.024,1	437,3	1.461,4	1.826,7	16,08	20,00	0,5875
febbraio	10,90	86,5	1.127,4	423,1	1.550,4	1.938,0	17,01	20,00	0,6716
marzo	12,00	75,7	1.061,2	384,0	1.445,2	1.806,5	15,91	20,00	0,4883

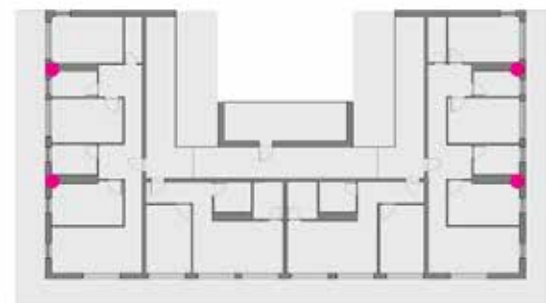
RISULTATI DI CALCOLO

Flusso Φ	6,82	W/m
Ψ interno	0,1064	W/mK
Ψ esterno	-0,0058	W/mK
Coefficiente di accoppiamento L2D	0,72	W/mK
Temperatura minima	19,3	°C

Te temperatura esterna media mensile [°C]
 qe umidità relativa esterna [%]
 Pe pressione esterna [Pa]
 Δp variazione di pressione [Pa]
 Pi pressione interna [Pa]
 Psi pressione di saturazione interna [Pa]
 Tsi temperatura superficiale interna [°C]
 Rsi fattore di resistenza superficiale

ESITO DELLA VERIFICA DI ASSENZA DI MUFFA

Fattore di resistenza superficiale nel mese critico fRsi	0,932
Fattore di resistenza superficiale nel mese critico fRsiAmm	0,798
Mese critico	Dicembre
ESITO VERIFICA DI CONDENSA SUPERFICIALE	fRsi > fRsi,max: assenza di muffa



Ponte termico - incrocio a T M1 - M5

Piante piani primo e secondo



Fig. 17 – Tavola esemplificativa dell'analisi FEM sui ponti termici nell'edificio oggetto di studio. (Immagine di F. Campanini, C. De Nigris e M. Valentini)

agli studenti una piena comprensione dei processi di realizzazione in cantiere dell'opera edile (Fig.18).

Il percorso laboratoriale mostrato nel presente paragrafo testimonia il legame che sussiste tra l'adozione di scelte progettuali sostenibili e una completa digitalizzazione del processo edilizio. In particolare, si è voluto trasmettere agli studenti un esempio di iter progettuale atto a dimostrare come l'impiego di un software BIM sia un metodo e uno strumento di fondamentale supporto all'applicazione dei principi di una corretta progettazione sostenibile.

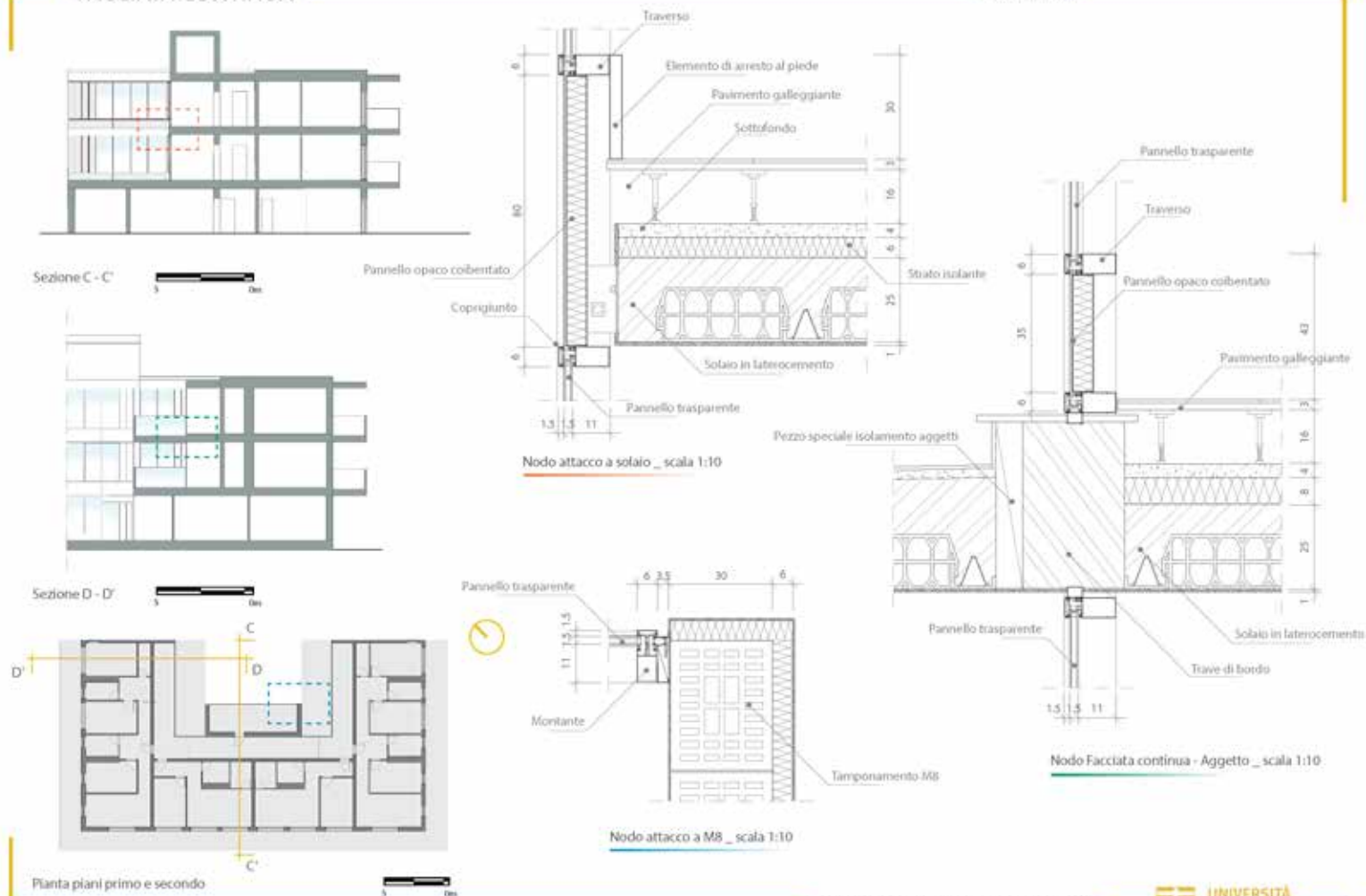


Fig. 18 – Tavola esemplificativa dello studio dei particolare costruttivi realizzata su *software* Autodesk Revit. (Immagine di F. Campanini, C. De Nigri e M. Valentini)

3. Edificio esistente

Clara Vite, Renata Morbiducci

3.1 Introduzione del caso presentato

Il secondo caso studio riguarda l'esempio di un edificio singolo destinato a scuola. Nello specifico è stato scelto lo studio realizzato sulla Villa Masnata, succursale della Scuola Secondaria Nicolò Barabino situata a Genova Sampierdarena. Il lavoro è stato realizzato nell'a.a. 2015-2016 durante il Laboratorio del Corso di Architettura e Ambiente nell'ambito del Corso di Laurea in Ingegneria Edile-Architettura.

Docente: Clara Vite

Studenti: Berrino Paola, D'Amico Giulia, Mortola Emanuele Aldo,
Muscarella Elena, Sorce Beatrice.

3.2 Stato di fatto

L'edificio oggetto dello studio è una villa situata nel Comune di Genova che è stata commissionata nel 1613 dal nobile Paolo Maria Serra all'architetto Bartolomeo Bianco al fine di creare un palazzo di grande magnificenza e facile raggiungibilità, agibile sia d'estate come villeggiatura che d'inverno come fuga dallo stress cittadino.

Da una carta incisa nel 1708 la villa risulta priva delle ali laterali mentre in una successiva, datata 1757, compare la terrazza di ponente,

3. Edificio esistente



Fig. 1 – Inquadramento del caso studio.



Fig. 2 – Vista d'insieme del caso studio.

che sarà poi abbassata durante il restauro comunale con la contemporanea erezione della controlaterale a levante.

Tra il 1740 e il 1750, la villa divenne proprietà della famiglia Doria e in quel periodo vi soggiornò il marchese Antonio Botta Adorno, generale degli austriaci, essendo l'edificio luogo ben difendibile e adatto ad ospitare i soldati.

La villa rimase di proprietà dei Doria fino ai primi anni dell'Ottocento quando subentrò il nobile Giuseppe Masnata, da cui deriva il nome attuale del palazzo. Egli accettò la proposta del sindaco di farne il primo ospedale cittadino.

Il padiglione della villa venne destinato alla chirurgia, al secondo piano si trovavano invece le sale di medicina, mentre i sotterranei erano occupati dalle cucine. Fu necessaria un'importante opera di ristrutturazione, durante la quale l'ala a terrazzo, posta a ponente, fu abbassata; sulla facciata fu dipinto, sopra al portone d'ingresso, lo stemma della città di San Pier d'Arena, e nell'interno, per la destinazione a reparti, scomparve la cappella privata. Nel 1934 la Soprintendenza alle Belle Arti pose vincolo e tutela sull'immobile. Nel 1935 il piano nobile fu occupato dalla Biblioteca comunale. Nelle altre stanze aveva trovato collocazione, a partire dal 1933, il regio Liceo classico intitolato a G. Mazzini. Per esigenze di spazio e di prestigio, la dirigenza del Liceo nel 1939 riuscì a far traslocare di nuovo la biblioteca ed occupare interamente lo stabile.

Nel 1957 il palazzo tornò in mano al Comune, e divenne, oltre che la sede del Liceo classico Mazzini, anche quella di un asilo ed infine di una succursale della scuola media statale di 1° grado Nicolò Barabino.

3.2.1 Caratteristiche/scelte ambientali

La Villa Masnata si trova, in linea d'aria, a 600 m dal mare e a 300 m dalla collina Belvedere di Sampierdarena; la sua altezza sul livello del mare è di 10 m.

L'edificio si trova in un ambiente urbanizzato ed è delimitato a Nord da un lotto verde, a Ovest da un edificio poggianti sulla facciata,

3. Edificio esistente

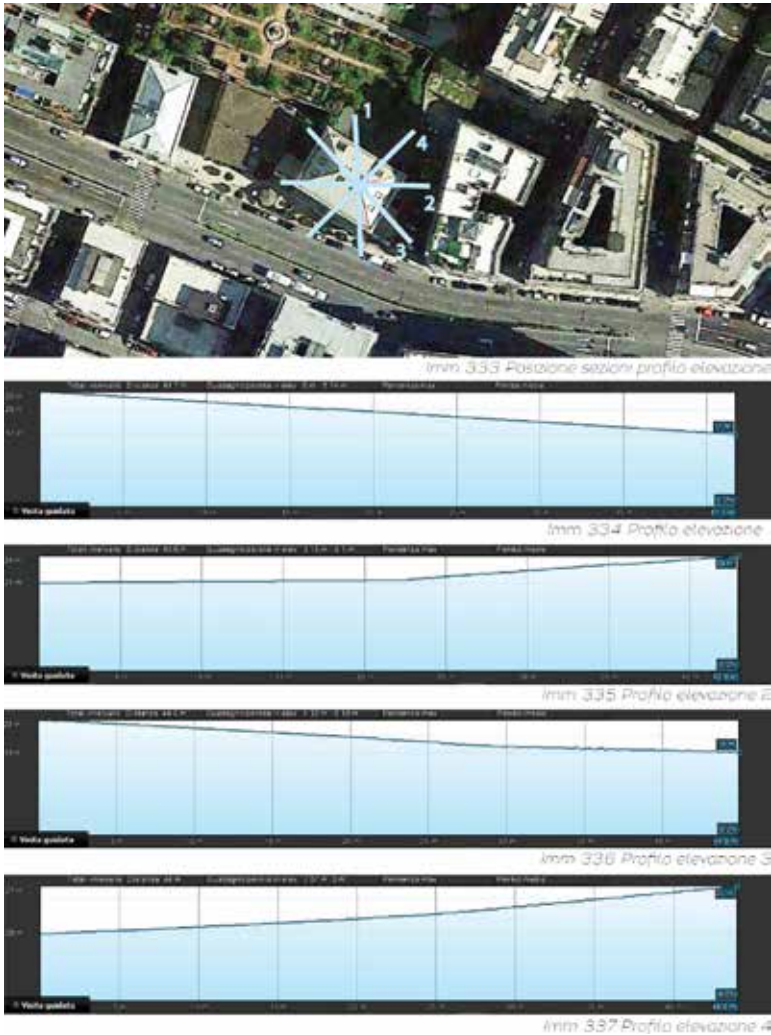


Fig. 3 – Studio del profilo altimetrico del sito in cui si trova il caso studio.

ad Est da una piccola stradina che lo divide da un ulteriore edificio e, a Sud si affaccia su Via Cantore, un'arteria principale del tessuto urbano.

La zona non presenta una significativa pendenza, come si può constatare dall'andamento altimetrico del terreno (Fig. 3).

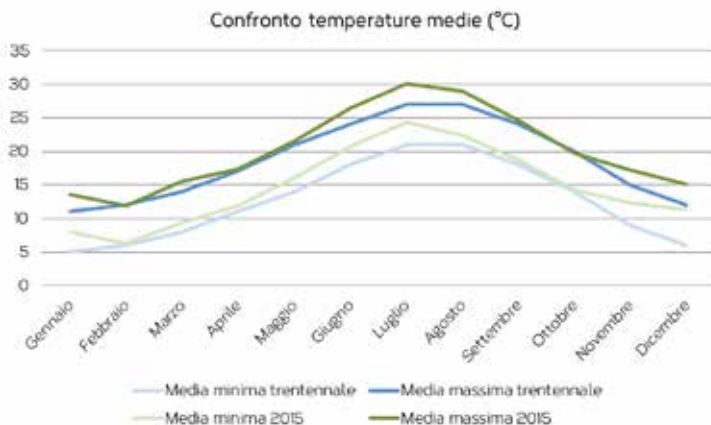


Fig. 4 – Grafico delle temperature medie del sito.

I fattori fondamentali che condizionano il clima della città di Genova sono l'immediato ed esteso contatto con un mare aperto e profondo, l'esposizione a mezzogiorno e la presenza di una catena montuosa a protezione dai venti settentrionali. Secondo la classificazione di Köppen, l'Italia è compresa nella macro-zona climatica temperata C. Fattori peculiari di tale zona sono le precipitazioni del mese estivo più secco inferiori a 30 mm e la temperatura media del mese più caldo superiori a 22 °C.

All'interno di tale quadro generale che pare assimilare i climi di Genova a quelli di tante altre città italiane, sono tuttavia presenti alcuni fattori peculiari che, seppur sporadici e di limitata estensione spazio/temporale, caratterizzano fortemente la meteorologia della città, arrivando talvolta a condizionare le attività dell'uomo. Fra tali fattori spicca la distribuzione delle precipitazioni e le temperature più basse dell'anno si verificano sempre in giornate con forti venti settentrionali.

Sulla base della suddivisione nazionale realizzata in funzione dei gradi-giorno (GG) e riportata nel DPR 412/93, il comune di Genova appartiene alla fascia D con 1435 GG.

È stato poi condotto uno studio di dettaglio, analizzando i valori medi annuali e trentennali delle caratteristiche climatiche proprie del sito di cui si riportano in seguito dei grafici di sintesi.

3. Edificio esistente

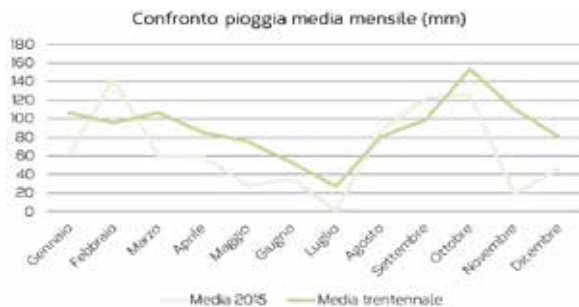


Fig. 5 – Grafico delle precipitazioni medie del sito.

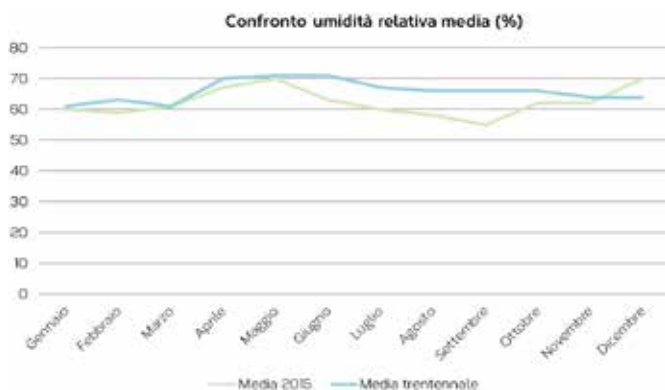


Fig. 6 – Grafico dell'umidità media del sito.



Fig. 7 – Grafico del regime dei venti annuale del sito.

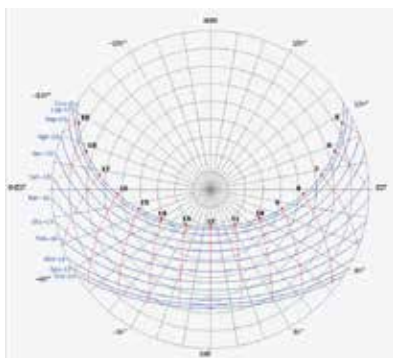


Fig. 8 – Diagramma solare polare del sito.

3.2.2 Caratteristiche/scelte tipologiche

Dopo aver studiato le caratteristiche ambientali del sito nel quale si trova il caso studio, si è passati all'analisi delle caratteristiche tipologiche di cui si riporta una sintesi qui di seguito.

Orientamento

È stato utilizzato il sito web www.solaritaly.enea.it sviluppato da ENEA contenente l'Atlante italiano della radiazione solare per studiare il rapporto dell'orientamento dell'edificio in relazione al sole. All'interno del sito sono disponibili alcuni strumenti di calcolo che permettono di analizzare la radiazione solare in relazione ai diversi orientamenti e inclinazioni delle superfici captanti. I dati necessari per tutti gli strumenti di calcolo presenti sul sito sono:

- latitudine e longitudine;
- azimut, angolo di elevazione del sole;
- albedo, coefficiente di riflessione;
- inclinazione rispetto al piano orizzontale, nel caso di superfici verticali.

Attraverso queste informazioni è stato possibile studiare l'irraggiamento solare sulla copertura (Fig. 9) e sui quattro prospetti (Fig. 10). È stato poi impiegato anche il *software* Autodesk Revit per realizzare lo studio dell'irraggiamento solare sul modello 3D (Fig. 11).

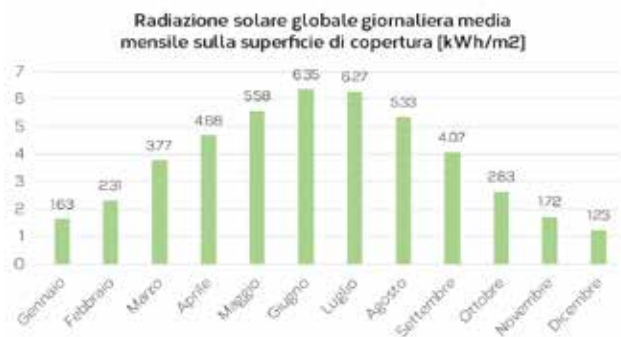


Fig. 9 – Radiazione solare sulla superficie di copertura.

3. Edificio esistente

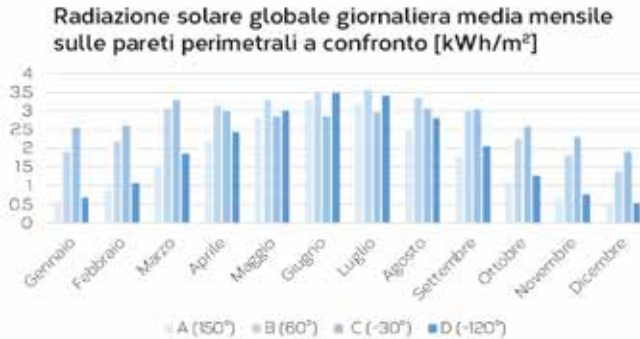


Fig. 10 – Radiazione solare sui prospetti.

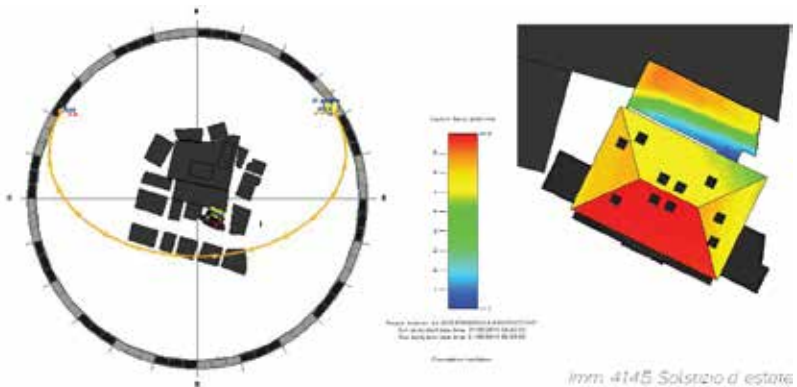


Fig. 11 – Studio dell'irraggiamento solare realizzato con Autodesk Revit.

Un altro aspetto per valutare l'orientamento è quello di studiarne la relazione con il regime del vento. Per fare questa analisi è stato utilizzato il modello Revit sul programma «Flow Design» che permette di generare una galleria del vento virtuale. È necessario inserire il modello 3D comprensivo del contesto che circonda l'edificio e impostare la direzione e la velocità del vento prevalente che risultano essere Nord-Est e 4,1 m/s.

Dalla simulazione si può osservare il flusso di vento che interessa l'intorno dell'edificio in esame e i differenti colori indicano la velocità e la pressione che il vento esercita sulle superfici (Fig. 12).

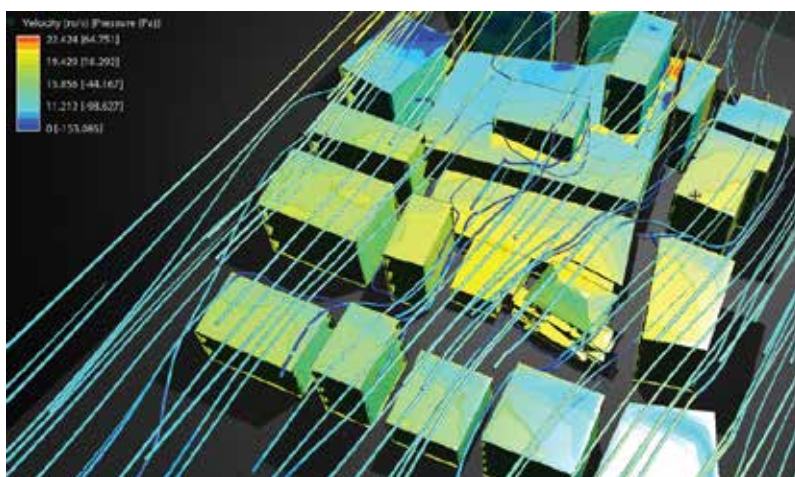
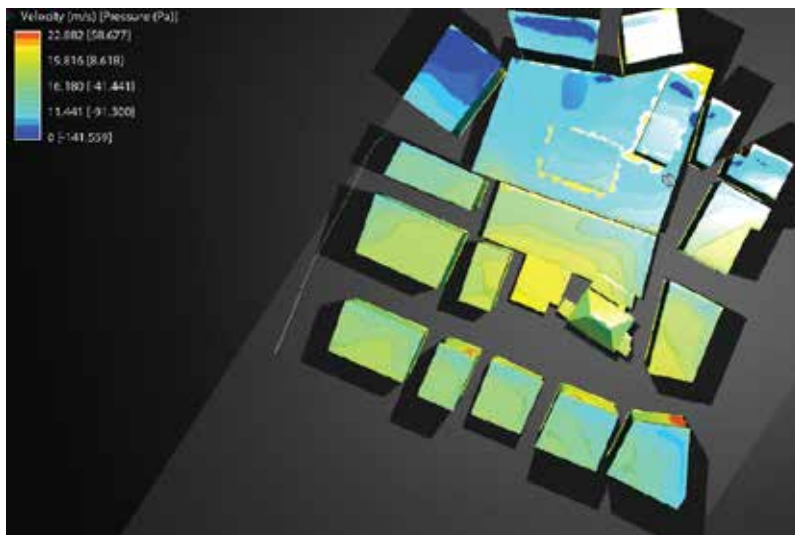


Fig. 12 – Immagini dello studio del vento realizzato con Flow Design.

Si può notare come il vento si incanali tra gli edifici retrostanti la scuola, andandola a colpire perpendicolarmente alla sua facciata Nord-Est, e creando delle criticità nella zona immediatamente ad Ovest.

Distribuzione spazi interni

La distribuzione delle diverse funzioni e dei relativi spazi d'uso influisce significativamente sulla condizione di comfort abitativo. È utile quindi lo studio della distribuzione interna per valutare se è possibile ottimizzare e sfruttare al meglio gli apporti di calore invernale, il raffrescamento naturale estivo e lo sfruttamento della luce naturale diurna.

A seconda delle zone climatiche sono suggerite diverse soluzioni e, per gli edifici situati nelle zone temperate, come quella in esame, è ottimale che i locali in cui si svolgono la maggior parte delle attività siano verso Sud, mentre a Nord i locali di servizio e di limitata permanenza, e ad Est, Ovest e centro le zone di filtro.

Con tale logica è stato analizzato il caso studio e di seguito vengono riportate le funzioni d'uso divise per piano e i relativi elaborati grafici esplicativi:

- nel seminterrato sono presenti tutti locali in disuso (Fig. 13);
- il piano primo è caratterizzato da un atrio centrale a doppia altezza con annesso un locale adibito ad ufficio e poi vi è la sala professori; i locali di servizio sono collocati a Nord-Est e ad Ovest vicino al vano scala, a Nord-Ovest la palestra; i vani restanti sono aule didattiche (Fig. 14);
- nella pianta del primo ammezzato vi è al centro un vuoto sul vano sottostante al piano primo e Nord-Ovest proseguono le scale (Fig. 15);
- al piano secondo si trova la biblioteca centrale in corrispondenza dell'atrio del primo piano e le aule studio intorno (Fig. 16);
- nell'interpiano sono situati i servizi (Fig. 17);
- nel secondo ammezzato e sottotetto vi sono solo aule e i servizi a Nord-Ovest (Fig. 18).

Rapporto S/V

Il rapporto tra superficie disperdente (S) e volume della costruzione (V) è un parametro che quantifica la compattezza dell'edificio. A parità di altre caratteristiche, tanto più è basso tale valore tanto più la costruzione risulta compatta e dunque più efficiente dal punto di vista energetico.



Fig. 13 – Pianta del seminterrato.

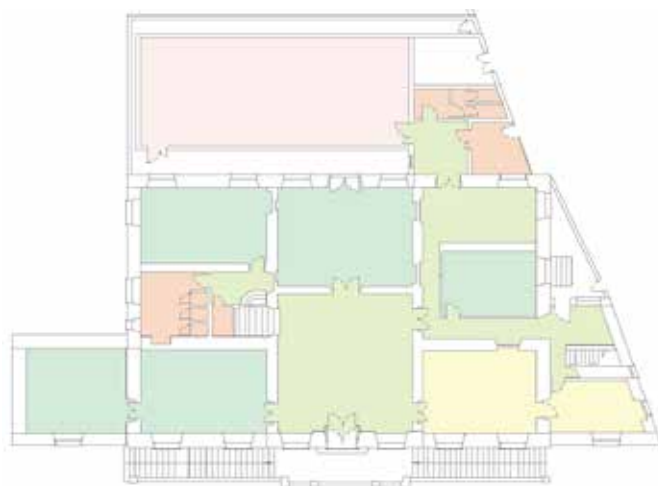


Fig. 14 – Pianta del piano primo.

3. Edificio esistente



Fig. 15 – Pianta del piano ammezzato.

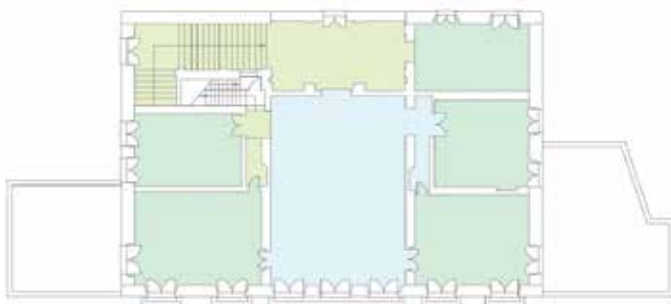


Fig. 16 – Pianta del piano secondo.



Fig. 17 – Pianta dell'interpiano.

Fig. 18 – Pianta del piano ammezzato e sottotetto.

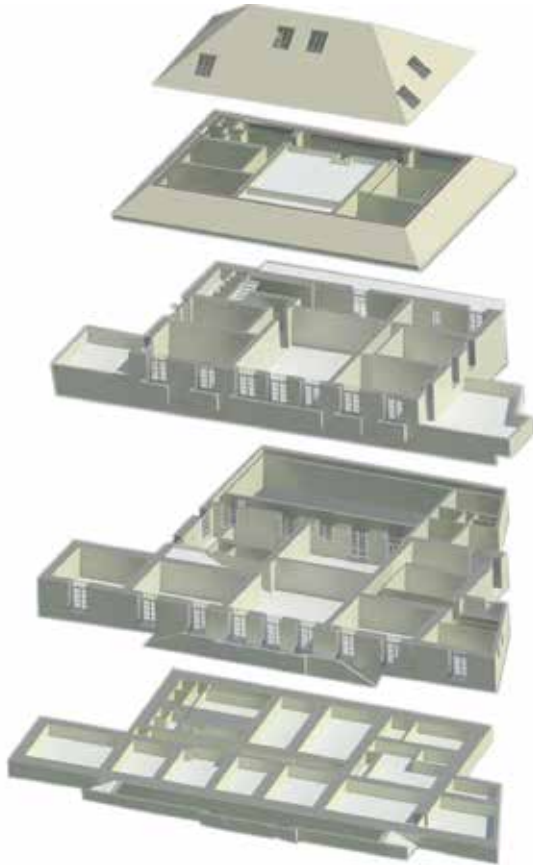


Fig. 19 – Esploso 3D dell’edificio.

È stato dunque studiato il rapporto S/V della costruzione per definirne il grado di compattezza ed è risultato che tale valore è pari a 0,42 (Tab. 1).

VOLUME LORDO (V)	8530,51 m ³
SUPERFICIE DISPONENTE (S)	3607,28 m ²
S/V	0,422

Tab. 1 – Sintesi del calcolo del rapporto S/V dell’Edificio.

Percentuale di superfici trasparenti e la loro posizione

Un altro parametro importante da studiare per quanto riguarda l'aspetto tipologico dell'edificio sono le superfici trasparenti. L'irraggiamento solare e le prestazioni igrotermiche di una superficie trasparente hanno caratteristiche molto diverse rispetto a quelle di una corrispondente superficie opaca. Le superfici trasparenti sono elementi dell'involucro edilizio che hanno un rilevante peso per quanto riguarda il guadagno diretto di calore invernale, per il controllo di surriscaldamento estivo e per l'ottimizzazione degli apporti di luce naturale. Anche per questa caratteristica a seconda delle differenti zone climatiche vi sono diverse percentuali e posizioni ottimali delle superfici trasparenti. Per la zona nella quale si trova l'edificio si suggerisce che le parti trasparenti siano il 10% dell'involucro edilizio esposto a Nord, il 30-40% di quello a Sud e il 15-25% di quelli esposti a Est e Ovest. È stato studiato lo stato di fatto dell'edificio oggetto dello studio al fine di valutare tali percentuali e comprendere quanto esse si avvicinino o meno all'ottimo (Tab. 2).

	N-E	S-E	S-O	N-O	Orizzontali	Area Totale (m ²)
N° serramenti	21	9	24	20	12	
Area superfici trasparenti (m ²)	53,01	27,56	107,89	38,24	32,63	259,33
Area superfici disperdenti (m ²)	600,41	394,39	554,69	310,72	506,17	2266,38
% superfici trasparenti	8,83%	9,36%	19,45%	12,31%	6,45%	

Tab. 2 - Sintesi del calcolo della percentuale delle superfici trasparenti dell'edificio per orientamento.

3.2.3 Caratteristiche/scelte di dettaglio

L'analisi delle caratteristiche di dettaglio consente di studiare le tecniche costruttive e i materiali che costituiscono la costruzione e di determinarne le relative prestazioni. Nello specifico, ci si è concentrati sulle prestazioni energetiche dell'involucro edilizio e dell'intera costruzione.

Al fine di identificare gli elementi dell'involucro edilizio che racchiudono il volume riscaldato sono state individuate le zone termiche e le zone non riscaldate dell'edificio.

L'intero edificio è riscaldato e può essere considerato un'unica zona termica mentre vi sono due zone non riscaldate, al piano seminterrato e il primo piano ammezzato, destinate ai servizi e magazzini.

Sono stati analizzati nel dettaglio gli elementi dell'involucro edilizio e si riportano in seguito la descrizione di quelli opachi e trasparenti, evidenziando le dimensioni, i materiali di cui sono composti e le relative prestazioni energetiche (Figg. 20-21-22).

Le dimensioni di ciascun elemento dell'involucro sono state individuate attraverso la documentazione fornita dalla pubblica amministrazione e poi verificate grazie al sopralluogo.

I materiali degli elementi opachi verticali e orizzontali sono stati supposti secondo valutazioni in rapporto alle tecniche costruttive dell'anno di costruzione della scuola. La stratigrafia della muratura si è potuta verificare durante il sopralluogo al piano seminterrato, in corrispondenza di una parziale demolizione del muro.

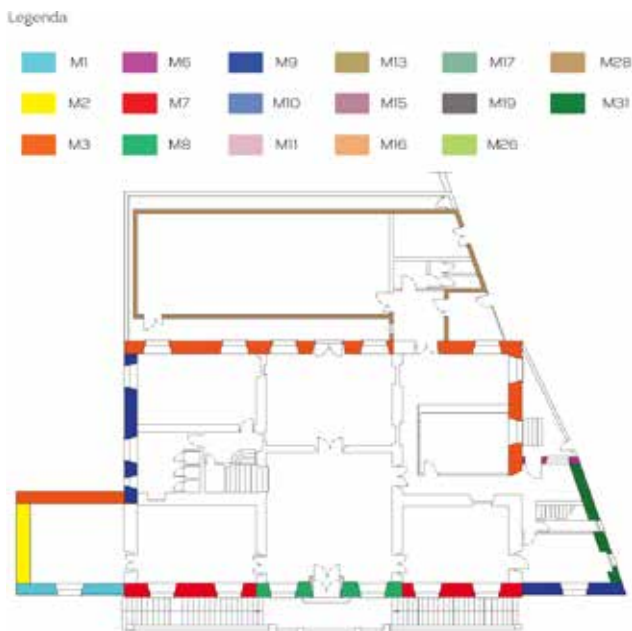


Fig. 20 – Individuazione dei diversi tipi di muratura dell'involucro opaco al Piano Primo.



Fig. 21 – Individuazione dei diversi tipi di muratura dell'involucro opaco al Piano Ammezzato.

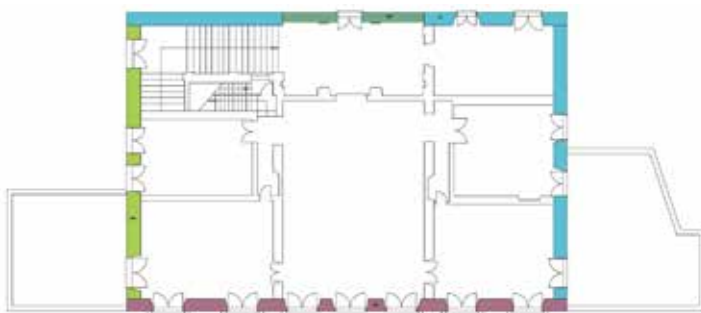


Fig. 22 – Individuazione dei diversi tipi di muratura dell'involucro opaco al Piano Secondo.



Fig. 23 – Individuazione dei diversi tipi di muratura dell'involucro opaco al Piano Secondo Ammezzato e Sottotetto.

A titolo esemplificativo si riporta la muratura identificata col codice M3 che costituisce la maggior parte degli elementi opachi verticali del primo piano (Fig. 24).

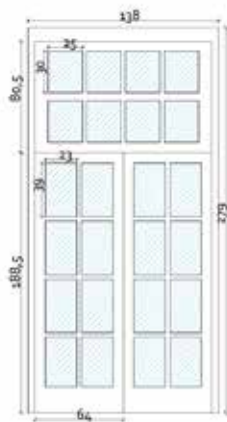
M3 TAMPONAMENTO PESANTE OPACO



CARATTERISTICHE MATERIALI							
	S [m]	M _v [kg/m³]	M _s [kg/m³]	h [W/mK]	R [m²K/W]	c [J/kgK]	u [-]
Superficie esterna					0.04		
RIVESTIMENTO ESTERNO Intonaco di cemento e sabbia	0.02	1800	36	0.9	0.022	1000	1
MASSIVO Muratura mista (pietra- laterizio)	0.80	1500	1200	0.9	0.889	1000	1
RIVESTIMENTO INTERNO Intonaco di cemento e sabbia	0.02	1400	28	0.7	0.029	1000	1
Superficie interna					0.130		
PARAMETRI STAZIONARI				PARAMETRI DINAMICI			
Spessore totale [m]	0.84			Capacità termica interna [kJ/m²K]	62.30		
Massa superficiale totale (kg/m²)	1264			Capacità termica esterna [kJ/m²K]	106.60		
Resistenza totale [m²K/W]	1.11						
PRESTAZIONI TERMICHE							
Trasmittanza [W/m²K]				0.901			
Trasmittanza periodica [W/m²K]				0.01			

Fig. 24 – Dettaglio della stratigrafia opaca verticale M3.

F20: FINESTRA A DOPPIA ANTA CON VETROCAMERA



CARATTERISTICHE GENERALI		CARATTERISTICHE DIMENSIONALI	
Finestra in PVC 138x279 cm con due ante apribili e una fissa in alto		Area serramento [m ²]	3,85
Localizzazione	Secondo piano lato S-E	Area telaio [m ²]	1,81
Numero ante	2	Giunto vetro-telaio [m]	28,64
Sistema di apertura	Battente	Fattore telaio [-]	0,53
VETRO		SISTEMA OSCURANTE	
Numero lastre di vetro	2	Tipologia	-
Spessore (mm)	4+20+4	Posizione	-
Gas nell'intercapedine	Aria	Trasmissione media	-
TELAIO		Fattore di riduzione [-]	-
Tipologia	Profilo vuoto con cinque camere cave		
CARATTERISTICHE PRESTAZIONALI			
Trasmittanza U _g [W/m ² K]	2,7	Trasmittanza U _w [W/m ² K]	2,29
Trasmittanza U _f [W/m ² K]	1,2	Trasmittanza energia solare per incidenza normale g [-]	0,75
Emissività [-]	0,84		

Fig. 25 – Dettaglio del serramento F20.

Sono stati individuati 41 tipi di serramenti con caratteristiche materiche e dimensionali diverse che sono raggruppabili in 3 tipologie:

- serramenti in PVC con doppio vetro trasparente o satinato di recente sostituzione prive di sistemi di oscuramento interno ed esterno;

- serramenti in metallo con vetro singolo retinato, localizzati sulla copertura inclinata, alcuni dei quali presentano tende bianche come sistema di ombreggiamento;
- serramenti in alluminio con vetro singolo trasparente o satinato, nel locale antistante la palestra e all'interno della palestra.

Analogamente si riporta a titolo esemplificativo un serramento identificato col codice F20 con le relative caratteristiche e prestazioni (Fig. 25).

Dopo aver raccolto tutte le informazioni dello stato di fatto dell'edificio si è proseguito per la determinazione e analisi del fabbisogno energetico dell'edificio sia in regime invernale che in quello estivo. Lo studio è stato condotto precedentemente all'introduzione dei nuovi DM del 2015 e pertanto è stato fatto con i riferimenti normativi vigenti al momento dello studio, nello specifico il Regolamento Regionale n°6 Liguria del 13 novembre 2012.

Per determinare la classe energetica in regime invernale dell'edificio preso in esame è necessario trovare i valori limite dell'indice di prestazione energetica valore di EP_{Lim} che ne definisce i limiti. Il valore di EP_{Lim} è espresso nella tabella C.2 del Regolamento Regionale n°6 Liguria del 13 Novembre 2012. La tabella, riferita agli edifici di Classe E7 di tipo scolastico o comunque non residenziali, fornisce il valore di EP_{Lim} in relazione ai Gradi Giorno e al rapporto S/V (Tab. 3).

	A+ <	$0.23 * EP_{Lim}$		A+ <	2.24
$0.23 * EP_{Lim}$	< A <	$0.45 * EP_{Lim}$	2.24	< A <	4.38
$0.45 * EP_{Lim}$	< B <	$0.65 * EP_{Lim}$	4.38	< B <	6.32
$0.65 * EP_{Lim}$	< C <	$0.85 * EP_{Lim}$	6.32	< C <	8.27
$0.85 * EP_{Lim}$	< D <	$1.00 * EP_{Lim}$	8.27	< D <	9.73
$1.00 * EP_{Lim}$	< E <	$1.50 * EP_{Lim}$	9.73	< E <	14.59
$1.50 * EP_{Lim}$	< F <	$2.00 * EP_{Lim}$	14.59	< F <	19.46
$2.00 * EP_{Lim}$	< G		19.46	< G	

Tab. 3 – Classificazione dell'edificio sulla base del valore dell' EP_{Lim} determinata utilizzando il rapporto S/V e i GG.

L'analisi della prestazione energetica dell'edificio ci ha portati a determinare l'indice di prestazione energetica invernale dell'involucro pari a $EP_{i,inv} = 31.65 \text{ kWh/m}^3\text{anno}$, pertanto, sulla base della tabella riportata in Fig. 26 l'edificio risulta appartenere alla Classe Energetica G. Per conoscere le prestazioni energetiche dell'edificio in regime estivo si è fatto riferimento al D.M. 26/6/2009 Capitolo 6.1, metodo basato sulla determinazione dell'indice di prestazione termica dell'edificio per il raffrescamento. Questo metodo tiene conto del $EP_{e,inv}$, espresso in $\text{kWh/m}^2\text{anno}$ e pari al rapporto tra il fabbisogno di energia termica per il raffrescamento dell'edificio e la superficie calpestabile del volume climatizzato, per determinare la categoria da I a V della qualità prestazionale del fabbricato (Tab. 4).

$EP_{e,inv}$ [$\text{kWh/m}^2\text{anno}$]	Prestazioni	Qualità prestazionali
$EP_{e,inv} < 10$	Ottime	I
$10 \leq EP_{e,inv} < 20$	Buone	II
$20 \leq EP_{e,inv} < 30$	Medie	III
$30 \leq EP_{e,inv} < 40$	Sufficienti	IV
$EP_{e,inv} \geq 40$	Mediocri	V

Tab. 4 – Classificazione della prestazione estiva dell'involucro edilizio.

Essendo $EP_{e,inv} = 15,74 \text{ kWh/m}^2\text{anno}$, la scuola risulta avere prestazioni mediocri con qualità prestazionale II.

3.3. Stato di progetto

3.3.1 Obiettivi e strategie

Il progetto di riqualificazione dell'edificio mira ad individuare una serie di interventi finalizzati a raggiungere gli obiettivi di contenimento dei consumi energetici attribuibili al sistema edificio-impianti e al contempo al raggiungimento di condizioni di comfort all'interno degli ambienti confinati.

Dall'analisi dello stato di fatto sono emerse criticità che possono essere considerate il punto di partenza per il progetto. In particolar modo si è focalizzata l'attenzione sulla scarsa qualità dell'involucro edilizio

dovuta alla totale assenza di isolamento termico delle pareti esterne, del primo solaio e della copertura, all'assenza di dispositivi di schermatura solare e di sistemi di controllo della luce solare diretta ed indiretta per il controllo dei carichi termici e all'insoddisfacente rendimento dell'impianto di climatizzazione invernale.

Poiché le caratteristiche ambientali sono dati di *input* e le caratteristiche tipologiche non sono per lo più modificabili essendo l'oggetto di studio un edificio esistente, è possibile ottimizzare le prestazioni dell'edificio in termini di efficienza energetica.

Un'attenta valutazione delle opportunità di tipo tecnico, economico-finanziario e ambientale ha consentito di elaborare una strategia atta a minimizzare il fabbisogno di energia primaria richiesto dall'edificio.

Gli interventi proposti mirano a raggiungere i limiti di legge in termini di valori limite della trasmittanza termica dell'involucro edilizio dato che dall'analisi dello stato attuale si evince chiaramente che esso presenti valori di trasmittanza termica molto superiori ai 'valori limite'.

3.3.2 Proposte progettuali

Il progetto di riqualificazione è articolato in diverse tipologie di interventi per migliorare la prestazione energetica dell'edificio sia in regime invernale sia in quello estivo.

Nello specifico per il regime invernale sono stati ipotizzate le seguenti azioni:

- isolamento termico totale dell'involucro opaco tramite isolamento a cappotto esterno raggiungendo i limiti di legge previsti per il 1 Gennaio 2021 ($0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$);
- isolamento termico totale del primo solaio raggiungendo i limiti di legge previsti per il 1 Gennaio 2021 ($0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$);
- isolamento termico totale della copertura raggiungendo i limiti di legge previsti per il 1 Gennaio 2021 ($0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$);
- isolamento termico parziale dei serramenti raggiungendo i limiti di legge previsti per il 1 Gennaio 2021 ($1,80 \text{ W/m}^2\text{K}$);

- inserimenti di pellicole basso-emissive per migliorare le prestazioni energetiche dello involucro.

Le caratteristiche già buone dell'involucro esterno in regime estivo, grazie all'elevata massa superficiale delle murature e la ridotta percentuale di superfici trasparenti, possono essere migliorate attraverso un intervento sugli elementi trasparenti tramite l'installazione di veneziane interne per la riduzione dell'irraggiamento solare.

Altri tipi di interventi, quali la controsoffittatura dei locali per ridurre il volume riscaldato, la sostituzione totale dei serramenti e l'isolamento in corrispondenza dei serramenti, sono stati esclusi dal calcolo perché, rispettivamente: l'altezza considerevole dei serramenti non permette una controsoffittatura se non di poche decine di centimetri, una parte della serramentistica è stata da poco sostituita e in corrispondenza delle finestre sono presenti i radiatori.

Successivamente all'analisi energetica ed economica dei singoli interventi sono state analizzate diverse possibili combinazioni, comparate sulla base del *weighted sum model*. Questo metodo comparativo si basa sull'attribuzione di punteggi ai singoli interventi che sono stati scelti attribuiti sulla base dei seguenti parametri (Tab. 5):

- Risparmio energetico. Viene valutato l'effettivo risparmio di consumi di energia primaria, assegnando un punteggio crescente in base alla percentuale di energia risparmiata: questo miglioramento percentuale deriva dalla differenza tra l'indice di prestazione energetica dello stato attuale e quello post-intervento.
- Economicità. La variabile economica viene valutata attraverso il tempo necessario a rientrare dell'investimento effettuato per realizzare l'intervento, il Tempo di Ritorno è quindi calcolato tramite il rapporto tra il costo necessario alla realizzazione dell'intervento e il conseguente risparmio annuo.
- Durabilità. Il parametro della durabilità esprime la capacità dei componenti edilizi di svolgere le funzioni richieste durante un periodo di

tempo specificato; viene valutata sia la durata della vita utile dell'edificio sia la sua affidabilità, ossia la probabilità di subire riparazioni o manutenzioni durante tale periodo.

- **Fattibilità.** La fattibilità è indice della possibilità di realizzazione dell'opera dal punto di vista tecnico e pratico: tiene quindi in considerazione la facilità con cui l'intervento viene realizzato integrandosi al sistema esistente.

MIGLIORAMENTO ENERGETICO		TEMPO DI RITORNO		DURABILITÀ		FATTIBILITÀ	
0%	0	>50 anni	0	non sufficiente	0	non fattibile	0
<10%	1	<50 anni	1	sufficiente	1	alta difficoltà	1
<20%	2	<25 anni	2	mediocre	2	difficile	2
<40%	3	<10 anni	3	buono	3	facile	3
>40%	4	<5 anni	4	alto	4	alta facilità	4

Tab. 5 – Tabella riepilogativa dei parametri impiegati per la valutazione degli interventi di progetto.

I punteggi variano da 1 a 4 e la loro somma fornisce un metro di paragone tra le possibili combinazioni.

Fissato un obiettivo da raggiungere (ad esempio Miglioramento Energetico < 30%), vengono presi in considerazione i punteggi totali delle combinazioni che soddisfano tale requisito.

I punteggi conseguenti all'analisi sugli interventi singoli hanno permesso inoltre di restringere il numero di possibili efficaci combinazioni.

Obiettivo: miglioramento energetico

Nell'ottica di una progettazione sostenibile, assume particolare rilevanza il risparmio di risorse energetiche non rinnovabili, al fine di ridurre il sensibile inquinamento ambientale. Assume quindi grande significato considerare, come prima ipotesi, le combinazioni aventi percentuale di miglioramento energetico maggiore del 30% (Tab. 6).

3. Edificio esistente

Intervento	Fabbisogno utile attuale	Fabbisogno utile postinter- vento	Migliora- mento	Tempo di Ritorno	Costo intervento	Classe energetica globale	Punti
	[kWh/ annuo]	[kWh/ annuo]	[%]	[anni]	[€]	[-]	[-]
Caldaia - Cappotto - Copertura - Pellicole - Serramenti - Solaio - Valvole	454199	269343	40,70%	16,6	252278	G	12
Caldaia - Cappotto - Copertura - Pellicole - Serramenti - Valvole	454199	279742	38,41%	16,5	237028	G	11
Caldaia - Cappotto - Copertura - Pellicole - Valvole	454199	287095	36,79%	15,5	213267	G	11
Caldaia - Cappotto - Copertura - Valvole	454199	288946	36,38%	15,2	205921	G	11
Caldaia - Cappotto - Copertura - Pellicole	454199	302126	33,48%	16,7	208827	G	11
Caldaia - Cappotto - Pellicole - Serramenti - Valvole	454199	303072	33,27%	17,5	216974	G	11
Caldaia - Cappotto - Serramenti - Valvole	454199	304075	33,05%	17,0	209628	G	11
Caldaia - Cappotto - Serramenti - Valvole - Veneziane	454199	306633	32,49%	18,3	222206	G	11
Caldaia - Cappotto - Pellicole - Valvole	454199	309578	31,84%	16,2	193213	G	11
Caldaia - Cappotto - Pellicole - Serramenti	454199	317276	30,15%	18,9	212534	G	11
Caldaia - Cappotto - Copertura - Pellicole - Serramenti	454199	293996	35,27%	17,7	232588	G	10

Tab. 6 – Classificazione degli interventi sulla base dell'obiettivo di miglioramento energetico.

La combinazione più efficiente in termini sia di miglioramento energetico sia di punteggio risulta essere quella riguardante l'installazione di una nuova caldaia, la realizzazione di un cappotto isolante sulle pareti disperdenti verso l'esterno, l'isolamento termico totale del primo solaio all'estradosso, l'isolamento termico totale della copertura in intradosso, la sostituzione parziale dei serramenti, l'inserimento di pellicole basso emissive e l'installazione di valvole termostatiche.

Inoltre, poiché il punteggio ottenuto risulta il maggiore tra quelli considerati e il Tempo di Ritorno non si discosta molto dalle altre possibili combinazioni finalizzate al miglioramento energetico, questo intervento risulta il più indicato per il raggiungimento dell'obiettivo fissatosi.

Obiettivo: ottimizzazione tempi di ritorno

Si ritiene interessante porre l'attenzione su quegli interventi per cui si possa rientrare dell'investimento in tempi brevi. A tal proposito si è deciso di tenere in considerazione, in questa fase, quegli interventi il cui Tempo di Ritorno sia minore o uguale a dieci anni.

Intervento	Fabbisogno utile attuale	Fabbisogno utile postinter- vento	Migliora- mento	Tempo di Ritorno	Costo intervento	Classe energetica globale	Punti
	[kWh/ annuo]	[kWh/ annuo]	[%]	[anni]	[€]	[-]	[-]
Caldaia - Valvole	454199	340836	24,96%	1,4	12644	G	14
Caldaia - Copertura - Pellicole - Solaio	454199	353286	22,22%	6,1	50854	G	12
Caldaia - Copertura - Serramenti	454199	355696	21,69%	7,3	59365	G	12
Caldaia - Copertura - Pellicole - Serramenti - Solaio - Valvole	454199	331083	27,11%	7,8	79055	G	12
Caldaia - Copertura - Pellicole - Serramenti - Solaio	454199	345271	23,98%	8,3	74615	G	12
Caldaia - Copertura - Pellicole - Solaio - Valvole	454199	338766	25,41%	5,8	55294	G	12
Caldaia - Copertura - Pellicole - Serramenti - Valvole	454199	341948	24,71%	6,9	63805	G	11
Copertura - Pellicole - Solaio - Valvole	454199	394829	13,07%	9,6	47090	G	9

Tab. 7 – Classificazione degli interventi sulla base dell'obiettivo del minor Tempo di Ritorno.

L'investimento migliore in termini di Tempo di Ritorno riguarda la sostituzione dell'impianto di generazione e contemporaneamente l'installazione di valvole termostatiche in corrispondenza di ciascun radiatore. Inoltre, oltre ad essere uno degli interventi con risparmio energetico maggiore tra quelli proposti al fine di perseguire l'obiettivo dichiarato, risulta anche essere quello con il punteggio maggiore.

Obiettivo: budget fissato a 200.000 €

Nell'ambito professionale spesso ci si deve confrontare con problemi relativi alla disposizione di budget. Nell'ipotesi di una reale realizzazione dell'intervento, si è quindi deciso di porsi un limite

Intervento	Fabbisogno utile attuale	Fabbisogno utile postintervento	Miglioramento	Tempo di Ritorno	Costo intervento	Classe energetica globale	Punti
	[kWh/annuo]	[kWh/annuo]	[%]	[anni]	[€]	[-]	[-]
Caldaia - Valvole	454199	340836	24,96%	1,4	12644	G	14
Caldaia - Cappotto - Pellicole - Valvole	454199	309578	31,84%	16,2	193213	G	13
Caldaia - Copertura - Pellicole - Serramenti - Solaio - Valvole	454199	331083	27,11%	7,8	79055	G	12
Caldaia - Copertura - Pellicole - Serramenti - Solaio	454199	345271	23,98%	8,3	74615	G	12
Caldaia - Copertura - Serramenti	454199	355696	21,69%	7,3	59365	G	12
Caldaia - Copertura - Pellicole - Solaio	454199	353286	22,22%	6,1	50854	G	12
Cappotto - Copertura - Valvole	454199	336705	25,87%	20,5	197717	G	12
Caldaia - Cappotto - Pellicole	454199	324089	28,65%	17,6	188773	G	12
Caldaia - Cappotto - Valvole	454199	318944	29,78%	16,7	185867	G	11
Caldaia - Cappotto	454199	333898	26,49%	18,3	181427	G	11

Tab. 8 – Classificazione degli interventi sulla base dell'obiettivo di un budget massimo.

di 200.000 € per i possibili interventi al fine di confrontarsi con problemi di natura economica.

Di seguito è riportata la tabella relativa alle combinazioni di interventi ordinate in base al punteggio.

Tra i casi presi in considerazione, l'intervento più performante in termini di miglioramento energetico, risulta essere la combinazione riguardante l'installazione di una nuova caldaia, la realizzazione di un cappotto isolante sulle pareti disperdenti verso l'esterno, l'inserimento di pellicole basso emissive e l'installazione di valvole termostatiche.

Intervento	Fabbisogno utile attuale	Fabbisogno utile postinter- vento	Migliora- mento	Tempo di Ritorno	Costo intervento	Classe energetica globale	Punti
	[kWh/ annuo]	[kWh/ annuo]	[%]	[anni]	[€]	[-]	[-]
Caldaia – Valvole	454199	340836	24,96%	1,4	12644	G	14
Caldaia - Cappotto - Copertura - Pellicole - Serramenti - Solaio - Valvole	454199	269343	40,70%	16,6	252278	G	12
Caldaia - Copertura - Pellicole - Serramenti - Solaio	454199	345271	23,98%	8,3	74615	G	12
Caldaia - Copertura - Pellicole - Serramenti - Solaio - Valvole	454199	331083	27,11%	7,8	79055	G	12
Caldaia - Copertura - Pellicole – Solaio	454199	353286	22,22%	6,1	50854	G	12
Caldaia - Copertura - Serramenti	454199	355696	21,69%	7,3	59365	G	12
Caldaia – Cappotto	454199	333898	26,49%	18,3	181427	G	11
Caldaia - Cappotto - Copertura – Pellicole	454199	302126	33,48%	16,7	208827	G	11
Caldaia - Cappotto - Copertura - Pellicole - Serramenti – Valvole	454199	279742	38,41%	16,5	237028	G	11
Caldaia - Cappotto - Copertura - Pellicole - Valvole	454199	287095	36,79%	15,5	213267	G	11
Caldaia - Cappotto - Copertura - Valvole	454199	288946	36,38%	15,2	205921	G	11

Tab. 9 – Classificazione complessiva degli interventi proposti.

Si è preferito questo intervento rispetto a quello con il punteggio maggiore perché si è considerato più importante garantire un maggiore miglioramento energetico. Considerata la differenza limitata tra i punteggi delle due opzioni, tale scelta non risulta comunque essere svantaggiosa da questo punto di vista.

Obiettivo: punteggio massimo

Nel caso in cui non ci si ponga un obiettivo specifico, il criterio di valutazione si basa esclusivamente sul *weighted sum model*.

Sommati quindi, per ogni possibile combinazione, i punteggi relativi ai parametri di risparmio energetico, economicità, durabilità, fattibilità, è stata realizzata la seguente tabella.

La combinazione con il punteggio più alto risulta essere quella riguardante gli interventi sull'impianto (la sostituzione della caldaia e installazione delle valvole di regolazione); questo è dovuto ad un buon miglioramento energetico (24,96%) a fronte di una spesa ragionevole [12.644 €], all'ottima fattibilità di intervento ed all'elevata durabilità.

3.4. Considerazioni conclusive

Le soluzioni progettuali sono state studiate analizzandone diverse caratteristiche (Risparmio energetico, costi, durabilità e fattibilità) al fine di valutare la reale efficacia di quanto proposto. Sono state poi creati quattro scenari al fine di perseguire diversi obiettivi che possono rappresentare le richieste reali quali: massimo miglioramento del risparmio energetico, ottimizzazione dei tempi di ritorno dell'investimento, budget massimo prestabilito pari a 200.000€ e ottimizzazione di tutti e quattro gli aspetti analizzati.

Dall'analisi emerge che nel caso del primo obiettivo e del terzo, la combinazione di interventi sull'involucro edilizio e sui sistemi impiantistici permette di ottenere la soluzione ottimale, mentre, nel caso degli altri due obiettivi, i soli interventi sul sistema impiantistico risultano

essere la strategia migliore permettendo infatti di ottenere elevati risultati in termini principalmente di tempo, di ritorno dell'investimento poichè sono interventi con un costo ridotto ma ad elevato risparmio energetico. È importante però sottolineare che questi ultimi sono anche parti del sistema edificio-impianto con vita utile ridotta: fattore, questo, da tenere in considerazione.

4. Intervento sul costruito. Un complesso residenziale

Clara Vite, Renata Morbiducci

4.1 Introduzione del caso studio

Il quarto caso studio riguarda l'esempio di un quartiere residenziale della periferia di Genova denominato 'Le Lavatrici' di Pegli. Il lavoro è stato realizzato nell'a.a. 2012-2013 durante il Corso di Progettazione Integrata nell'ambito del Corso di Laurea in Ingegneria Edile-Architettura.

Docente: Renata Morbiducci

Studenti: Luca Cerisola, Luca Parodi, Alfredo Perazzo, Martina Benedetti, Giorgio Pedalino, Luca Mignone, Giuseppe Andrea Campagna, Marco Tamberi, Marika Herbst, Giorgia Quartini, Lorenzo Bini, Federica Vecchione, Francesca Astengo, Denise Policrisi

4.2. Stato di fatto

Il complesso 'Pegli 3' di Aldo Luigi Rizzo è stato realizzato negli anni Ottanta del Novecento e successivamente è stato denominato, per le sue caratteristiche morfologiche, 'Lavatrici'. Si trova a Genova Prà, nel ponente cittadino. Prima che tutto il territorio venisse unificato nella Città Metropolitana di Genova, Genova Prà era comune autonomo ed

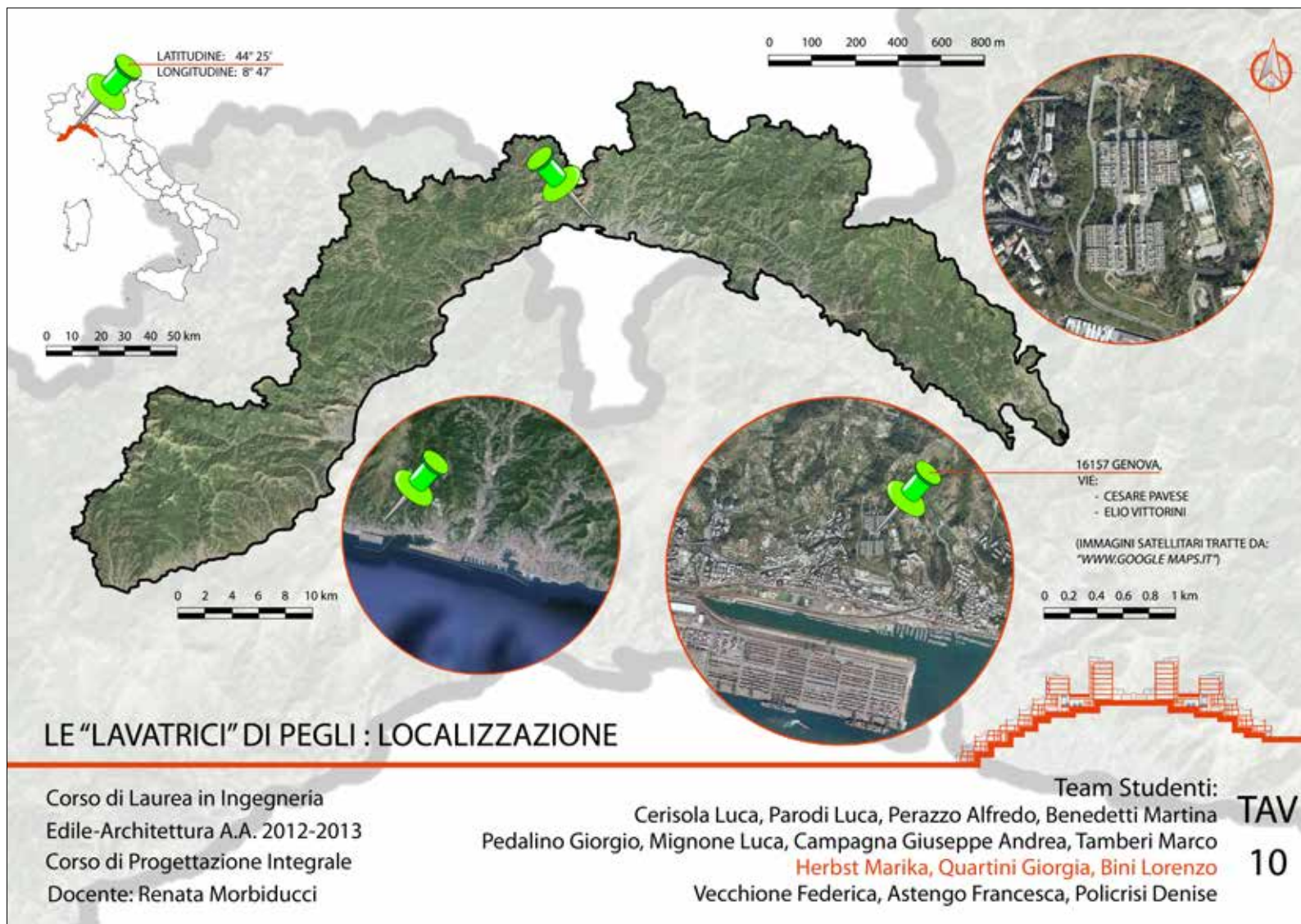
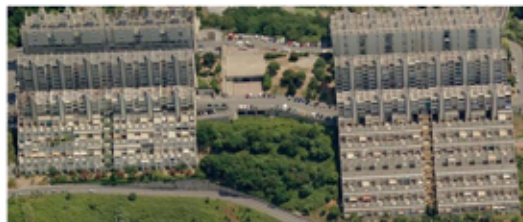


Fig. 1 – Inquadramento del caso studio.

Le **periferie** delle grandi città italiane sono spesso accomunate da devastanti colate di cemento iniziate negli anni '60 per la necessità di fornire alloggi popolari nel boom economico. Eppure questi immensi palazzi oggi sono ancora in piedi, a pochi minuti di macchina dai centri storici delle città. Il caso ligure è diverso e peculiare. Chiunque percorra l'autostrada della Liguria nel tratto genovese nota la cementificazione selvaggia che ha aggredito le colline attorno alla città, ma non si tratta esclusivamente di case popolari dallo scarso valore. Uno degli esempi più eclatanti è il quartiere di **Genova Pra'**, situato nel ponente cittadino. Comune autonomo dal 1797 al 1926, era diviso in cinque quartieri: Torre, Pra', Sapello, Palmaro e Palmaro Carbone. A questi si è aggiunto San Pietro tra il 1980 e 1990.



Cartolina da Genova Pra' anni '50



Vista Ovest blocco Nord delle Lavatrici

Proprio quest'ultimo è costituito da due grandi blocchi destinati all'edilizia popolare:

-il primo, definito comunemente le "lavatrici", è costituito da oltre 650 alloggi ed è stato realizzato per metà dal Comune (circa 340 alloggi) e per metà da cooperative edilizie convenzionate

-il secondo, situato in via Ungaretti (nella parte sottostante le "lavatrici"), comprende circa 330 alloggi di proprietà di ARTE

Il soprannome **Lavatrici** è dovuto in particolare alle grosse lastre di cemento con grandi fori a forma di rombo o di cerchio che sono poste sulla facciata come decorazione e che fanno assomigliare le palazzine ad obblò, appunto, di lavatrici.

I due edifici sono identici e simmetrici e vengono penetrati da una strada ad anello in cresta alla collina. I posti macchina ed i garage sono disposti in locali ai lati della viabilità veicolare o nel seminterrato degli edifici stessi. Numerose strade pedonali percorrono ad anelli concentrici la collina. Assi meccanizzati congiungono i punti più bassi dalla collina con il verde pubblico attrezzato posto sulla sommità. Le abitazioni sono di tipo duplex sulla parte a pendio (assemblati secondo modelli derivanti dagli immeuble-villas). Lo sfalsamento tra i piani consente la realizzazione di loggiati-giardino con conseguenti ampi spazi all'aperto ad uso privato. Gli edifici alti, in barra, contengono alloggi di piccolo taglio con varie possibilità di aggregazione. Spesso vengono considerate come un simbolo di degrado urbano dal grande impatto visivo e ambientale causato dall'edificazione massiccia di una zona lontana da centri abitati; sono definite dei veri e propri ecomostri. La riqualificazione di questo grande complesso di edilizia popolare è iniziata nel 1998 con interventi di ristrutturazione ed è poi proseguita con un intervento di recupero in edilizia agevolata convenzionata e affitto permanente da parte di una cooperativa. Il progetto è nato da una collaborazione tra la giunta comunale di Genova e il Dipartimento di Scienza per l'Architettura dell'Università locale e mira alla valorizzazione e al recupero della zona attraverso una serie di interventi volti alla sostenibilità degli immobili ed alla progettazione di soluzioni strutturali e di design volte alla riqualificazione architettonica del quartiere e dirette a favorire l'effettivo utilizzo degli spazi verdi e sociali da parte dei residenti.



In alto vista aerea dei blocchi residenziali
A lato vista degli obblò caratteristici delle Lavatrici

LE "LAVATRICI" DI PEGLI : DAGLI ANNI '60 AD OGGI...

Corso di Laurea in Ingegneria
Edile-Architettura A.A. 2012-2013
Corso di Progettazione Integrata
Docente: Renata Morbiducci

Team Studenti:
Cerisola Luca, Parodi Luca, Perazzo Alfredo, Benedetti Martina
Pedalino Giorgio, Mignone Luca, Campagna Giuseppe Andrea, Tamberi Marco
Herbst Marika, Quartini Giorgia, Bini Lorenzo
Vecchione Federica, Astengo Francesca, Policrisi Denise

TAV
12

era diviso in cinque quartieri: Torre, Prà, Sapello, Palmaro e Palmaro Carbone. A questi si è aggiunto San Pietro tra il 1980 e 1990.

Proprio quest'ultimo è costituito da due grandi blocchi destinati all'edilizia popolare:

- il primo, definito comunemente le 'Lavatrici', è costituito da oltre 650 alloggi ed è stato realizzato per metà dal Comune (circa 340 alloggi) e per metà da cooperative edilizie convenzionate;
- il secondo, situato in Via Ungaretti (nella parte sottostante le 'Lavatrici'), comprende circa 330 alloggi di proprietà di ARTE.

Il soprannome Lavatrici è dovuto in particolare alle grosse lastre di cemento con grandi fori a forma di rombo o di cerchio che sono poste sulla facciata come decorazione e che assomigliano a degli oblò.

I due edifici sono identici e simmetrici e vengono penetrati da una strada ad anello in cresta alla collina. I posti macchina e i garage sono disposti in locali ai lati della viabilità veicolare o nel seminterrato degli edifici stessi. Numerose strade pedonali percorrono ad anelli concentrici la collina. Le abitazioni sono di tipo duplex sulla parte a pendio (assemblati secondo modelli derivanti dagli *immeuble-villas*). Lo sfalsamento tra i piani consente la realizzazione di loggiati-giardino con conseguenti ampi spazi all'aperto a uso privato. Gli edifici alti, in barra, contengono alloggi di piccolo taglio con varie possibilità di aggregazione. Spesso vengono considerate come un simbolo di degrado urbano dal grande impatto visivo e ambientale causato dall'edificazione massiccia di una zona lontana da centri abitati; sono definite dei veri e propri 'ecomostri'. La riqualificazione di questo grande complesso di edilizia popolare è iniziata nel 1998 con interventi di ristrutturazione ed è poi proseguita con un intervento di recupero in edilizia agevolata convenzionata e affitto permanente da parte di una cooperativa.

4.2.1 Caratteristiche/scelte ambientali

Il quartiere delle 'Lavatrici' si trova su una collina di fronte al mare ed è circondato da aree verdi. Lo studio delle caratteristiche ambientali ha permesso di conoscere e analizzare il sito nel quale si trova l'edificio e di

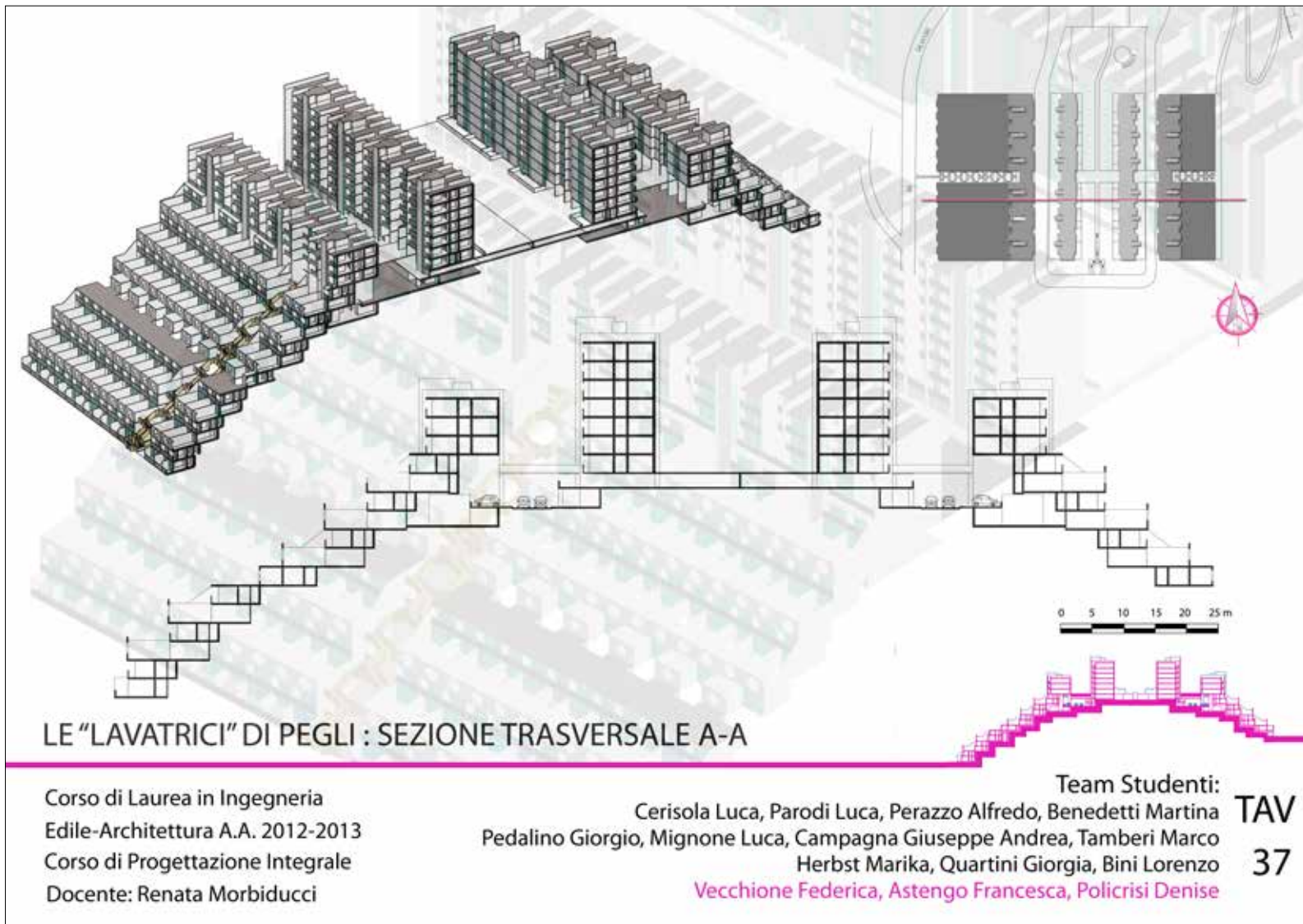


Fig. 3 – Studio del quartiere e individuazione delle diverse tipologie di edificio: Barra Alta, Barra Bassa, Gradonata Lunga e Gradonata Corta.

raccogliere dati che consentono di conoscere il comportamento dell'edificio allo stato attuale e allo stesso tempo diventano informazioni utili a orientare le scelte progettuali.

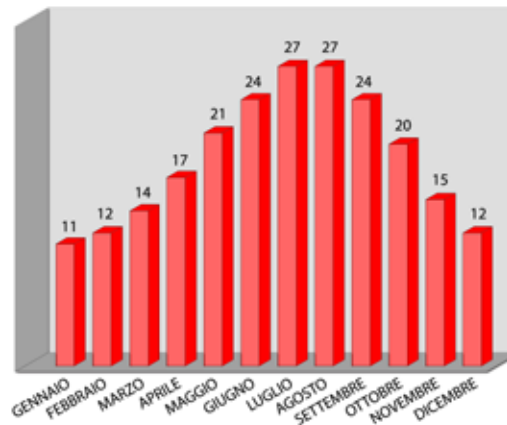
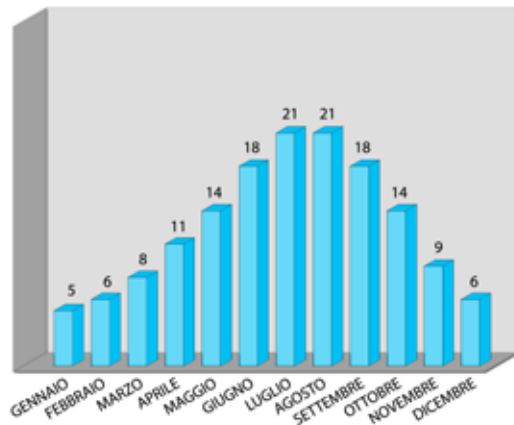
I dati utilizzati per studiare le temperature minime e massime, le precipitazioni e l'umidità relativa sono stati raccolti dall'archivio presente sul sito web www.ilmeteo.it. Nello specifico sono le medie mensili riferite agli ultimi 30 anni, basate sui rilevamenti della stazione meteorologica di Genova Sestri Ponente.

Dai grafici si evidenzia come non vi siano temperature particolarmente basse nel regime invernale e come in quello estivo, grazie alla vicinanza con il mare e il regime dei venti che caratterizza questa zona, non vi sono temperature elevate (Fig. 4).

Il grafico delle precipitazioni mostra che vi è un picco di piovosità in autunno, in particolare a ottobre, mentre nel mese di luglio le piogge sono minime (Fig. 5). L'umidità relativa risulta pressoché costante tutto l'anno con una debole riduzione per i soli mesi invernali (Fig. 6).

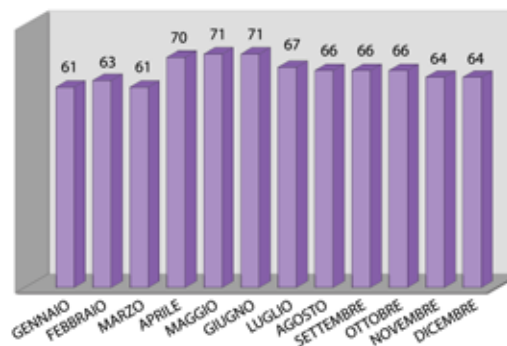
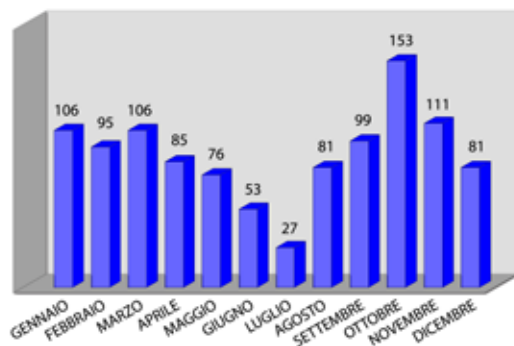
Lo studio del regime dei venti è stato condotto utilizzando le informazioni presenti sul sito www.windfinder.com che si basano su osservazioni reali ottenute dalla stazione meteo situata a Genova Sestri Ponente. Si può notare come l'area sia interessata nei mesi invernali da un vento prevalente da Nord-Est mentre in quelli estivi da uno con intensità minore e proveniente da Sud-Est (Fig. 7).

Lo studio della radiazione solare è stato condotto utilizzando gli strumenti di calcolo presenti sul sito www.solaritaly.enea.it. I diagrammi riportano le traiettorie del Sole (in termini di altezza e azimuth solari) nell'arco di una giornata, per più giorni dell'anno. I giorni – uno per mese – sono scelti in modo che la declinazione solare del giorno coincida con quella media del mese. Nel riferimento polare, i raggi uniscono punti di uguale azimuth, mentre le circonferenze concentriche uniscono punti di uguale altezza. Qui le circonferenze sono disegnate con passo di 10° a partire dalla circonferenza più esterna (altezza = 0°) fino al punto centrale (altezza = 90°). Invece nel riferimento cartesiano gli angoli azimuthale e dell'altezza solari sono



I DATI (TRATTI DA "WWW.ILMETEO.IT") SONO LE MEDIE MENSILI RIFERITE AGLI ULTIMI 30 ANNI, BASATE SUI RILEVAMENTI DELLA STAZIONE DI GENOVA - SESTRI.

M E S E	TEMPERATURA MINIMA	TEMPERATURA MASSIMA
GENNAIO	5 °C	11 °C
FEBBRAIO	6 °C	12 °C
MARZO	8 °C	14 °C
APRILE	11 °C	17 °C
MAGGIO	14 °C	21 °C
GIUGNO	18 °C	24 °C
LUGLIO	21 °C	27 °C
AGOSTO	21 °C	27 °C
SETTEMBRE	18 °C	24 °C
OTTOBRE	14 °C	20 °C
NOVEMBRE	9 °C	15 °C
DICEMBRE	6 °C	12 °C



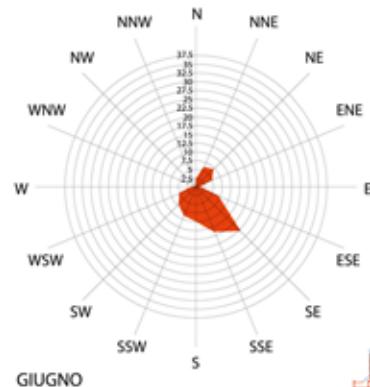
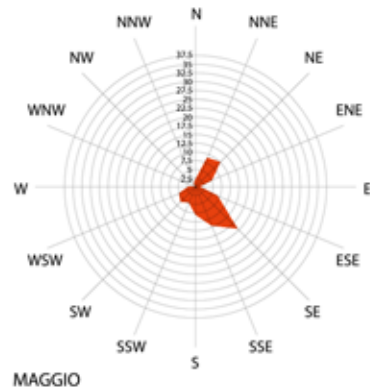
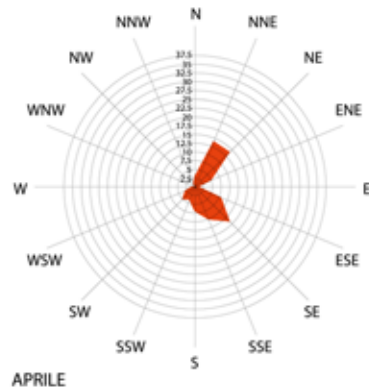
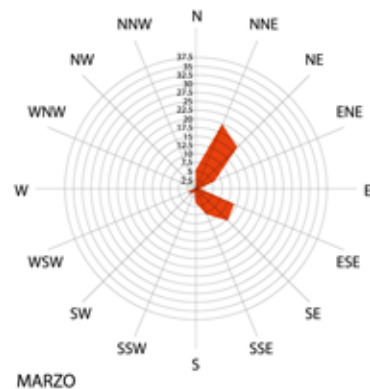
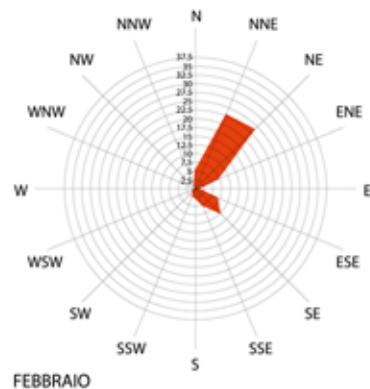
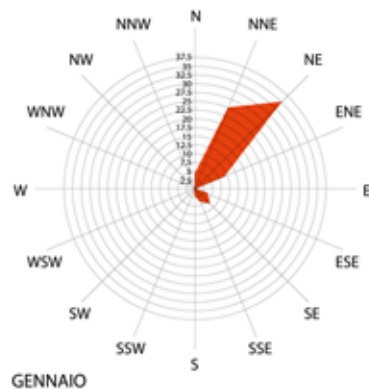
M E S E	PRECIPITAZIONI	UMIDITÀ
GENNAIO	106 mm	61 %
FEBBRAIO	95 mm	63 %
MARZO	106 mm	61 %
APRILE	85 mm	70 %
MAGGIO	76 mm	71 %
GIUGNO	53 mm	71 %
LUGLIO	27 mm	67 %
AGOSTO	81 mm	66 %
SETTEMBRE	99 mm	66 %
OTTOBRE	153 mm	66 %
NOVEMBRE	111 mm	64 %
DICEMBRE	81 mm	64 %

LE "LAVATRICI" DI PEGLI : DATI CLIMATICI

Corso di Laurea in Ingegneria
Edile-Architettura A.A. 2012-2013
Corso di Progettazione Integrata
Docente: Renata Morbiducci

Team Studenti:
Cerisola Luca, Parodi Luca, Perazzo Alfredo, Benedetti Martina
Pedalino Giorgio, Mignone Luca, Campagna Giuseppe Andrea, Tamberi Marco
Herbst Marika, Quartini Giorgia, Bini Lorenzo
Vecchione Federica, Astengo Francesca, Policrisi Denise

TAV
13



LE STATISTICHE SUI VENTI (TRATTE DA "WWW.WINDFINDER.COM") SI BASANO SU OSSERVAZIONI REALI OTTENUTE DALLA STAZIONE METEO A GENOVA - SESTRI.

M E S E	VENTO DOMINANTE
GENNAIO	ENE 15 km/h
FEBBRAIO	ENE 15 km/h
MARZO	ENE 15 km/h
APRILE	SSE 16 km/h
MAGGIO	SSE 4 km/h
GIUGNO	SSE 9 km/h
LUGLIO	SSW 9 km/h
AGOSTO	S 9 km/h
SETTEMBRE	SSE 16 km/h
OTTOBRE	ENE 16 km/h
NOVEMBRE	ENE 15 km/h
DICEMBRE	ENE 15 km/h

I DATI SUI VENTI (TRATTI DA "WWW.ILMETEO.IT") SONO LE MEDIE MENSILI RIFERITE AGLI ULTIMI 30 ANNI, BASATE SUI RILEVAMENTI DELLA STAZIONE DI GENOVA - SESTRI.

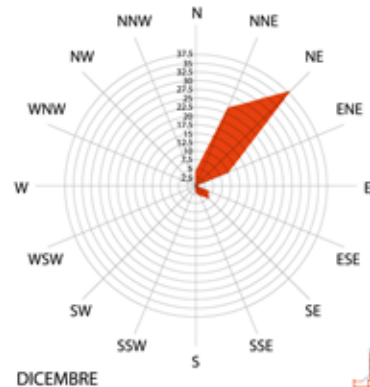
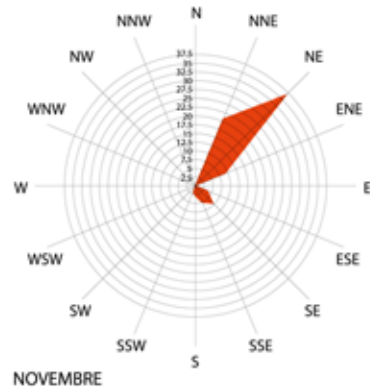
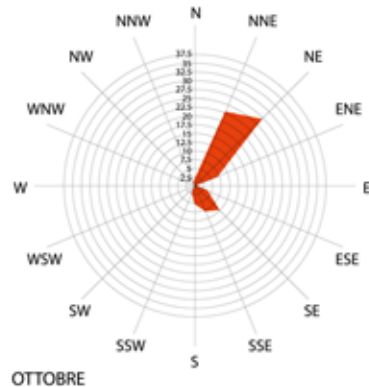
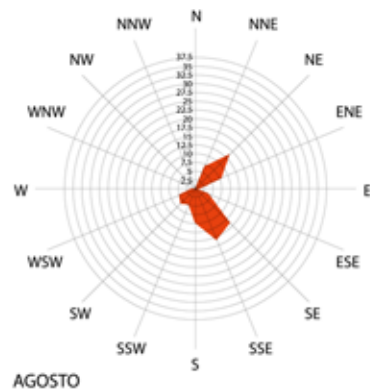
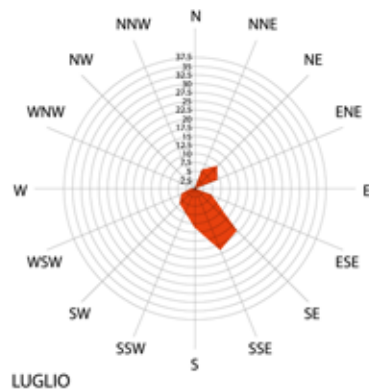
LE "LAVATRICI" DI PEGLI : REGIME DEI VENTI

Corso di Laurea in Ingegneria
Edile-Architettura A.A. 2012-2013
Corso di Progettazione Integrata
Docente: Renata Morbiducci

Team Studenti:
Cerisola Luca, Parodi Luca, Perazzo Alfredo, Benedetti Martina
Pedalino Giorgio, Mignone Luca, Campagna Giuseppe Andrea, Tamberi Marco
Herbst Marika, Quartini Giorgia, Bini Lorenzo
Vecchione Federica, Astengo Francesca, Policrisi Denise

TAV
17

Fig. 7 – Grafici mensili del regime dei venti.



LE STATISTICHE SUI VENTI (TRATTE DA "WWW.WINDFINDER.COM") SI BASANO SU OSSERVAZIONI REALI OTTENUTE DALLA STAZIONE METEO A GENOVA - SESTRI.

M E S E	VENTO DOMINANTE
GENNAIO	ENE 15 km/h
FEBBRAIO	ENE 15 km/h
MARZO	ENE 15 km/h
APRILE	SSE 16 km/h
MAGGIO	SSE 4 km/h
GIUGNO	SSE 9 km/h
LUGLIO	SSW 9 km/h
AGOSTO	S 9 km/h
SETTEMBRE	SSE 16 km/h
OTTOBRE	ENE 16 km/h
NOVEMBRE	ENE 15 km/h
DICEMBRE	ENE 15 km/h

I DATI SUI VENTI (TRATTI DA "WWW.ILMETEO.IT") SONO LE MEDIE MENSILI RIFERITE AGLI ULTIMI 30 ANNI, BASATE SUI RILEVAMENTI DELLA STAZIONE DI GENOVA - SESTRI.

LE "LAVATRICI" DI PEGLI : REGIME DEI VENTI

Corso di Laurea in Ingegneria
Edile-Architettura A.A. 2012-2013
Corso di Progettazione Integrata
Docente: Renata Morbiducci

Team Studenti:
Cerisola Luca, Parodi Luca, Perazzo Alfredo, Benedetti Martina
Pedalino Giorgio, Mignone Luca, Campagna Giuseppe Andrea, Tamberi Marco
Herbst Marika, Quartini Giorgia, Bini Lorenzo
Vecchione Federica, Astengo Francesca, Policrisi Denise

TAV
18

Fig. 7 – Grafici mensili del regime dei venti.

riportati rispettivamente sugli assi delle ascisse e delle ordinate. In entrambi i diagrammi, sono riportate a tratteggio le linee relative all'ora: si tratta dell'ora solare vera, che differisce dal tempo medio scandito dagli usuali orologi.

4.2.2 Caratteristiche/scelte tipologiche

Orientamento

È stato condotto uno studio dell'orientamento in relazione al sole. In particolare, è stata fatta un'analisi delle ombre utilizzando il modello 3D sviluppato in Autodesk Revit. Sono stati scelti quattro giorni significativi dell'anno solare, gli equinozi e i solstizi, e di questi sono riportati un fotogramma ciascuno per tre momenti specifici della giornata: un'ora dopo l'alba, mezzogiorno e un'ora prima del tramonto (Fig. 9).

È stato poi condotto uno studio per quantificare l'irraggiamento solare attraverso i dati e gli strumenti presenti sul sito www.solaritaly.enea.it.

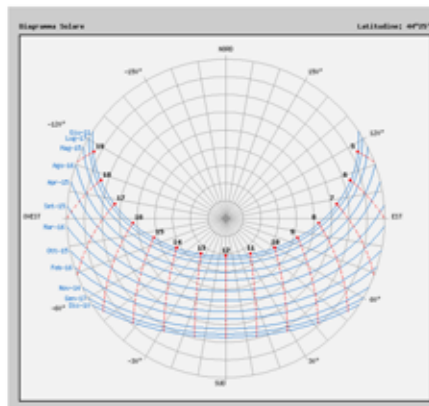
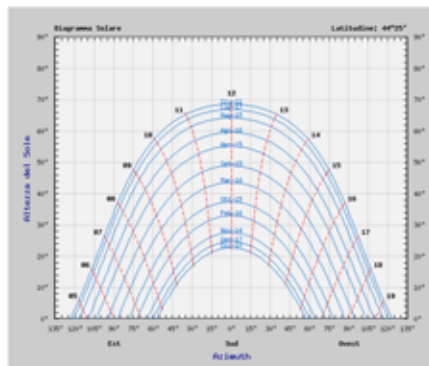
Nello specifico sono stati studiati i quattro prospetti ed è risultato che il prospetto con il maggior valore è quello Sud mentre quello minore è quello Nord (Tab. 1).

Prospetto Sud	3515 MJ/m ²
Prospetto Est	3069 MJ/m ²
Prospetto Nord	1312 MJ/m ²
Prospetto Ovest	3174 MJ/m ²

Tab. 1 – Valore dell'irraggiamento solare per i diversi orientamenti del caso studio.

Distribuzione spazi interni

La distribuzione delle diverse funzioni e dei relativi spazi d'uso influisce significativamente sulla condizione di benessere abitativo. È utile quindi lo studio della distribuzione interna per valutare se è possibile



Dati di input:
- Latitudine: 44°26'
- longitudine: 8°48'

Diagrammi

I diagrammi riportano le traiettorie del Sole (in termini di altezza e azimut solare) nell'arco di una giornata, per più giorni dell'anno. I giorni – uno per mese – sono scelti in modo che la declinazione solare del giorno coincida con quella media del mese. Nel riferimento polare, i raggi uniscono punti di uguale azimut, mentre le circonferenze concentriche uniscono punti di uguale altezza. Qui le circonferenze sono disegnate con passo di 10° a partire dalla circonferenza più esterna (altezza = 0°) fino al punto centrale (altezza = 90°). Invece nel riferimento cartesiano, gli angoli azimutale e dell'altezza solare sono riportati rispettivamente sugli assi delle ascisse e delle ordinate. In entrambi i diagrammi, a tratteggio sono riportate le linee relative all'ora: si tratta dell'ora solare vera, che differisce dal tempo medio scandito dagli usuali orologi.

tabella dell'altezza del sole

Ora	17 gen	16 feb	16 mar	15 apr	15 mag	11 giu	17 lug	16 ago	15 set	15 ott	14 nov	10 dic
03.00 CET												
04.00 CET												
05.00 CET												
06.00 CET												
07.00 CET												
08.00 CET												
09.00 CET												
10.00 CET												
11.00 CET												
12.00 CET												
13.00 CET												
14.00 CET												
15.00 CET												
16.00 CET												
17.00 CET												
18.00 CET												
19.00 CET												
20.00 CET												
21.00 CET												

tabella dell'angolo azimutale

Ora	17 gen	16 feb	16 mar	15 apr	15 mag	11 giu	17 lug	16 ago	15 set	15 ott	14 nov	10 dic
03.00 CET												
04.00 CET												
05.00 CET												
06.00 CET												
07.00 CET												
08.00 CET												
09.00 CET												
10.00 CET												
11.00 CET												
12.00 CET												
13.00 CET												
14.00 CET												
15.00 CET												
16.00 CET												
17.00 CET												
18.00 CET												
19.00 CET												
20.00 CET												
21.00 CET												

tabella per località

Giorno	Alba (CET)	Tramonto (CET)	Durata del giorno	Equazione del tempo	Fattore di eccentricità
17 gennaio	8h 02'	17h 06'	9h 04'	-9°20'	1.0340
16 febbraio	7h 30'	17h 48'	10h 19'	-1°41'	1.0251
16 marzo	6h 42'	18h 26'	11h 44'	-9°21'	1.0108
15 aprile	5h 47'	19h 03'	13h 15'	-0°14'	0.9932
15 maggio	5h 03'	19h 38'	14h 35'	3°56'	0.9779
11 giugno	4h 45'	20h 03'	15h 17'	0°48'	0.9691
17 luglio	5h 01'	20h 01'	15h 00'	-6°01'	0.9673
16 agosto	5h 33'	19h 26'	13h 53'	-4°41'	0.9747
15 settembre	6h 07'	18h 33'	12h 26'	4°39'	0.9886
15 ottobre	6h 43'	17h 38'	10h 55'	14°25'	1.0059
14 novembre	7h 24'	16h 55'	9h 31'	15°20'	1.0222
10 dicembre	7h 55'	16h 40'	8h 45'	7°08'	1.0319

DATI TRATTI DA ENEA

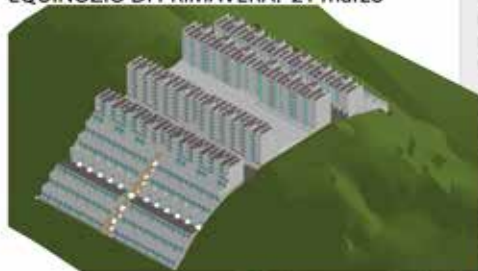
LE "LAVATRICI" DI PEGLI : DIAGRAMMI SOLARI

Corso di Laurea in Ingegneria
Edile-Architettura A.A. 2012-2013
Corso di Progettazione Integrata
Docente: Renata Morbiducci

Team Studenti:
Cersola Luca, Parodi Luca, Perazzo Alfredo, Benedetti Martina
Pedalino Giorgio, Mignone Luca, Campagna Giuseppe Andrea, Tamberi Marco
Herbst Marika, Quartini Giorgia, Bini Lorenzo
Vecchione Federica, Astengo Francesca, Policrisi Denise

TAV
23

EQUINOZIO DI PRIMAVERA: 21 marzo



alba 6:31

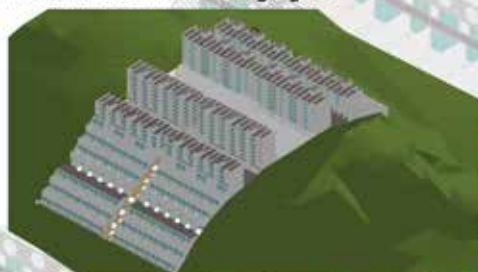


12:00



tramonto 18:33

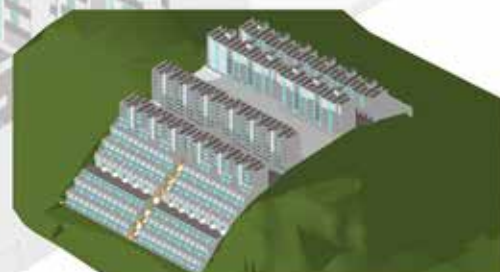
SOLSTIZIO D'ESTATE: 21 giugno



alba 4:46



12:00



tramonto 20:07

LE "LAVATRICI" DI PEGLI : OMBREGGIAMENTO

Corso di Laurea in Ingegneria
Edile-Architettura A.A. 2012-2013
Corso di Progettazione Integrata
Docente: Renata Morbiducci

Team Studenti:
Cerisola Luca, Parodi Luca, Perazzo Alfredo, Benedetti Martina
Pedalino Giorgio, Mignone Luca, Campagna Giuseppe Andrea, Tamberi Marco
Herbst Marika, Quartini Giorgia, Bini Lorenzo
Vecchione Federica, Astengo Francesca, Policrisi Denise



TAV
24

Fig. 9 – Studio delle ombre del caso studio realizzato con il software Autodesk Revit.

ottimizzare e sfruttare al meglio gli apporti di calore invernale, il raffrescamento naturale estivo e lo sfruttamento della luce naturale diurna.

È stata dunque studiata per ciascuna tipologia di edificio la distribuzione degli spazi interni privati e condominiali e la disposizione delle diverse stanze all'interno degli alloggi.

Rapporto S/V

Il rapporto tra superficie disperdente (S) e il volume riscaldato della costruzione (V) è un parametro che quantifica la compattezza dell'edificio. A parità di altre caratteristiche, tanto più è basso tale valore tanto più la costruzione risulta compatta e dunque più efficiente dal punto di vista energetico.

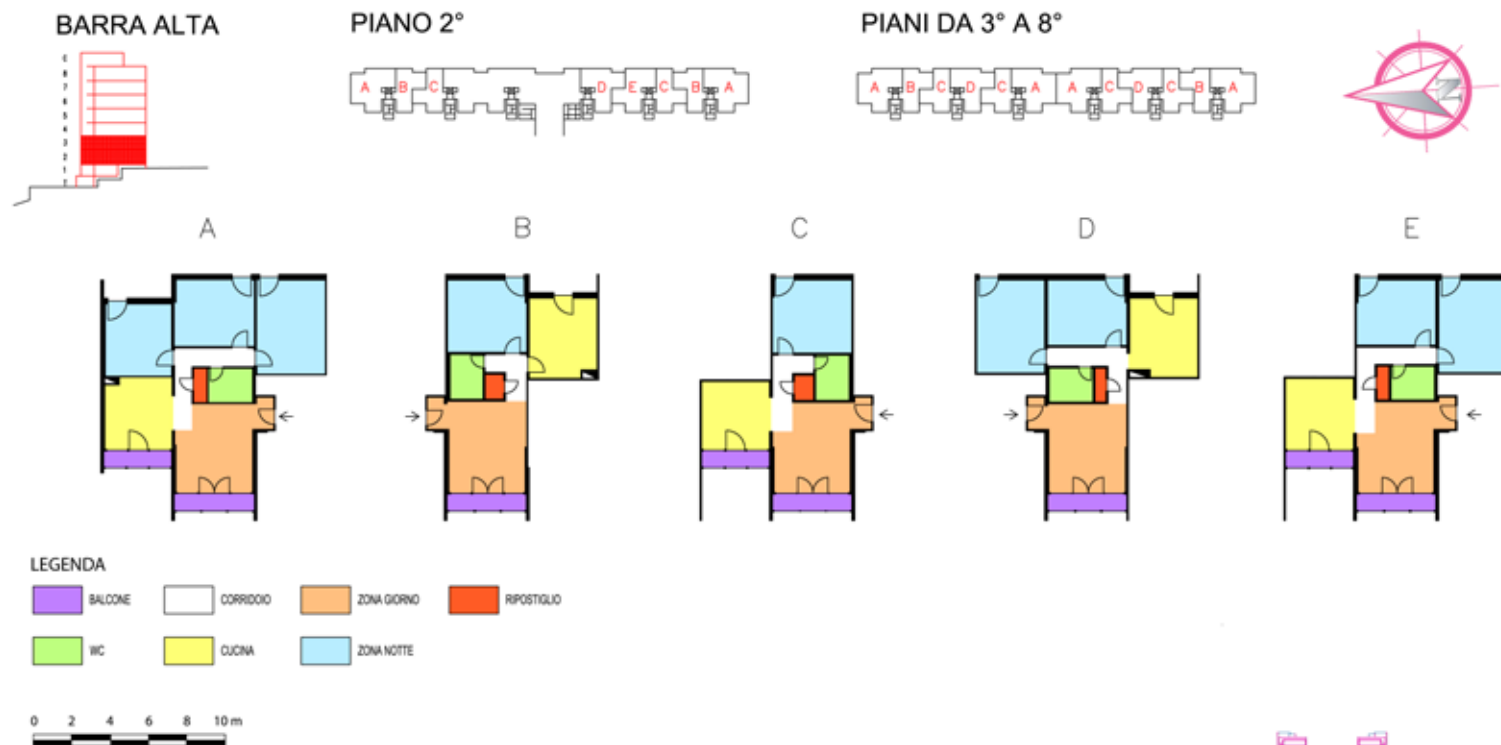
È stato dunque studiato il rapporto S/V della costruzione per definirne il grado di compattezza di ciascuna tipologia di edificio. Si può notare come tale rapporto risulti minore per la Barra Alta, che con 0,34 risulta essere la tipologia di edificio più compatto; mentre per la Gradonata si arriva ad avere un rapporto pari a 0,88 e quindi con una più elevata quantità di superfici disperdenti che risulta quasi essere pari al volume dell'edificio.

	S	V	S/V
Barra Alta	8813 m ²	25997 m ³	0,34
Barra Bassa	7382 m ²	17879 m ³	0,41
Gradonata Lunga	18348 m ²	20736 m ³	0,88

Tab. 2 – Studio della compattezza delle diverse tipologie di edificio.

Percentuale di superfici trasparenti e la loro posizione

Un altro parametro importante analizzato per quanto riguarda l'aspetto tipologico dell'edificio sono le superfici trasparenti. L'irraggiamento solare e le prestazioni igrotermiche di una superficie trasparente hanno caratteristiche molto diverse rispetto a quelle di una corrispondente superficie opaca. Le superfici trasparenti sono elementi dell'involucro edilizio che hanno un rilevante peso per quanto riguarda il guadagno diretto di calore invernale, per il controllo di



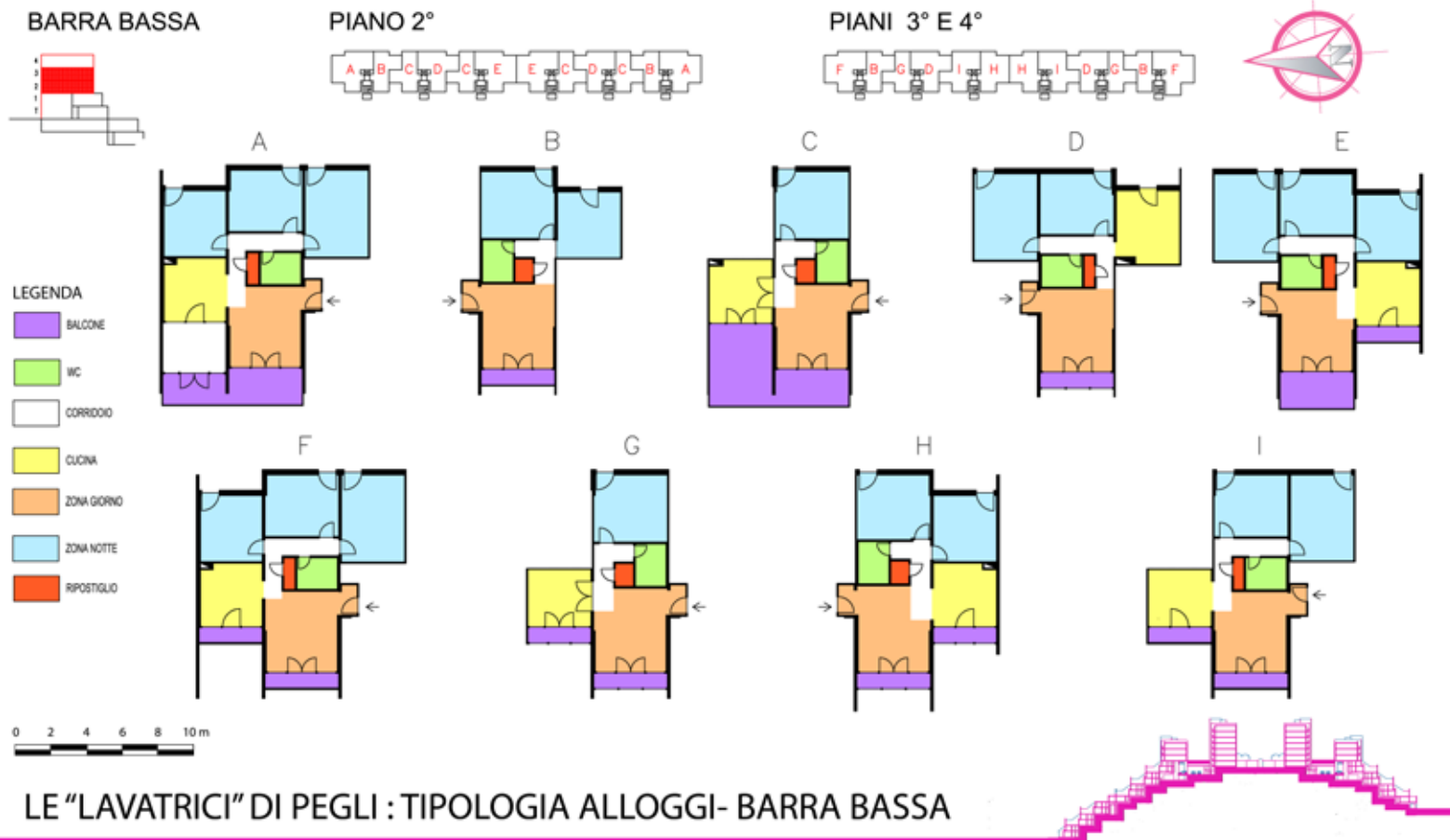
LE "LAVATRICI" DI PEGLI : TIPOLOGIA ALLOGGI- BARRA ALTA

Corso di Laurea in Ingegneria
Edile-Architettura A.A. 2012-2013
Corso di Progettazione Integrata
Docente: Renata Morbiducci

Team Studenti:
Cerisola Luca, Parodi Luca, Perazzo Alfredo, Benedetti Martina
Pedalino Giorgio, Mignone Luca, Campagna Giuseppe Andrea, Tamberi Marco
Herbst Marika, Quartini Giorgia, Bini Lorenzo
Vecchione Federica, Astengo Francesca, Policrisi Denise

TAV
29

Fig. 10 – Studio della distribuzione interna degli alloggi della Barra Alta.



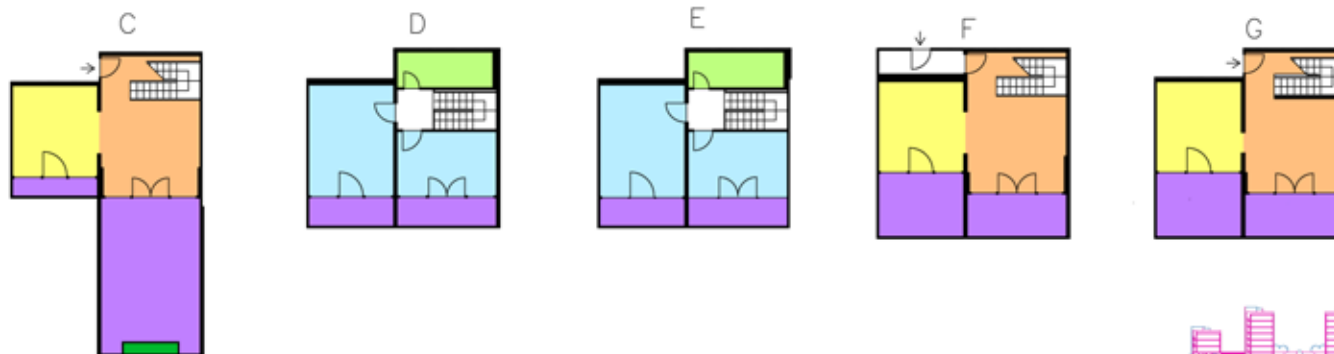
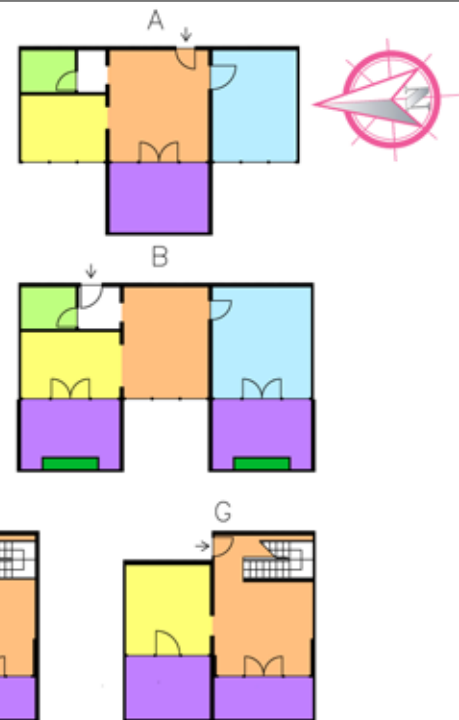
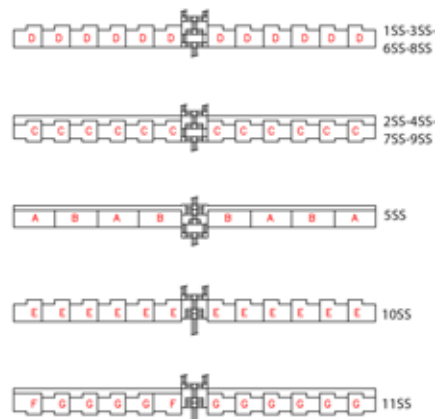
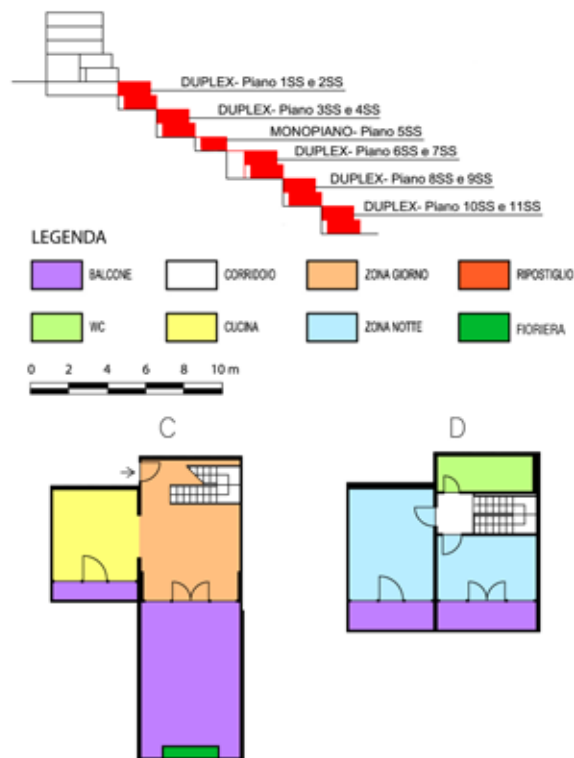
Corso di Laurea in Ingegneria
Edile-Architettura A.A. 2012-2013
Corso di Progettazione Integrata
Docente: Renata Morbiducci

Team Studenti:
Cerisola Luca, Parodi Luca, Perazzo Alfredo, Benedetti Martina
Pedalino Giorgio, Mignone Luca, Campagna Giuseppe Andrea, Tamberi Marco
Herbst Marika, Quartini Giorgia, Bini Lorenzo
Vecchione Federica, Astengo Francesca, Policrisi Denise

TAV
30

Fig. 11 – Studio della distribuzione interna degli alloggi della Barra Basso.

GRADONATA LUNGA



LE "LAVATRICI" DI PEGLI : TIPOLOGIA ALLOGGI- GRADONATA LUNGA

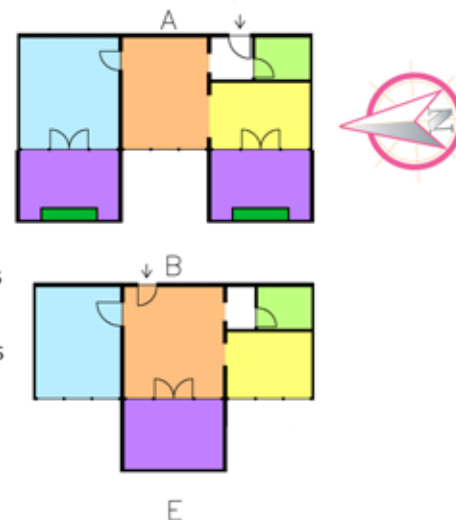
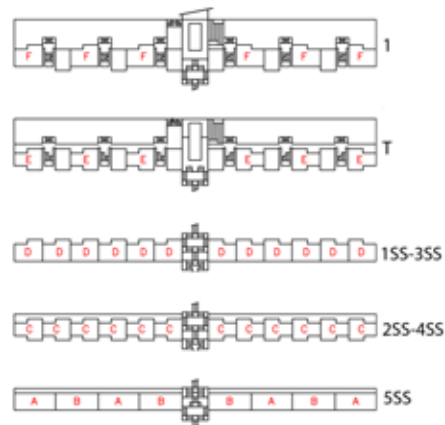
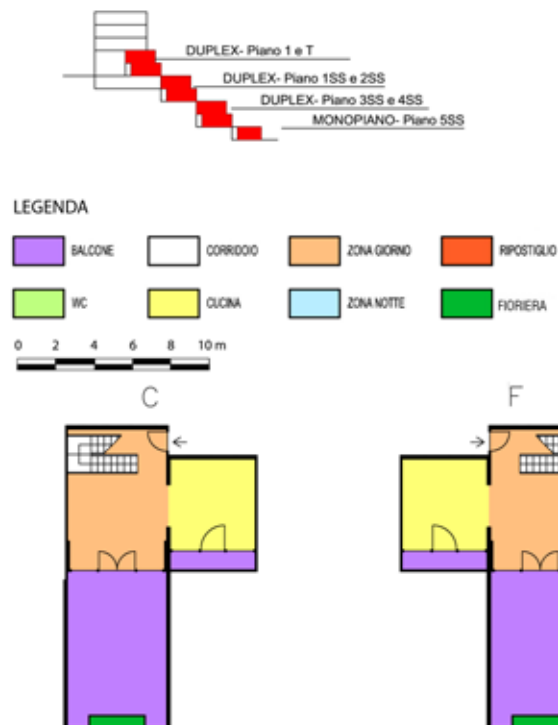
Corso di Laurea in Ingegneria
Edile-Architettura A.A. 2012-2013
Corso di Progettazione Integrata
Docente: Renata Morbiducci

Team Studenti:
Cerisola Luca, Parodi Luca, Perazzo Alfredo, Benedetti Martina
Pedalino Giorgio, Mignone Luca, Campagna Giuseppe Andrea, Tamberi Marco
Herbst Marika, Quartini Giorgia, Bini Lorenzo
Vecchione Federica, Astengo Francesca, Policrisi Denise

TAV
31

Fig. 12 – Studio della distribuzione interna degli alloggi della Gradonata Lunga.

GRADONATA CORTA



LE "LAVATRICI" DI PEGLI : TIPOLOGIA ALLOGGI- GRADONATA CORTA

Corso di Laurea in Ingegneria
Edile-Architettura A.A. 2012-2013
Corso di Progettazione Integrata
Docente: Renata Morbiducci

Team Studenti:
Cerisola Luca, Parodi Luca, Perazzo Alfredo, Benedetti Martina
Pedalino Giorgio, Mignone Luca, Campagna Giuseppe Andrea, Tamberi Marco
Herbst Marika, Quartini Giorgia, Bini Lorenzo
Vecchione Federica, Astengo Francesca, Policrisi Denise

TAV
32

Fig. 13 – Studio della distribuzione interna degli alloggi della Gradonata Corta.

surriscaldamento estivo e per l'ottimizzazione degli apporti di luce naturale. Anche per questa caratteristica a seconda delle differenti zone climatiche vi sono diversi percentuali e posizioni ottimali delle superfici trasparenti. Per la zona nella quale si trova l'edificio si suggerisce che le parti trasparenti siano il 10% dell'involucro edilizio esposto a Nord, il 30-40% di quello a Sud e il 15-25% di quelli esposti a Est e Ovest. È stato studiato lo stato di fatto di ciascuna tipologia di edificio presente nel quartiere oggetto dello studio al fine di valutare tali percentuali e comprendere quanto esse si avvicinino o meno all'ottimo.

	Sud	Est	Nord	Ovest
Barra Alta	0 %	20,4 %	0 %	48,9 %
Barra Bassa	0 %	13,1 %	0 %	47,4 %
Gradonata Lunga	0 %	0 %	0 %	20,6 %

Tab. 2 – Studio della percentuale di superfici trasparenti per orientamento delle diverse tipologie di edificio.

4.2.3 Caratteristiche/scelte di dettaglio

L'analisi delle caratteristiche di dettaglio consente di studiare le tecniche costruttive e i materiali che costituiscono la costruzione e di determinarne le relative prestazioni. Nello specifico, ci si è concentrati sulle prestazioni energetiche dell'involucro edilizio e dell'intera costruzione.

Al fine di identificare gli elementi dell'involucro edilizio che racchiudono il volume riscaldato sono state identificate le zone termiche e le zone non riscaldate dell'edificio.

Sono stati dunque analizzati nel dettaglio gli elementi dell'involucro edilizio grazie all'attività sul campo e allo studio della documentazione presente negli archivi, relativa al progetto originale che il Comune di Genova ha messo a disposizione.

Le caratteristiche principali degli elementi costruttivi sono: fondazione su pilastri; copertura piana; pareti verticali in cemento armato o in muratura con o senza strati di isolamento termico interno o esterno.

A titolo esemplificativo si riportano alcuni degli elementi che costituiscono l'involucro edilizio con i relativi dettagli.

Serramenti lato ovest

I serramenti sono costituiti prevalentemente da elementi con telai in metallo e vetro doppi con tapparelle come sistemi di oscuramento per le zone riscaldate mentre per le zone non riscaldate sono presenti serramenti con telaio metallico, vetro singolo e senza sistema di oscuramento. È possibile ricondurre tutti gli elementi trasparenti a poche tipologie che hanno queste caratteristiche e che si ripetono in tutto il quartiere. A titolo esemplificativo si riporta il serramento a tutta altezza presente sulla facciata ovest delle Barre Alte e si affaccia al balcone, che in alcuni casi è stato chiuso trasformandolo in veranda per costituire una zona di filtro a protezione dei venti freddi che vi sono durante l'inverno (Fig. 18).

Si riporta inoltre il serramento presente sul lato interno delle barre alte verso il giardino o delle barre basse verso la strada. Esso è costituito da una parte sottostante fissa e una parte sovrastante apribile (Fig. 19).

4.3. Stato di progetto

4.3.1. Obiettivi e strategie

L'obiettivo principale del progetto di riqualificazione è quello di identificare soluzioni operative che abbiano i seguenti fattori comuni:

- Risparmio energetico: indica la riduzione annua del consumo di energia primaria.
- Tempo di ritorno dell'investimento: valuta il tempo che occorre per rientrare della spesa iniziale e iniziare ad avere un guadagno.
- Durabilità dell'intervento: indica la vita utile della soluzione analizzata in confronto con quella dell'intero edificio.
- Fattibilità dell'intervento: valuta l'eseguitività dell'intervento.
- Priorità dell'intervento: indica la reale urgenza di realizzare l'intervento.
- Riduzione dell'energia consumata.

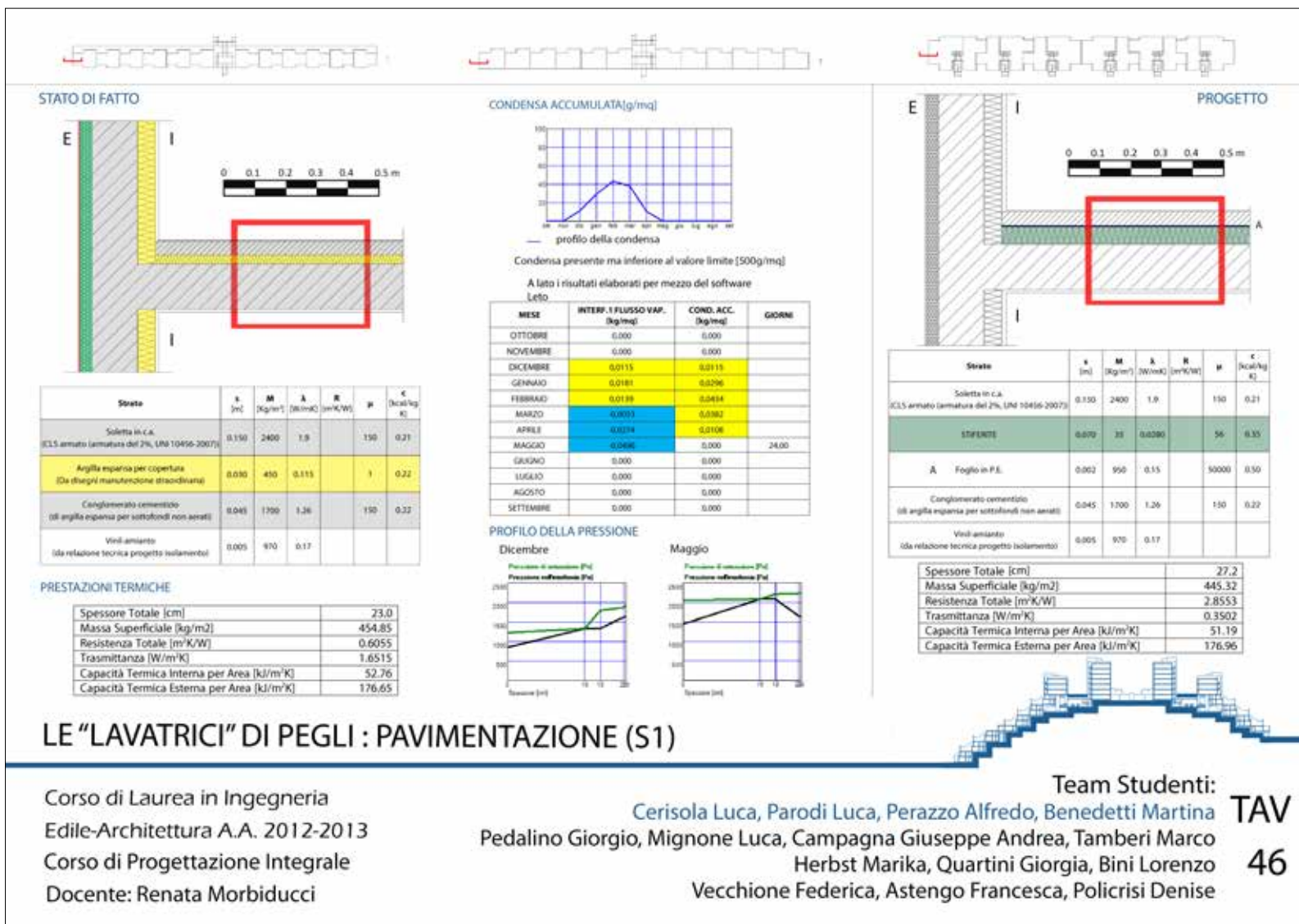


Fig. 14 – Studio di dettaglio della stratigrafia del primo solaio.

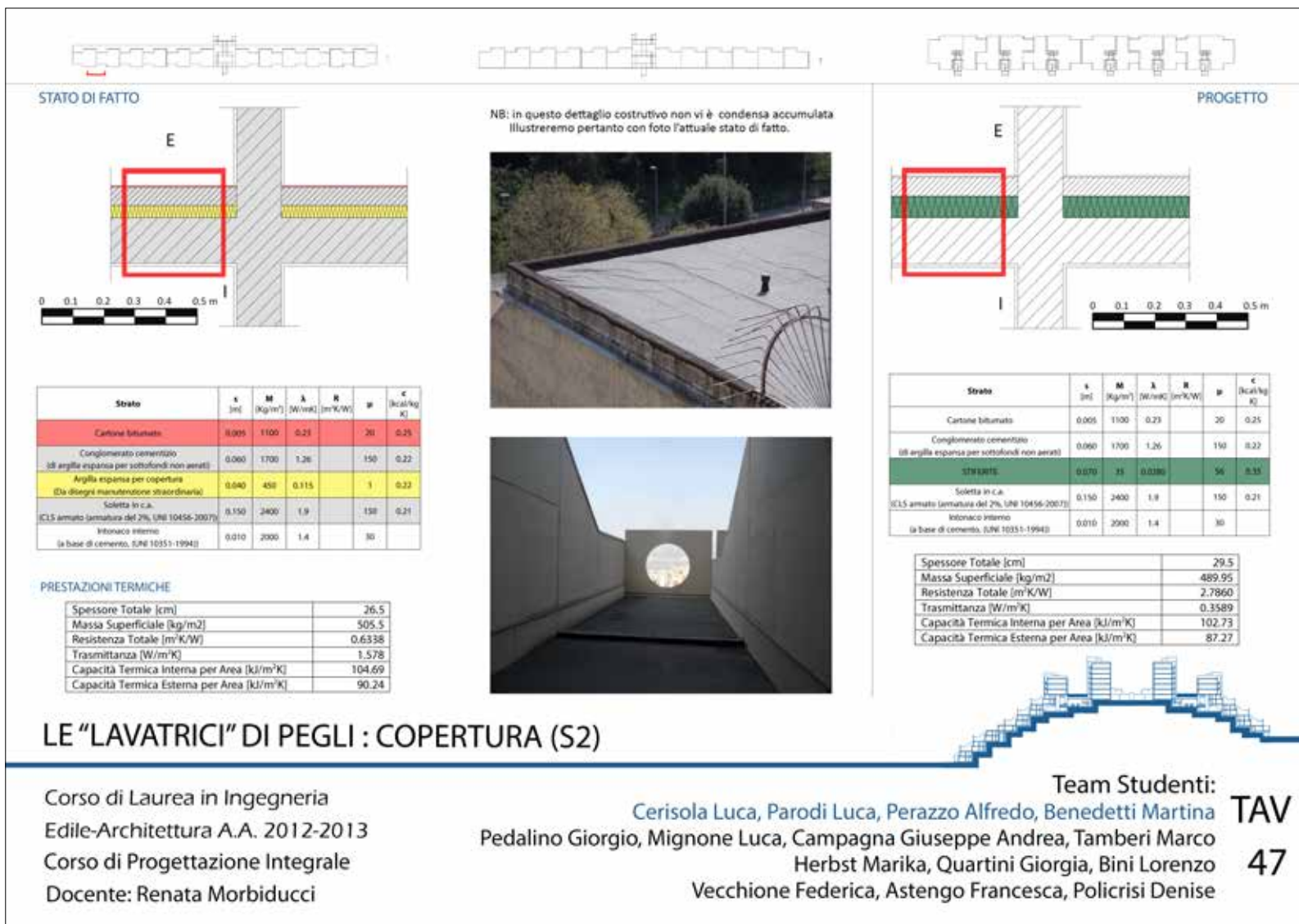


Fig. 15 – Studio di dettaglio della stratigrafia della copertura piana.

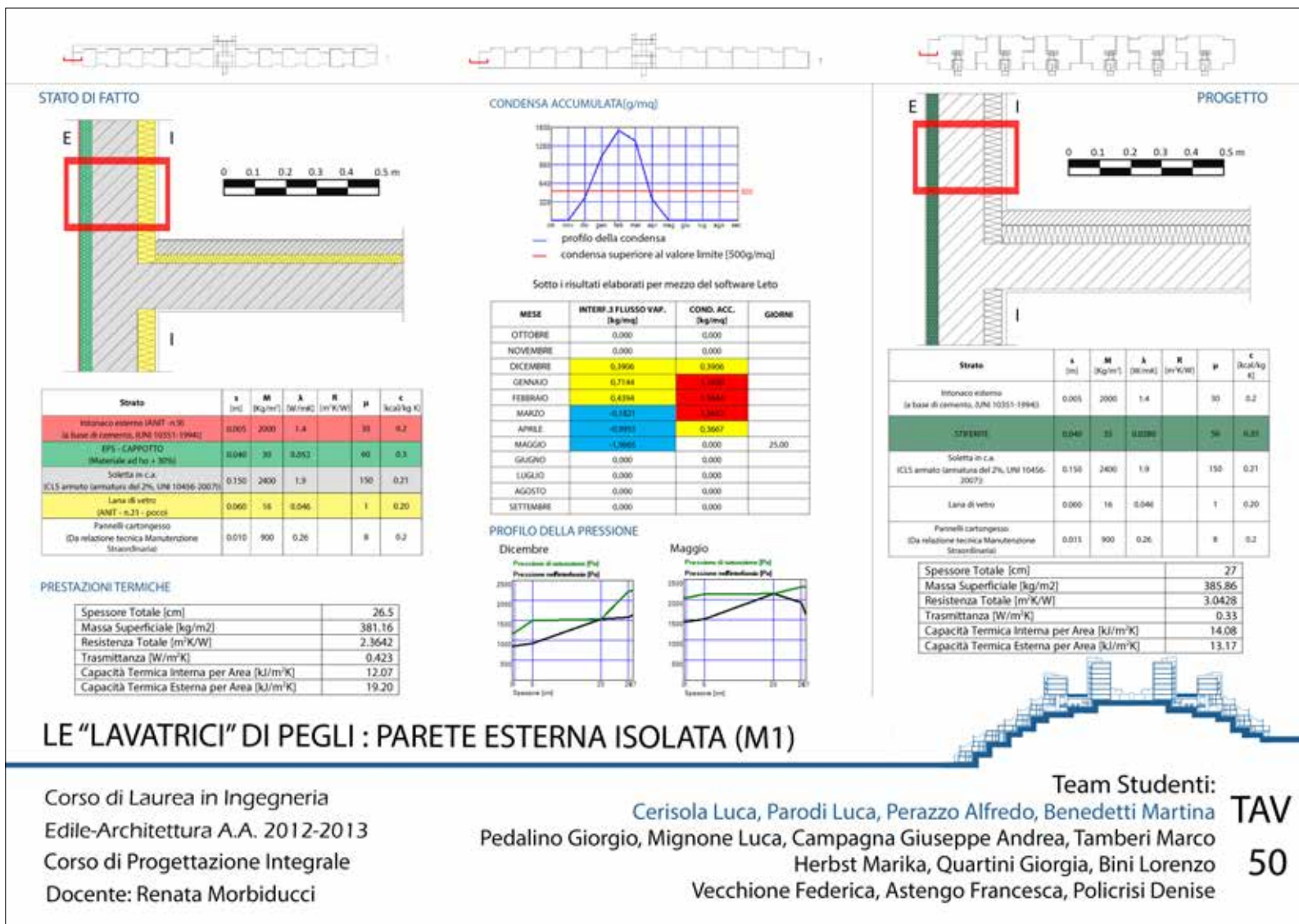
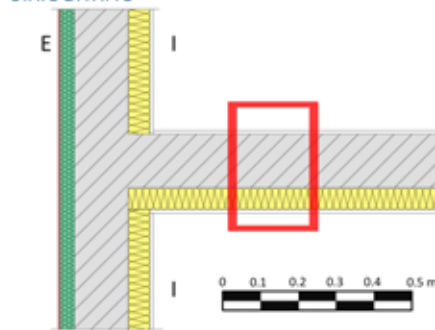


Fig. 16 – Studio di dettaglio della stratigrafia della parete esterna.

STATO DI FATTO

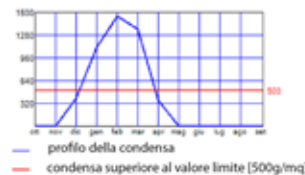


Strato	s [m]	M [kg/m²]	λ [W/mK]	R [m²K/W]	μ [g/m²]	c [kcal/kg K]
Soletta in c.a. (CLS armato (armatura del 2%, UNI 10456-2007))	0.150	2400	1.9		150	0.21
Lana di vetro	0.060	16	0.046		1	0.20
Pannelli cartongesso	0.010	900	0.26		8	0.2

PRESTAZIONI TERMICHE

Spessore Totale [cm]	22.0
Massa Superficiale [kg/m²]	369.96
Resistenza Totale [m²K/W]	1.6814
Trasmittanza [W/m²K]	0.595
Capacità Termica Interna per Area [kJ/m²K]	13.27
Capacità Termica Esterna per Area [kJ/m²K]	84.89

CONDENSA ACCUMULATA [g/mq]

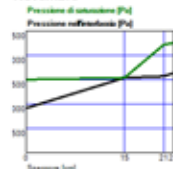


Sotto i risultati elaborati per mezzo del software Leto

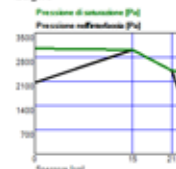
MESE	INTERF.1 FLUSSO VAP. [kg/mq]	COND. ACC. [kg/mq]	COND. ACC. [kg/mq]	GIORNI
OTTOBRE	0.000	0.000	0.000	0.000
NOVEMBRE	0.2650	0.2650	0.000	0.000
DICEMBRE	1.1852	1.4503	0.000	0.000
GENNAIO	1.4916	2.7134	0.000	0.000
FEBBRAIO	1.1535	4.0954	0.000	0.000
MARZO	0.6233	4.7187	0.000	0.000
APRILE	-0.2415	4.4772	0.000	0.000
MAGGIO	-1.2705	3.2067	0.000	0.000
GIUGNO	-2.8167	0.3959	0.000	0.000
LUGLIO	-5.3670	0.000	-1.4814	0.000
AGOSTO	0.000	0.000	0.000	0.000
SETTEMBRE	0.000	0.000	0.000	0.000

PROFILO DELLA PRESSIONE

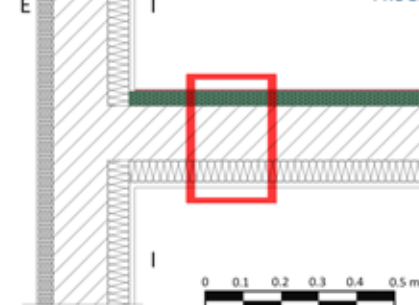
Novembre



Luglio



PROGETTO



Strato	s [m]	M [kg/m²]	λ [W/mK]	R [m²K/W]	μ [g/m²]	c [kcal/kg K]
Intonaco esterno (a base di cemento, UNI 10151-1994)	0.005	2000	1.4		30	0.2
STEFERITE	0.040	35	0.0280		56	0.35
Soletta in c.a. (CLS armato (armatura del 2%, UNI 10456-2007))	0.150	2400	1.9		150	0.21
Lana di vetro	0.060	16	0.046		1	0.20
Pannelli cartongesso	0.015	900	0.26		8	0.2

Spessore Totale [cm]	17.0
Massa Superficiale [kg/m²]	400
Resistenza Totale [m²K/W]	0.3529
Trasmittanza [W/m²K]	2.83
Capacità Termica Interna per Area [kJ/m²K]	82.28
Capacità Termica Esterna per Area [kJ/m²K]	82.28

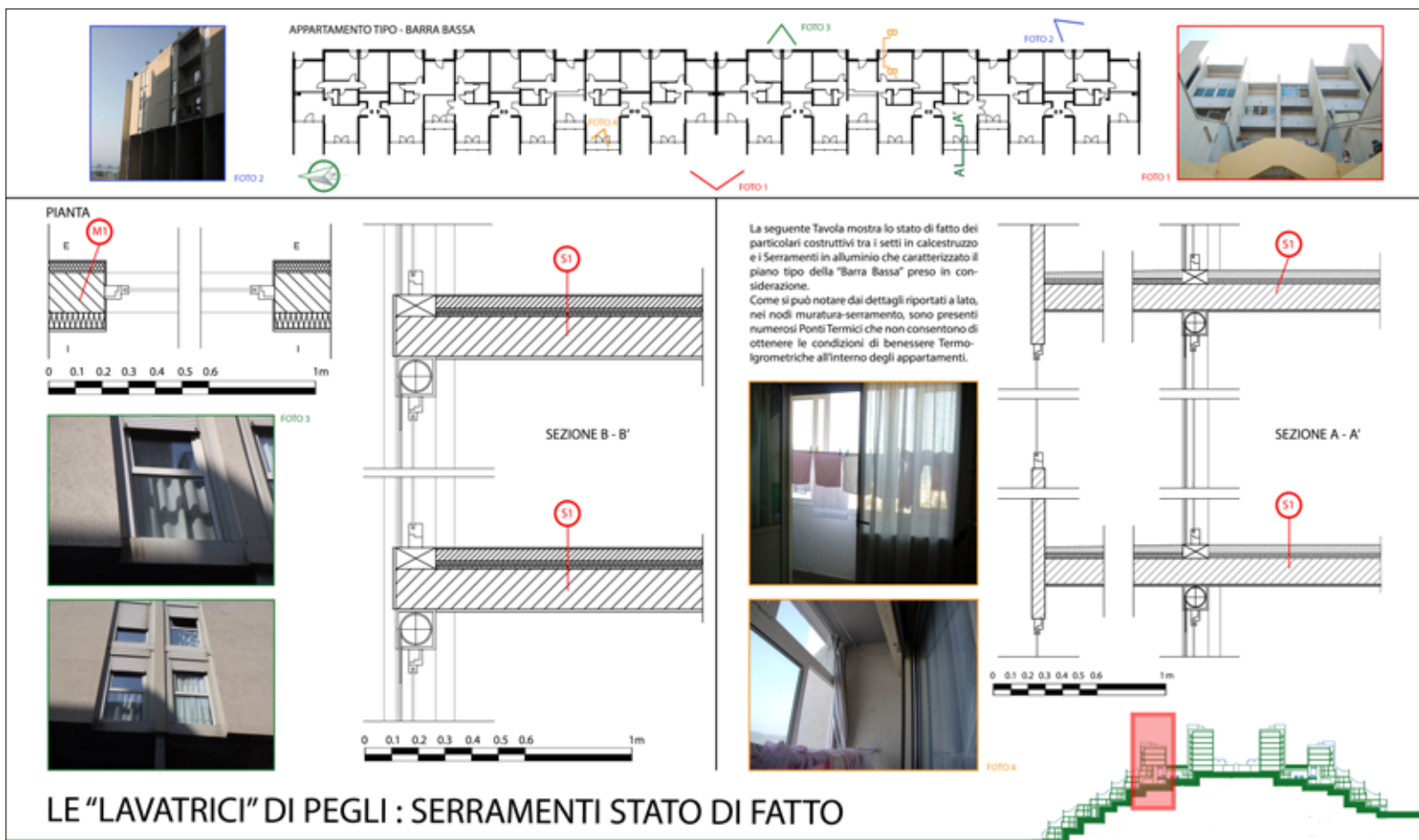
LE "LAVATRICI" DI PEGLI : PARETE INTERNA CORRIDOI-GRADONI (M4)

Corso di Laurea in Ingegneria
Edile-Architettura A.A. 2012-2013
Corso di Progettazione Integrata
Docente: Renata Morbiducci

Team Studenti:
Cerisola Luca, Parodi Luca, Perazzo Alfredo, Benedetti Martina
Pedalino Giorgio, Mignone Luca, Campagna Giuseppe Andrea, Tamberi Marco
Herbst Marika, Quartini Giorgia, Bini Lorenzo
Vecchione Federica, Astengo Francesca, Policrisi Denise

TAV
52

Fig. 17 – Studio di dettaglio della stratigrafia della parete divisoria tra interno e zona non riscaldata esterna.



Corso di Laurea in Ingegneria
Edile-Architettura A.A. 2012-2013
Corso di Progettazione Integrata
Docente: Renata Morbiducci

Team Studenti:
Cerisola Luca, Parodi Luca, Perazzo Alfredo, Benedetti Martina
Pedalino Giorgio, Mignone Luca, Campagna Giuseppe Andrea, Tamberi Marco
Herbst Marika, Quartini Giorgia, Bini Lorenzo
Vecchione Federica, Astengo Francesca, Policrisi Denise

TAV
53

Fig. 18 – Sezione verticale in corrispondenza del balcone da cui è possibile vedere il serramento portafinestra prevalente sulla facciata lato strada delle Barre Alte.
Fig. 19 – Studio di dettaglio del serramento sulla facciata lato giardino delle Barre Alte.

- Riduzione delle risorse consumate (non risorse energetiche ma acqua, materie prime, suolo...).
- Riduzione dell'impatto ambientale: riduzione delle emissioni di CO2 equivalente.
- Miglioramento del benessere abitativo: aumento delle condizioni di benessere per gli utenti.

Dall'analisi dello stato di fatto e dalle considerazioni fatte sono emerse le criticità a cui si cercherà di porre rimedio, in particolar modo per quanto concerne la scarsa attenzione al contenimento dei consumi energetici e le ricadute ambientali attribuibili alla insufficiente efficienza energetica di tutto il sistema edificio/impianto. Ciò è da mettere in relazione alla limitata presenza di isolamento termico delle pareti esterne, del primo solaio e della copertura, ai problemi di infiltrazione dell'aria dei serramenti e all'insoddisfacente rendimento dell'impianto di climatizzazione invernale. Poiché le condizioni di orientamento non sono modificabili, essendo l'oggetto di studio un edificio esistente, è necessario ottimizzare le prestazioni in termini di efficienza energetica.

Un'attenta valutazione delle opportunità di tipo tecnico, economico-finanziario e ambientale ha consentito di elaborare una strategia atta a minimizzare il fabbisogno di energia primaria richiesto dall'edificio. La soluzione proposta è finalizzata al recupero dei costi addizionali attraverso la riduzione dei consumi energetici conseguenti alle scelte effettuate.

Il primo approccio per l'analisi degli interventi è stato quello di analizzare il sito e di indagare a livello costitutivo, costruttivo ed impiantistico lo stato attuale con particolare riferimento alle strutture orizzontali e verticali, al tipo di infissi e al tipo di impianto per il riscaldamento.

Le problematiche maggiori riguardano infatti l'impianto di riscaldamento e i serramenti, con la necessità di intervenire sia sull'involucro che sull'impianto per offrire un maggior benessere abitativo e un maggior risparmio energetico.

In seguito alla scelta di uno tra i possibili interventi che si proporranno sarà possibile raggiungere i limiti di legge in termini di valori limite della trasmittanza termica dell'involucro. Dall'analisi dello stato attuale degli edifici in oggetto si evince chiaramente che essi presentano valori di trasmittanza termica superiori ai 'valori limite'.

4.3.2. Proposte progettuali

Le proposte progettuali ipotizzate riguardano diverse tipologie di interventi che prevedono principalmente la riqualificazione degli edifici orientata al miglioramento nel regime invernale.

Nello specifico sono stati ipotizzati i seguenti interventi:

- Isolamento termico del primo piano attraverso l'aggiunta di uno strato isolante termico.
- Isolamento termico del tetto attraverso l'aggiunta di uno strato isolante termico.
- Isolamento termico delle facciate attraverso l'aggiunta di uno strato isolante termico.
- Isolamento termico delle pareti/pavimenti tra zone di riscaldamento e zone non riscaldate attraverso l'aggiunta di uno strato isolante in estradosso.
- Isolamento termico delle pareti/pavimenti delle zone non riscaldate tramite il rifacimento dello strato di finitura a cappotto con materiali nanotecnologici, essendo già presente uno strato isolante esterno, e aggiunta di uno strato isolante in estradosso nei pavimenti.
- Sostituzione delle finestre (lato EST - zone di riscaldamento) con nuovi serramenti ad alta prestazione energetica.
- Sostituzione delle finestre (lato OVEST - zone di riscaldamento) con nuovi serramenti ad alta prestazione energetica.
- Sostituzione delle finestre (zone non riscaldate) con nuovi serramenti ad alta prestazione energetica.
- Sostituzione della centrale termica con un impianto nuovo e ad alte prestazioni.

Sostituzione della centrale termica e del sistema di regolazione con un nuovo sistema di generazione ad alte prestazioni; installazione di sistemi di controllo di zona e sostituzione dei motori dei ventilatori con motori a velocità variabile.

Di seguito si riportano i dettagli delle verifiche effettuate di ciascuna proposta progettuale per l'involucro edilizio.

Ogni soluzione è stata studiata considerando diversi indicatori quali: il risparmio energetico, la sostenibilità economica, la fattibilità e la durabilità dell'intervento. Tali valutazioni consentono di avere un quadro complessivo delle diverse soluzioni e poter stabilire quale risulta essere l'ottimale.

Nella seguente tabella si riportano i risultati delle simulazioni e valutazioni fatte per l'edificio denominato 'barra alta' (Tab. 3). Da tale tabella si evince come le due soluzioni progettuali che portano un maggior risparmio energetico sono quelle sui serramenti lato ovest e sul sistema di generazione e regolazione. Le soluzioni invece che hanno un minor tempo di ritorno sono quelle sul sistema impiantistico poiché

Descrizione	Risparmio Energetico	Tempo di Ritorno	Durabilità	Fattibilità
Isolamento primo solaio	1,3 %	22 anni	Buona	Facile
Isolamento copertura	1,1 %	32 anni	Buona	Facile
Isolamento pareti verticali	1,3 %	43 anni	Buona	Difficile
Isolamento divisori tra ZR / ZNR	1,5 %	32 anni	Buona	Difficile
Sostituzione serramenti (lato Ovest)	27,1 %	18 anni	Buona	Facile
Sostituzione serramenti (lato Est)	11,7 %	19 anni	Buona	Facile
Sostituzione sistema di generazione	14,1 %	2 anni	Buona	Molto facile
Sostituzione sistema di generazione e di regolazione	34,4 %	3 anni	Buona	Facile

Tab. 3 – Valutazione delle singole proposte progettuali analizzandone diverse caratteristiche.

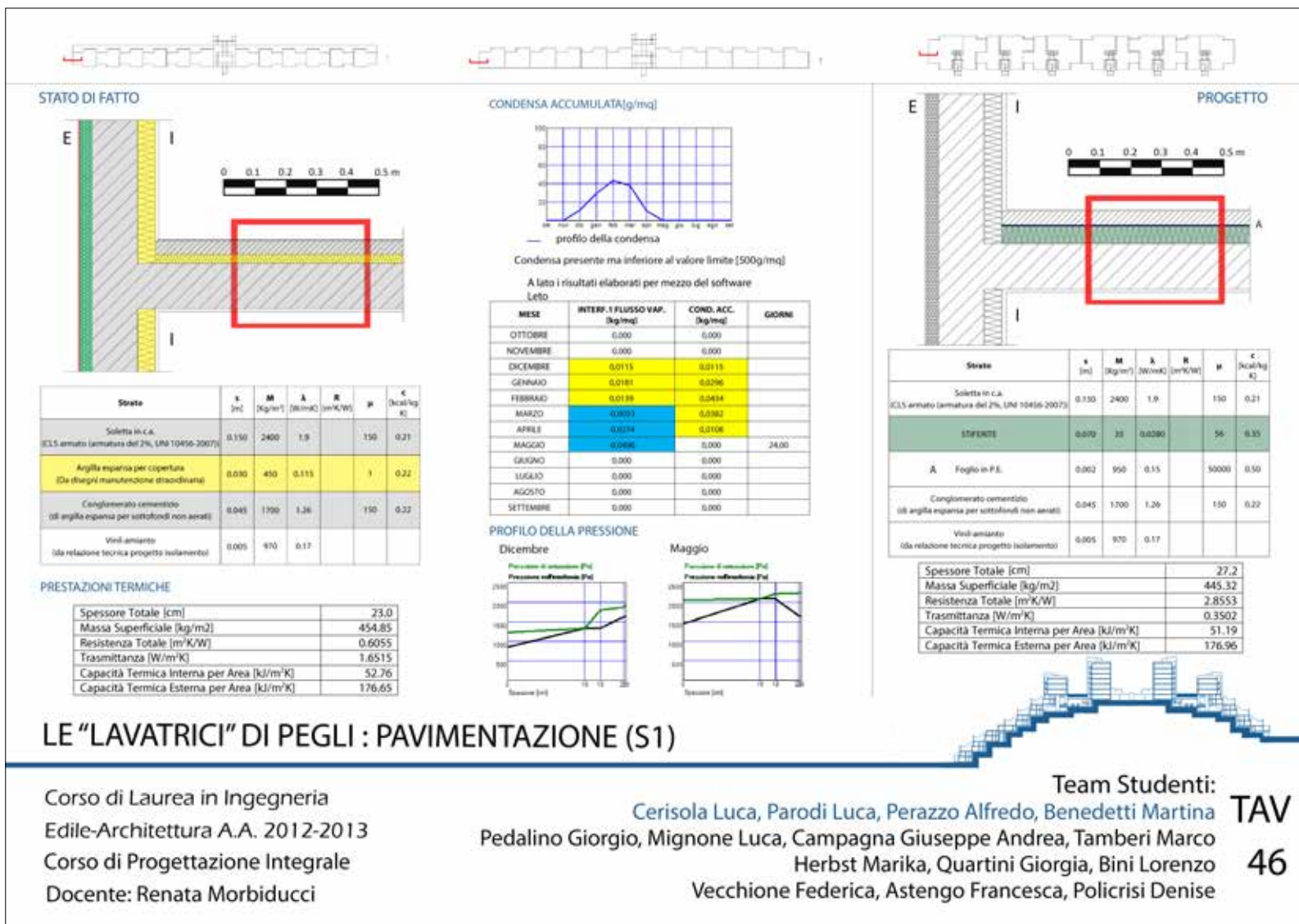


Fig. 20 – Studio di dettaglio dell’isolamento termico del primo solaio.

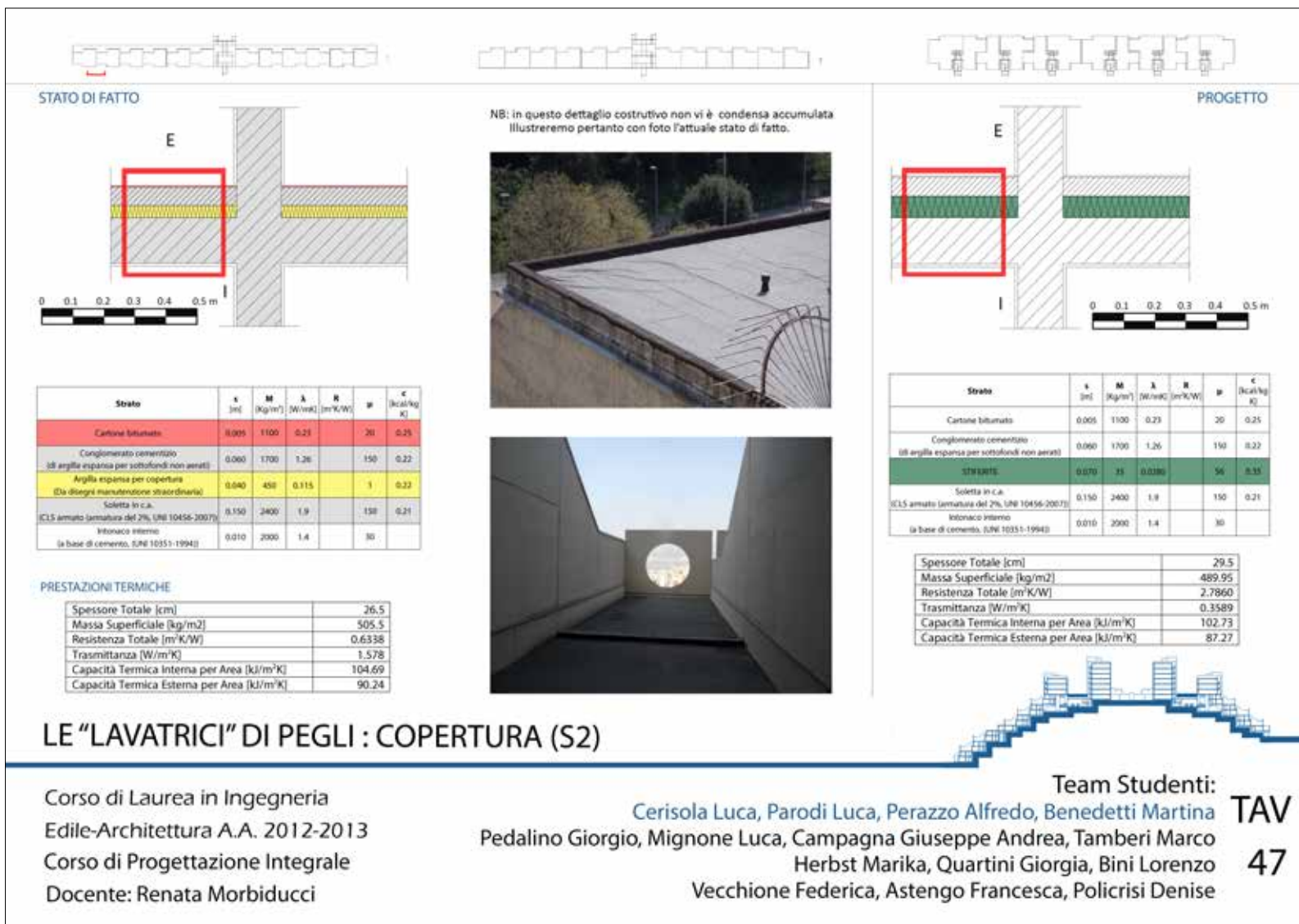


Fig. 21 – Studio di dettaglio dell’isolamento termico della copertura.

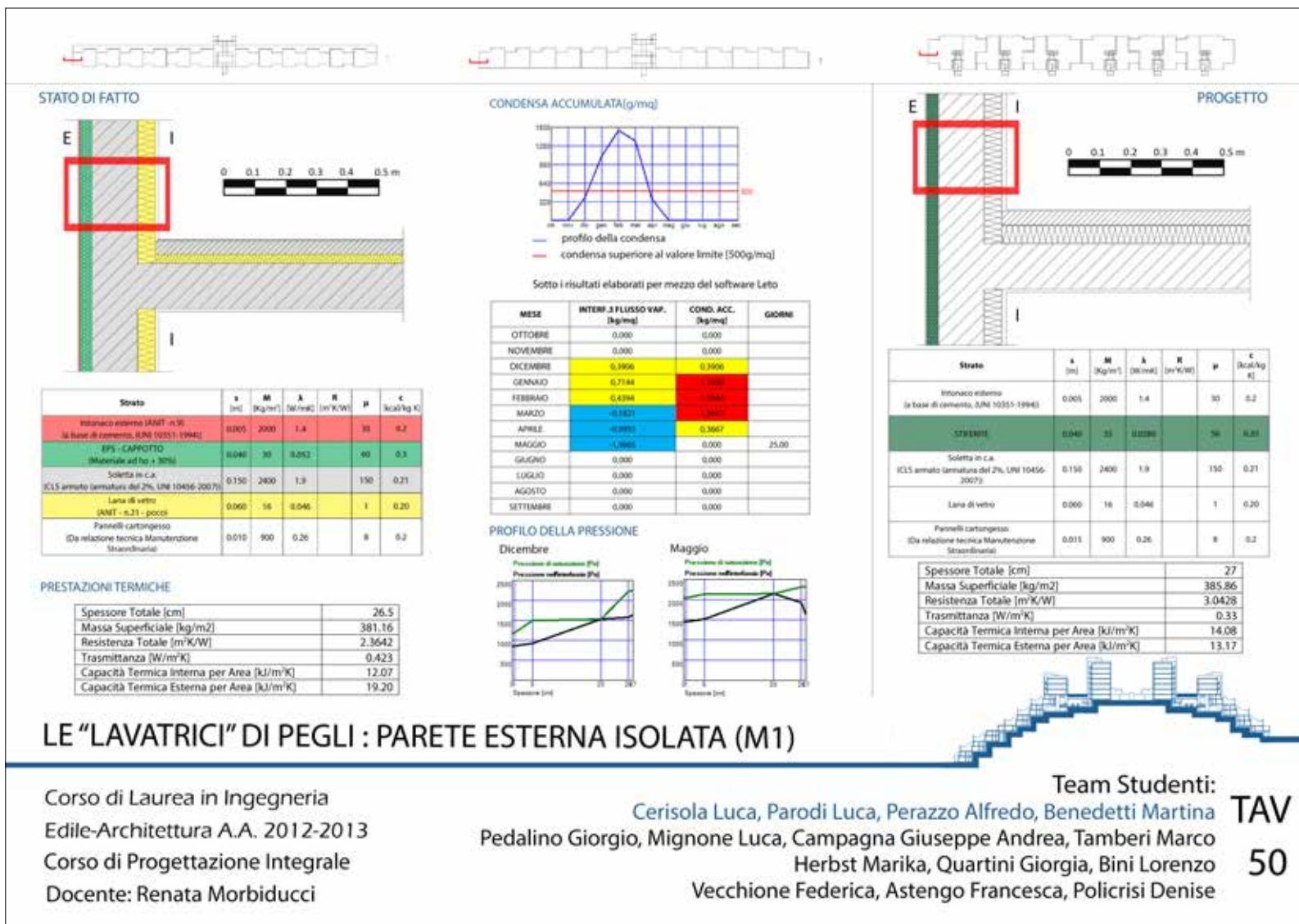
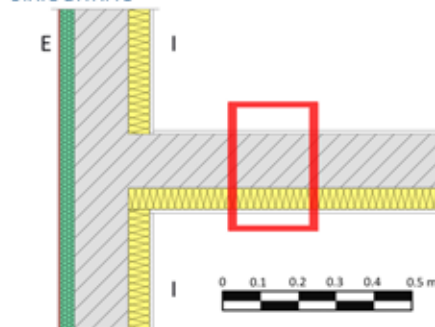


Fig. 22 – Studio di dettaglio dell’isolamento termico della parete esterna.

STATO DI FATTO

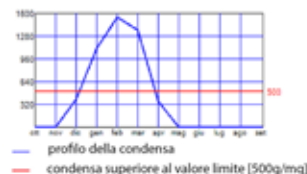


Strato	s [m]	M [kg/m²]	λ [W/mK]	R [m²K/W]	μ [g/m²]	c [kcal/kg K]
Soletta in c.a. (CLS armato (armatura del 2%, UNI 10456-2007))	0.150	2400	1.9		150	0.21
Lana di vetro	0.060	16	0.046		1	0.20
Pannelli cartongesso	0.010	900	0.26		8	0.2

PRESTAZIONI TERMICHE

Spessore Totale [cm]	22.0
Massa Superficiale [kg/m²]	369.96
Resistenza Totale [m²K/W]	1.6814
Trasmittanza [W/m²K]	0.595
Capacità Termica Interna per Area [kJ/m²K]	13.27
Capacità Termica Esterna per Area [kJ/m²K]	84.89

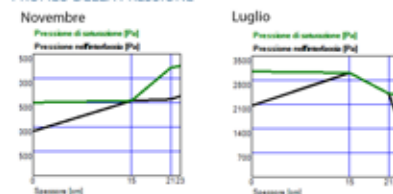
CONDENSA ACCUMULATA [g/mq]



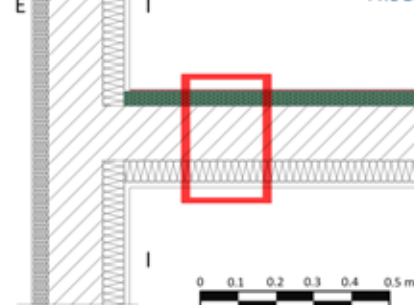
Sotto i risultati elaborati per mezzo del software Leto

MESE	INTERF.1 FLUSSO VAP. [kg/mq]	COND. ACC. [kg/mq]	COND. ACC. [kg/mq]	GIORNI
OTTOBRE	0.000	0.000	0.000	0.000
NOVEMBRE	0.2650	0.2650	0.000	0.000
DICEMBRE	1.1852	1.4503	0.000	0.000
GENNAIO	1.4916	2.7134	0.000	0.000
FEBBRAIO	1.1535	4.0954	0.000	0.000
MARZO	0.6233	4.7187	0.000	0.000
APRILE	-0.2415	4.4772	0.000	0.000
MAGGIO	-1.2705	3.2067	0.000	0.000
GIUGNO	-2.8167	0.3959	0.000	0.000
LUGLIO	-5.3670	0.000	-1.4814	0.000
AGOSTO	0.000	0.000	0.000	0.000
SETTEMBRE	0.000	0.000	0.000	0.000

PROFILO DELLA PRESSIONE



PROGETTO



Strato	s [m]	M [kg/m²]	λ [W/mK]	R [m²K/W]	μ [g/m²]	c [kcal/kg K]
Intonaco esterno (a base di cemento, UNI 10551-1994)	0.005	2000	1.4		30	0.2
STEFERITE	0.040	35	0.0280		56	0.35
Soletta in c.a. (CLS armato (armatura del 2%, UNI 10456-2007))	0.150	2400	1.9		150	0.21
Lana di vetro	0.060	16	0.046		1	0.20
Pannelli cartongesso	0.015	900	0.26		8	0.2

Spessore Totale [cm]	17.0
Massa Superficiale [kg/m²]	400
Resistenza Totale [m²K/W]	0.3529
Trasmittanza [W/m²K]	2.83
Capacità Termica Interna per Area [kJ/m²K]	82.28
Capacità Termica Esterna per Area [kJ/m²K]	82.28

LE "LAVATRICI" DI PEGLI : PARETE INTERNA CORRIDOI-GRADONI (M4)

Corso di Laurea in Ingegneria
Edile-Architettura A.A. 2012-2013
Corso di Progettazione Integrata
Docente: Renata Morbiducci

Team Studenti:
Cerisola Luca, Parodi Luca, Perazzo Alfredo, Benedetti Martina
Pedalino Giorgio, Mignone Luca, Campagna Giuseppe Andrea, Tamberi Marco
Herbst Marika, Quartini Giorgia, Bini Lorenzo
Vecchione Federica, Astengo Francesca, Policrisi Denise

TAV
52

Fig. 23 – Studio di dettaglio dell'isolamento termico della parete divisoria tra interno e zona non riscaldata.

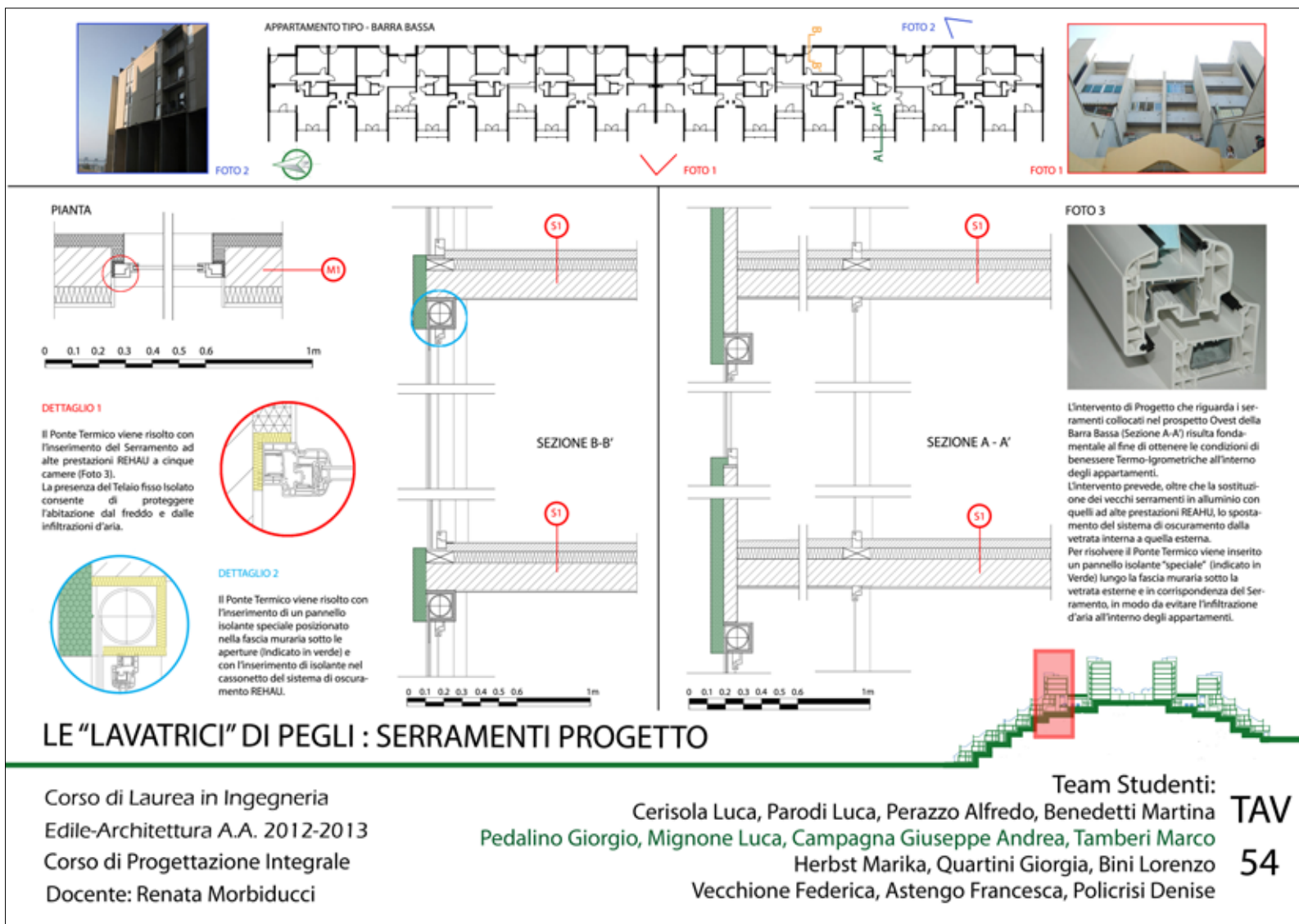


Fig. 24 – Studio di dettaglio dalla sostituzione dei serramenti.

hanno elevate percentuali di risparmio energetico e costi limitati. A seconda, dunque, degli obiettivi che si possono perseguire si possono selezionare differenti soluzioni e combinarle in scenari che rispondano alle richieste della committenza e alle necessità degli abitanti.

Infine è stata suggerita un'ultima soluzione progettuale che non ha lo scopo di migliorare la prestazione energetica, ma il benessere abitativo e visivo del quartiere. Si tratta nello specifico di modificare il colore della finitura esterna degli edifici. Per la scelta cromatica delle nuove finiture esterne si è pensato di ispirarsi alle caratteristiche decorative d'insieme tipiche dell'ambiente costiero ligure. Attraverso un'osservazione del costruito circostante si è potuta constatare la tipica prevalenza di colori pastello sia sulla costa che nelle zone collinari limitrofe.

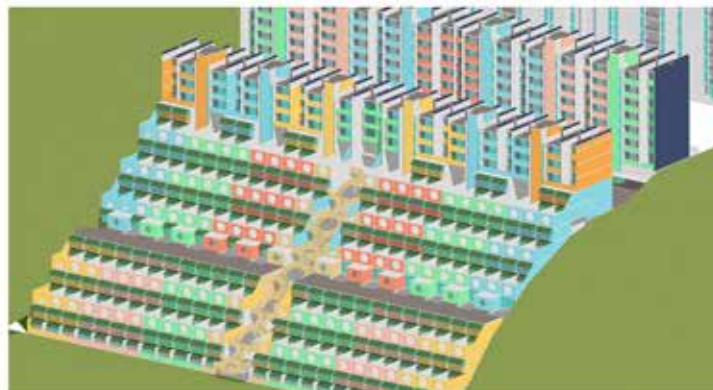
Dopo aver identificato una gamma cromatica, i colori scelti sono stati alternati tra loro in modo da consentire un gradevole effetto complessivo dell'ambito; gli elementi portanti principali sono stati lasciati neutri in modo da separare i diversi blocchi e donare alle facciate un aspetto più movimentato.

L'attenzione al colore dei fronti è quindi un'azione rivolta alla riduzione dell'impatto visivo; allo stato attuale, infatti, il complesso residenziale delle 'Lavatrici' risulta fortemente impattante sul paesaggio in quanto addossato ad una collina e totalmente monocromatico. Mediante l'uso del colore si è cercato di dare una certa omogeneità nella percezione dell'unità edilizia nei confronti del paesaggio circostante.

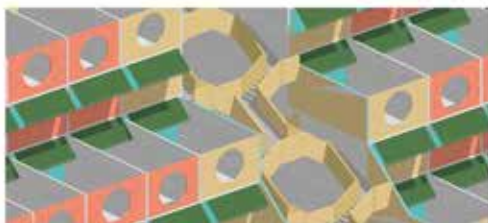
Al fine di una riqualificazione, la sensazione di colore è parsa di grande utilità sia nel rendere maggiormente gradevole l'abitare in questo complesso residenziale, sia nello stimolare affettività e affinità con i luoghi, valutando l'insieme del costruito che deve rispondere ad un principio comune di 'armonia cromatica'.



vista d'insieme



vista d'insieme



particolare tendaggi



particolare veneziane



particolare pannelli solari

LE "LAVATRICI" DI PEGLI : IPOTESI DI PROGETTO

Corso di Laurea in Ingegneria
Edile-Architettura A.A. 2012-2013
Corso di Progettazione Integrata
Docente: Renata Morbiducci

Team Studenti:
Cerisola Luca, Parodi Luca, Perazzo Alfredo, Benedetti Martina
Pedalino Giorgio, Mignone Luca, Campagna Giuseppe Andrea, Tamberi Marco
Herbst Marika, Quartini Giorgia, Bini Lorenzo
Vecchione Federica, Astengo Francesca, Policrisi Denise



TAV
66

5. Intervento sul costruito. Un quartiere storico: la Maddalena

Vittoria Bonini, Salvatore Polverino, Renata Morbiducci

Corso: Laboratorio di Progettazione Sostenibile dell'Architettura – a.a. 2018/2019

Docente: Prof. Renata Morbiducci

Assistenti alla didattica: ing. Vittoria Bonini, ing. Salvatore Polverino

Studenti: Mauro Burgassi, Cristina Calcagno, Giovanni Caviglia, Federico Cuneo, Irene Curotto, Silvia Curti, Marco De Nicola, Erind Elhyka, Marta Gaggero, Francesca Giangaspero, Davide Langella, Matteo Lasagna, Valentina Leoni, Andrea Olivieri, Martina Parodi, Martina Sabbatini, Paola Schiappapietra, Daniele Soraggi, Beatrice Strada

5.1 Introduzione

Protagonista delle analisi condotte dagli studenti del corso Progettazione Sostenibile dell'Architettura, durante il laboratorio dell'anno accademico 2018-2019, è un'area, il quartiere della Maddalena, che a Genova può ritenersi nodale per il numero e l'importanza delle questioni storico-urbanistiche che coinvolge. Consapevoli della grandissima occasione che il capoluogo ligure, con il suo centro storico, si apprestava ad avere per sperimentare un nuovo approccio alla progettazione urbana, si è condotta questa esercitazione, dal titolo 'Maddalena diffusa', partendo dall'esperienza del progetto 'Prè-visioni', presentato al MIPIM 2019 di Cannes e sviluppato nell'anno

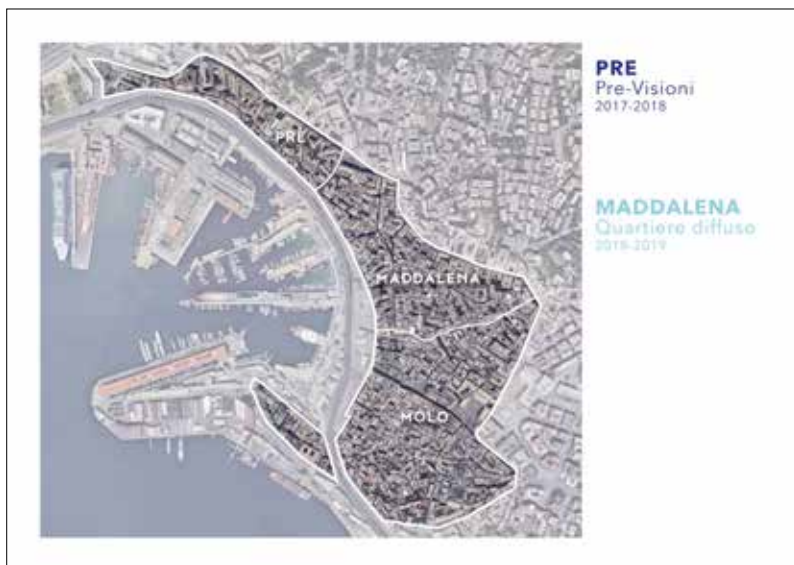


Fig. 1 – I quartieri del Centro Storico di Genova. (Immagine di Vittoria Bonini)

precedente in collaborazione con l'Assessorato all'Urbanistica del Comune di Genova (Fig. 1).

Contemporaneamente, se da un lato si è preso atto delle profonde trasformazioni in corso per il rilancio della città, dall'altro si è stati consci, sin da subito, del fatto che il centro storico è sicuramente l'area di maggiore qualità e complessità morfologica di Genova; caratterizzato da aspetti singolari e irripetibili nella città contemporanea, è il luogo in cui si colloca il tessuto stratificatosi ed evolutosi in secoli di sviluppo urbano.

È chiaro, dunque, che per poter affrontare un progetto di riqualificazione di un quartiere che riveste una tale importanza per la città di Genova è stata fondamentale la parte di analisi atte a definire con più chiarezza lo stato attuale in cui versa questa porzione di centro storico così densamente edificato. Una prima analisi storica ha evidenziato come l'espansione insediativa dei quartieri storici – Maddalena, Molo e Pré – nonché di prosperità economica, vengano direttamente collegate alla costruzione e al funzionamento del porto, assunto come ragione primaria della città stessa. Guardando alla *Forma Genuae* del Barbieri è evidente come l'area portuale

genovese visse in stretto rapporto con la cinta muraria che proprio nella seconda metà del Cinquecento iniziò a rinnovarsi, sia sul fronte mare, sia lungo la cinta rivolta all'entroterra, continuando ad accrescere la sua potenza fondata sul commercio e sul trasporto marittimo. Tra il Seicento e l'inizio dell'Ottocento l'integrazione tra le esigenze portuali con quelle della città, allora coincidente con il centro storico, raggiunge la piena maturità. A Genova il processo di decentramento delle attività portuali a Ponente, immediatamente al di là della Lanterna, avvenne anticipatamente rispetto alle altre città italiane; nonostante ciò, il traffico commerciale del porto rimase profondamente legato al bacino portuale compreso tra il molo vecchio e la darsena. Solo con il piano del Barabino veniva previsto un ampliamento del Molo Vecchio e un collegamento tra il porto e il lungomare di Ponente; con la costruzione della Carrettiera (1836) che andava da Porta S. Tommaso a Palazzo S. Giorgio, il porto si aprì finalmente al territorio. L'intervento comportò l'abbattimento delle mura portuali e la costruzione sul loro tracciato di una lunga struttura lineare di magazzini porticati, la cui copertura divenne una straordinaria passeggiata sul porto, che prese il nome di 'terrazze di marmo', realizzata da Ignazio Gardella senior. I magazzini porticati consentirono un dialogo tra città e porto, ma nello stesso tempo divisero le due parti, riconoscendo a ognuna una propria specificità. Le 'terrazze di marmo' vennero distrutte nel 1880 per consentire l'ampliamento del porto e l'arrivo della ferrovia; il loro abbattimento segnò simbolicamente la fine della fase dell'integrazione fra città e porto e l'inizio di una fase di transizione che portò alla separazione delle aree portuali dalla città storica. La presa di coscienza di una prima scissione tra città e porto si ha nel XIX secolo quando Quatremère de Quincy definisce lo spazio portuale ottocentesco periferico rispetto al costruito storico. Tra il XIX e il XX secolo si instaura un nuovo tipo di rapporto tra strutture portuali e città. La nuova connotazione dinamica che assume il territorio portuale contrasta profondamente con la spazialità statica del tessuto insediativo storico: «mentre la morfologia urbana è descrivibile attraverso la struttura dei tracciati, dei tessuti, degli spazi recintati e dalla statica dell'abitare, diversamente il nuovo territorio portuale è definito dai perimetri, dalle interfacce, dagli spazi

aperti e dalla dinamica del movimento»¹. Nasce uno spazio ibrido la cui decifrabilità e progettualità è uno dei compiti e delle sfide che ci affidiamo in questo lavoro.

5.2 Stato di fatto

La prima fase di questo progetto di rigenerazione sostenibile di un intero quartiere della città ha riguardato un'approfondita ricognizione sullo stato dell'arte, condotta tramite indagini di carattere urbanistico sul costruito (Fig. 2) e sulla popolazione (Fig. 3), uno studio sulla storia del quartiere (Fig. 4), un'analisi delle caratteristiche ambientali dell'area (Fig. 5), e una ricerca sui progetti precedenti che hanno coinvolto la Maddalena (Fig. 6). Ciascuno di questi temi è stato studiato da un gruppo di studenti a livello di intero quartiere; successivamente, tramite un'analisi urbanistica del costruito e dei vuoti urbani, condotta anche tramite l'ausilio della Carta del Recupero (2004) e del PUC più recente (2015), ciascun gruppo ha individuato quelle porzioni strategiche che più necessitavano di una curata, ragionata e critica rigenerazione sostenibile.

Il tessuto urbano ricade ovviamente nell'Ambito di Conservazione del Centro Storico Urbano (AC-CS) ed è in gran parte compreso nell'area di patrimonio UNESCO, con il complesso delle Strade Nuove e dei Palazzi dei Rolli. Dall'osservazione e dalla comparazione della tavola dei vincoli e del patrimonio dell'UNESCO è emerso come gli edifici e gli spazi in cui poter fisicamente intervenire sia piuttosto ridotto, se non con le debite precauzioni nei riguardi dei numerosissimi vincoli puntuali. È stato subito evidente agli studenti come in un quartiere storico e densamente edificato come la Maddalena fosse necessario definire obiettivi e strategie capaci di condurre a innovative modalità di interazione sia con il costruito, sia con gli spazi residuali; sulla base di ciò le strategie dei progetti avrebbero dovuto rispecchiare le molteplici espressioni e diverse scale attraverso cui operare

¹ A. Rosselli, "Il porto come struttura e significato", *Portus* 10, (2012): 4-10.



Interventi possibili

Dall'osservazione e dalla comparazione della tavola dei vincoli e del patrimonio dell'UNESCO è parso necessario fare una sintesi per capire in concreto cosa può essere oggetto di studio progettuale e cosa invece non può essere assolutamente modificato o riprogettato.

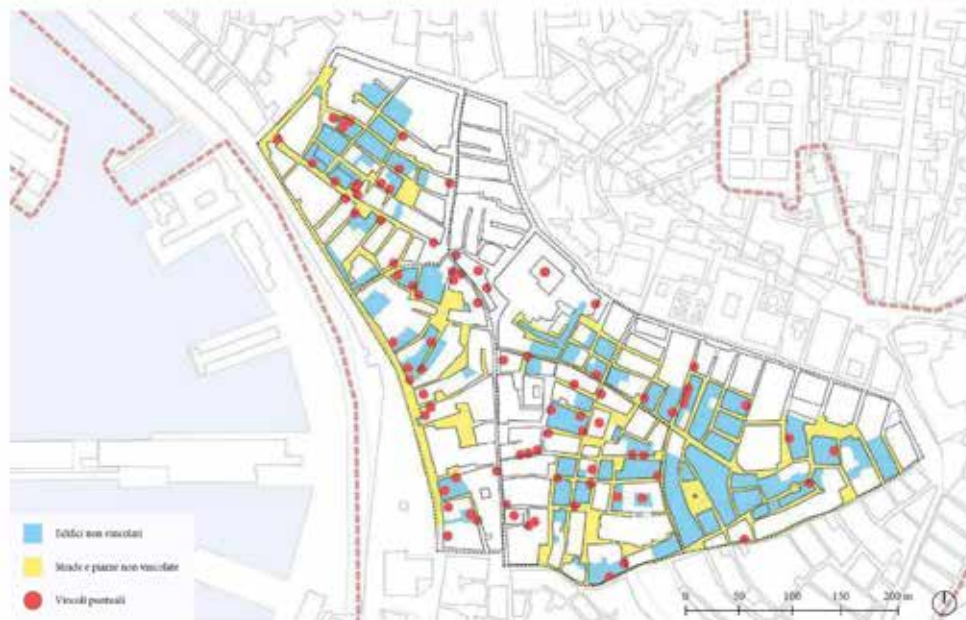
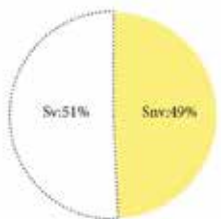
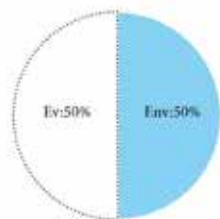
Da un'analisi delle tavole sopracitate gli edifici e gli spazi in cui poter intervenire sembravano in numero molto ridotto, da questo elaborato invece osserviamo che, con le debite precauzioni per quanto riguarda i vincoli puntuali, è possibile agire su parecchi edifici e nei principali spazi pubblici.

L'area in cui è più complicata e meno estesa la possibilità di intervenire è quella de "la Meridiana" la quale presenta solo un piccolo numero di edifici in cui è possibile agire e una superficie pubblica molto ristretta.

La Maddalena

Edifici vincolati: 240
Edifici non vincolati: 239

Strade vincolate: 21599 m²
Strade non vincolate: 20960 m²



Il ghetto storico

Strade vincolate: 4890 m²
Strade non vincolate: 6171 m²

Edifici vincolati: 38
Edifici non vincolati: 46



Sottoripa

Strade vincolate: 2839 m²
Strade non vincolate: 5053 m²

Edifici vincolati: 45
Edifici non vincolati: 18



Le piazze centrali

Strade vincolate: 4709 m²
Strade non vincolate: 3519 m²

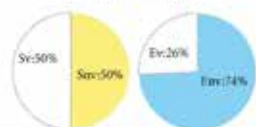
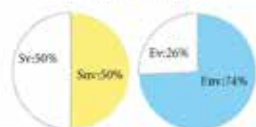
Edifici vincolati: 67
Edifici non vincolati: 34



Il fronte garibaldi

Strade vincolate: 3004 m²
Strade non vincolate: 3018 m²

Edifici vincolati: 43
Edifici non vincolati: 125



La meridiana

Strade vincolate: 6157 m²
Strade non vincolate: 1199 m²

Edifici vincolati: 47
Edifici non vincolati: 16

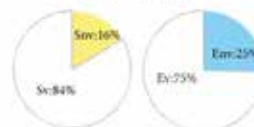
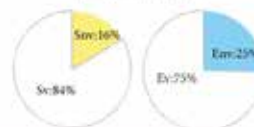


Fig. 2 – Tavola esemplificativa dell'analisi urbanistica del costruito.



Flussi turistici e punti di interesse

Il quartiere della Maddalena è caratterizzato da una considerevole concentrazione e varietà di punti di interesse che vanno dalle Chiese Medievali, come Santa Maria delle Vigne, importante esempio di architettura romanica, agli splendidi palazzi risorgimentali di Strada Nuova e dei Rolli. Altri luoghi di attrattiva sono Via San Luca, dal 2006 Patrimonio dell'Umanità dell'Unesco, tipico vicolo del centro storico genovese oggi costellato di attività commerciali che ne fanno un luogo deputato allo shopping cittadino, ed il sistema di strade e piazze circostanti. Nelle immediate vicinanze del quartiere è, inoltre, presente il Porto Antico che ospita l'acquario di Genova, altro punto di notevole importanza che ogni anno attrae circa un milione di visitatori.

Nella zona sono anche presenti numerosi ristoranti che consentono ai turisti di assaporare la cucina tipica genovese.

I flussi turistici partono in prevalenza dalle fermate della Metropolitana Urbana e degli Autobus di linea, localizzate lungo il perimetro del quartiere. Tali movimenti sono però limitati al raggiungimento degli specifici punti di interesse e all'attraversamento dell'intero quartiere lungo le direttrici principali, quali Via della Maddalena, Via del Campo e Via San Luca, senza andare ad interessare le strade minori.

Nel quartiere, inoltre, sono presenti numerosi palazzi nobiliari sparsi per il tessuto urbano. Di questi ultimi è possibile osservarne le facciate e in alcuni anche gli spazi distributivi interni, affacciati sul livello strada. Contemporanei ai sistemi difensivi genovesi, realizzati in più fasi a partire dal XII secolo, sono presenti alcuni edifici torrati, come Porta dei Vacca.

- | | |
|--------------------------|--|
| 1 Piazza della Nunziata | 23 Museo del Risorgimento |
| 2 Largo Zecca | 24 Palazzo Bianco |
| 3 Piazza del Campo | 25 Palazzo Doria Tursi |
| 4 Piazza Don Gallo | 26 Palazzo Niccolò Lomellino |
| 5 Belvedere Castelletto | 27 Palazzo Rosso |
| 6 Piazza Fossatello | 28 Palazzo Lercari Parodi |
| 7 Piazza della Meridiana | 29 Galleria Nazionale di Palazzo Spinola |
| 8 Piazza Portello | 30 Palazzo Cattaneo Adorno |
| 9 Piazza della Cernaia | 31 Palazzo Senarega |
| 10 Piazza San Luca | |
| 11 Piazza della Lepre | 32 Chiesa di S. Pancrazio |
| 12 Piazza del Ferro | 33 Basilica di S. Siro |
| 13 Fontane Marose | 34 Chiesa di S. Luca |
| 14 Piazza Caricamento | 35 Chiesa di S. Maria Maddalena |
| 15 Piazza dei Greci | 36 Chiesa di S. Maria delle Vigne |
| 16 Piazza Lavagna | 37 Chiesa di S. Pietro in Banchi |
| 17 Piazza delle Vigne | |
| 18 Piazza Sozighia | 38 Acquario di Genova |
| 19 Piazza Bianchi | 39 Porto Antico |
| 20 Piazza Campetto | |
| 21 Porta dei Vacca | |
| 22 Torre dei Morchi | |



Fig. 3 – Tavola esemplificativa dell'analisi urbanistica della popolazione.



Gli Elementi

1. Chiesa di Santa Maria Maddalena
2. Basilica di Santa Maria delle Vigne
3. Basilica di San Siro
4. Chiesa di San Luca
5. Chiesa di San Pancrazio
6. Palazzo Doria-Tursi, Palazzo Bianco e Palazzo Rosso
7. Portici di Sottoripa
8. Loggia dei Mercanti
9. Porta dei Vacca (porta Sottana, porta di Santa Fede)



Fig. 4 – Tavola esemplificativa dell'analisi storica.

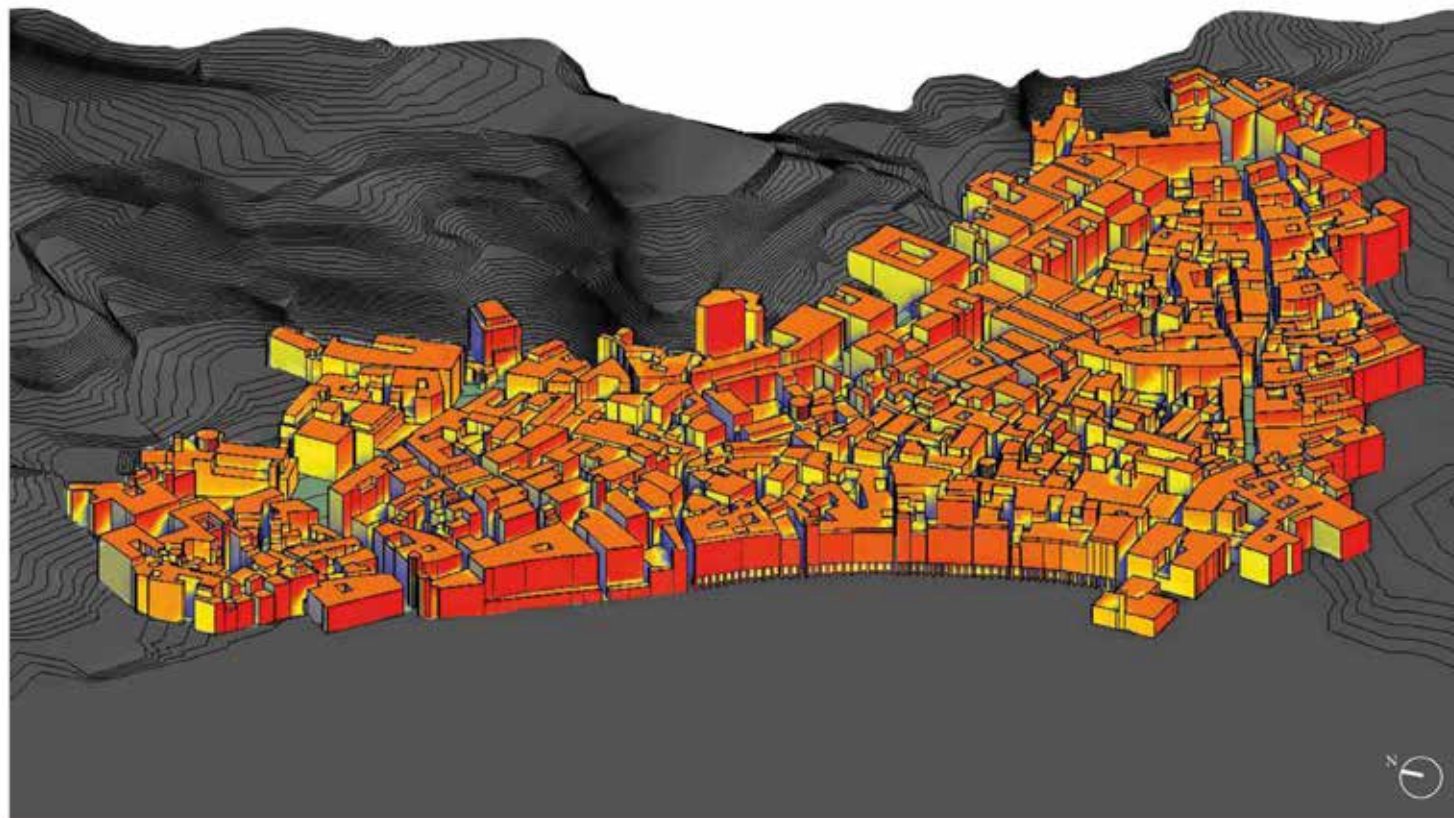


Fig. 5 – Tavola esemplificativa dell'analisi delle caratteristiche ambientali.

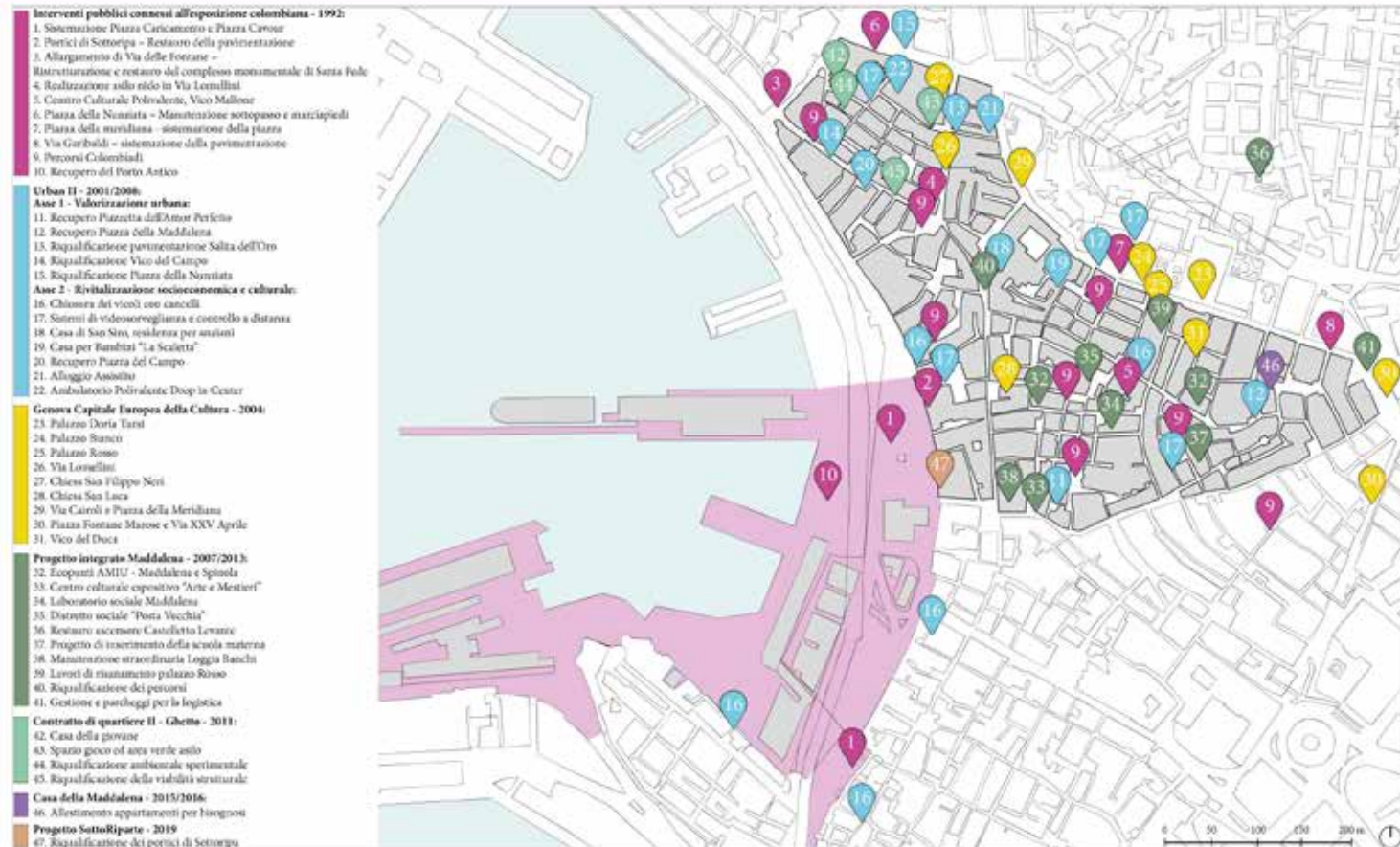


Fig. 6 – Tavola esemplificativa dell'analisi dei progetti sul quartiere.

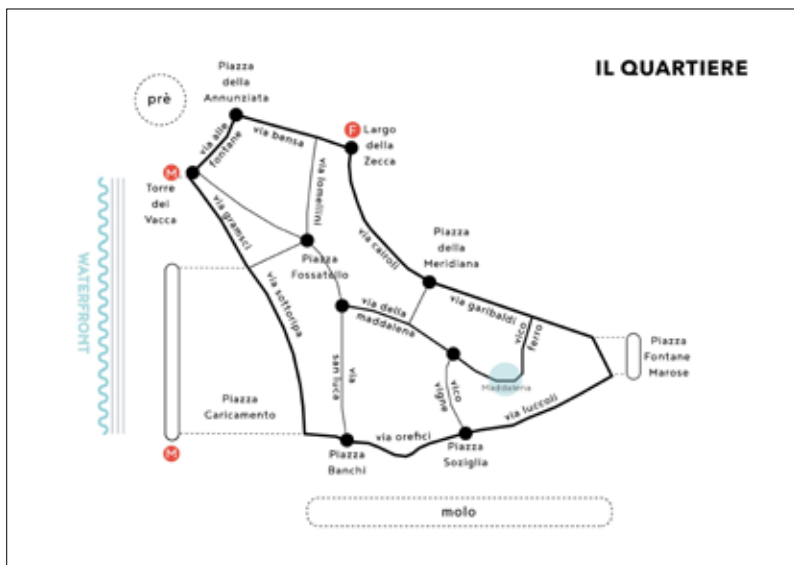


Fig. 7 – Schema del quartiere della Maddalena: percorsi, margini, nodi, quartieri, *landmarks*. (Immagine di Vittoria Bonini)

sull'esistente. Studiando e provando a comprendere gli aspetti caratterizzanti lo stato dell'arte del luogo, gli studenti hanno scelto di basare il progetto di rigenerazione sulla volontà unanime di integrazione con i caratteri salienti del paesaggio, assunti quali elementi originari dell'entità del luogo, non solo in senso fisico ma anche percettivo. Ovvero, è stata svolta una analisi dei percorsi, intesi come strade, vicoli, passaggi; dei margini, intesi come confini e limiti ben percepiti come mura, edifici, vicoli chiusi; di quartiere, inteso come sezione della città contraddistinta da caratteri specifici e da una propria identità, in questo caso strettamente connessa a quella dei due quartieri di Molo e Pré; dei nodi, intesi come punti focali della città, intersezioni tra vie di comunicazione, punti d'incontro, in questo caso troppo spesso ai limiti del quartiere e non al suo interno; dei *landmarks*, intesi come oggetti dello spazio velocemente identificabili che funzionano come punto di riferimento e orientamento, ovvero palazzi storici, chiese, musei, ma anche spazi pubblici all'aperto, come le numerose piazzette nel cuore del quartiere (Fig. 7).

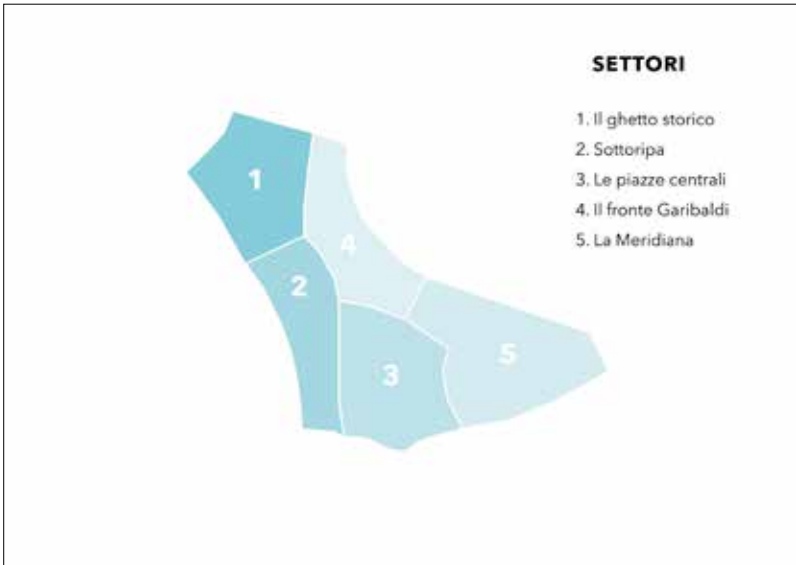


Fig. 8 – Schema della suddivisione in settori del quartiere della Maddalena: ‘Il ghetto storico’, ‘Sottoripa’, ‘Le piazze centrali’, ‘Il fronte Garibaldi’ e ‘La Meridiana’. (immagine di Vittoria Bonini)

Nella seconda parte di questa ricerca gli studenti, attraverso ulteriori due fasi di lavoro, hanno tentato di definire obiettivi e strategie prima e proposte progettuali poi, seguendo quelle che sono i principali *steps* di un processo di rigenerazione sostenibile.

Per agevolare la discesa di scala e un maggiore livello di approfondimento, queste fasi hanno visto una ideale scissione dell’area in settori, ciascuno analizzato da un gruppo di studenti: le aree, per la loro collocazione, sono state così rinominate: ‘Il ghetto storico’, ‘Sottoripa’, ‘Le piazze centrali’, ‘Il fronte Garibaldi’ e ‘La Meridiana’ (Fig. 8).

Un sopralluogo all’interno dell’area della Maddalena ha permesso di confermare o precisare le precedenti analisi, di aggiornare informazioni e dati, di verificare la buona riuscita di interventi già effettuati o ancora in atto nel quartiere. È stata redatta un’analisi SWOT (Fig. 9) che, attraverso riferimenti virtuosi internazionali (Fig. 10), ha portato all’individuazione delle strategie da mettere in atto. Solo in seguito sono stati

definiti gli intenti progettuali che hanno interessato sia il costruito sia lo spazio urbano tramite interventi di riqualificazione energetica e di rigenerazione sostenibile del tessuto urbano.

Si è giunti poi alla definizione degli obiettivi (Fig. 11) e delle strategie (Fig. 12): comune ai diversi settori è la volontà di superare fratture e barriere interposte, di definire un tessuto urbano dinamico, flessibile, misto. In altre parole, di trovare soluzioni in grado di incoraggiare un senso di appartenenza e di coltivare un'identità collettiva attraverso un percorso urbanistico teso a valorizzare il senso dei luoghi, con l'elaborazione di visioni capaci di dimostrarsi fattori di crescita culturale prima ancora che di sviluppo fisico o economico della città. Di qui la nozione di quartiere 'diffuso', in grado di accentuare le trasversalità del tessuto urbano e di intersecare le diverse realtà che tendono ad aggredirlo con le proprie logiche, dettate dalla profonda diversità della città storica, della città medievale, della città moderna, della città portuale. Lo spazio pubblico viene così immaginato come un'infrastruttura, veicolo d'interazione per diversi flussi, contenitore di attività, in grado di riconnettere i contesti marginali, alimentato dalla forza attrattiva, dai valori e dalle qualità urbane che il quartiere desidera ancora fornire.

5.3 Stato di progetto

Le cinque proposte degli studenti sono profondamente differenti tra loro, ma comuni nell'agire a livello sia di pieni sia di vuoti: c'è chi propone uno 'studentato diffuso' nell'area del Ghetto Storico, restituendo agli universitari gli spazi di Palazzo Rebuffo Serra, ma anche *workspaces* nella Piazza Don Gallo o nuovi spazi aperti ricreativi al posto di cantieri abbandonati (Figg. 13-16); chi 'un'agorà diffusa' nell'area di Sottoripa, agendo in Piazza San Pancrazio, Piazza dell'Agnello, Piazza Pinelli, Piazza Jacopo da Varagine, ma anche riprogettando gli spazi di Loggia Banchi (Figg. 17-20); chi percorsi culturali e culinari con l'introduzione di aree verdi nelle piazze interne al quartiere, riprogettando l'apertura dello splendido Palazzo Fattinanti (Figg. 21-24); chi un 'museo diffuso'



- Ben servita dai mezzi pubblici (metropolitana, ferrovia, autobus)
- Notevole quantità di punti di interesse storico-culturale
- Presenza di facoltà universitarie e biblioteche
- Buona disponibilità dei principali servizi (banca, posta, farmacia, negozi)
- Presenza di numerose attività ricettive nelle immediate vicinanze
- Edifici, vicoli e piazze recentemente recuperati

S



- Presenza di alcuni edifici in avanzato stato di degrado
- Alta densità edilizia e abitativa
- Vicoli difficilmente accessibili da parte dei mezzi di soccorso
- Scarsa illuminazione naturale e artificiale dei vicoli e delle piazze interne
- Mancato sfruttamento di molti spazi pubblici
- Assenza di aree verdi e di arredo urbano
- Vie perimetrali molto trafficate e vicoli interni non frequentati
- Elevato inquinamento atmosferico e acustico delle vie perimetrali
- Servizi e attività commerciali limitati alle sole vie perimetrali e all'asse principale (Via del Campo)
- Presenza di attività illecite specie nei vicoli secondari

W



- Presenza di studenti universitari
- Vicinanza al Porto Antico e a tutte le maggiori attrazioni turistiche
- Area ricca di storia e cultura meta di molti turisti
- Possibilità di implementare gli interventi di recupero con altri a scala maggiore
- Recupero delle tradizioni locali

O



- Mancato raggiungimento delle normali condizioni igienico-sanitarie
- Alto livello di rischio percepito dai visitatori
- Scarsa propensione all'innovazione da parte di residenti e commercianti
- Piani di recupero difficili da concretizzare sull'intero tessuto urbano
- Aree pubbliche utilizzate per l'esercizio di attività illecite
- Sostituzione delle attività commerciali tradizionali con attività poco adatte ai luoghi

T



Fig. 9 – Tavola esemplificativa del sopralluogo – settore 'Il ghetto storico'.



Riqualificazione della Caserma La Marmora (Torino)

Carlo Ratti e il suo studio di Torino riqualificheranno e trasformeranno i 20 mila metri quadrati della **Caserma La Marmora** in un laboratorio urbano per il **co-living**, il **co-making** e il **co-working**. Il progetto, che è stato approvato dal Comune di Torino nella primavera del 2016, sarà per Carlo Ratti un ulteriore campo di prova del concetto di architettura open source, e per Cdp Investimenti Sgr (del gruppo Cassa depositi e prestiti, da due anni proprietaria dell'immobile) la concretizzazione di un modello di riqualificazione da proporre in varie città italiane per rivitalizzare il tessuto urbano.

Il complesso La Marmora si compone di vari edifici: quello principale, porticato, e altri sei edifici satellite, di dimensioni minori. La loro struttura, modulare, sarà reimmaginata per accogliere e far convivere un **mix di funzioni**, dai laboratori per i **maker** ai moduli abitativi per studenti e giovani **startupper**, senza imporre una funzione predefinita e prefissata degli spazi, che saranno infatti aperti a molteplici utilizzi.

Il progetto quindi, in un certo senso fornisce la struttura, e poi saranno le persone che la abiteranno e la utilizzeranno a stabilirne il contenuto, secondo un approccio open source, appunto, verso l'ambiente costruito. L'intervento di Carlo Ratti Associati prevede anche la riqualificazione del grande spazio pubblico che ora risulta nascosto da imponenti mura perimetrali. Lo spazio si trasformerà quindi da originaria piazza d'armi a **"piazza d'arti"**, che potrà accogliere eventi e spettacoli aperti a tutta la città. Il progetto, infine, per non dimenticare il ruolo dell'edificio durante la Seconda Guerra Mondiale, destina uno dei sei edifici satellite a spazio espositivo, facendolo diventare una filiale del Museo diffuso della Resistenza.

- Riqualificazione del tessuto urbano
- Laboratorio urbano
- Mixité
- Abitazioni per studenti
- Spazio espositivo

Immagini e testo tratte da www.architetti.com

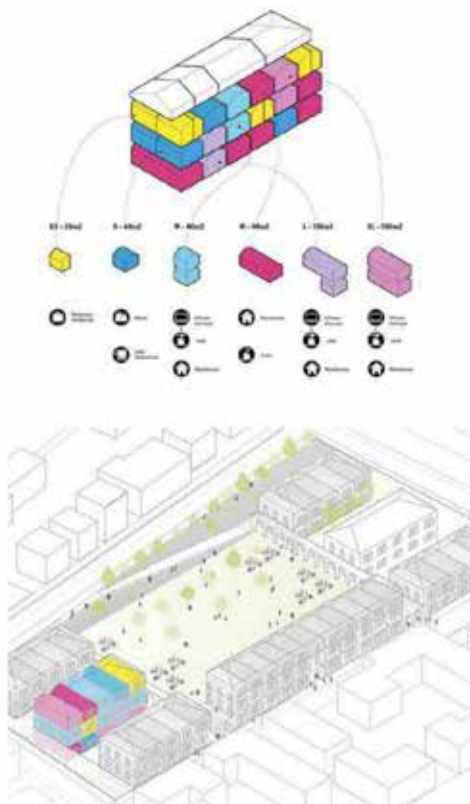


Fig. 10 – Tavola esemplificativa dei riferimenti virtuosi – settore 'Il ghetto storico'.



Risposte alle criticità



Fig. 11 – Tavola esemplificativa degli obiettivi – settore 'Il ghetto storico'.



Proposta di riqualificazione dell'area

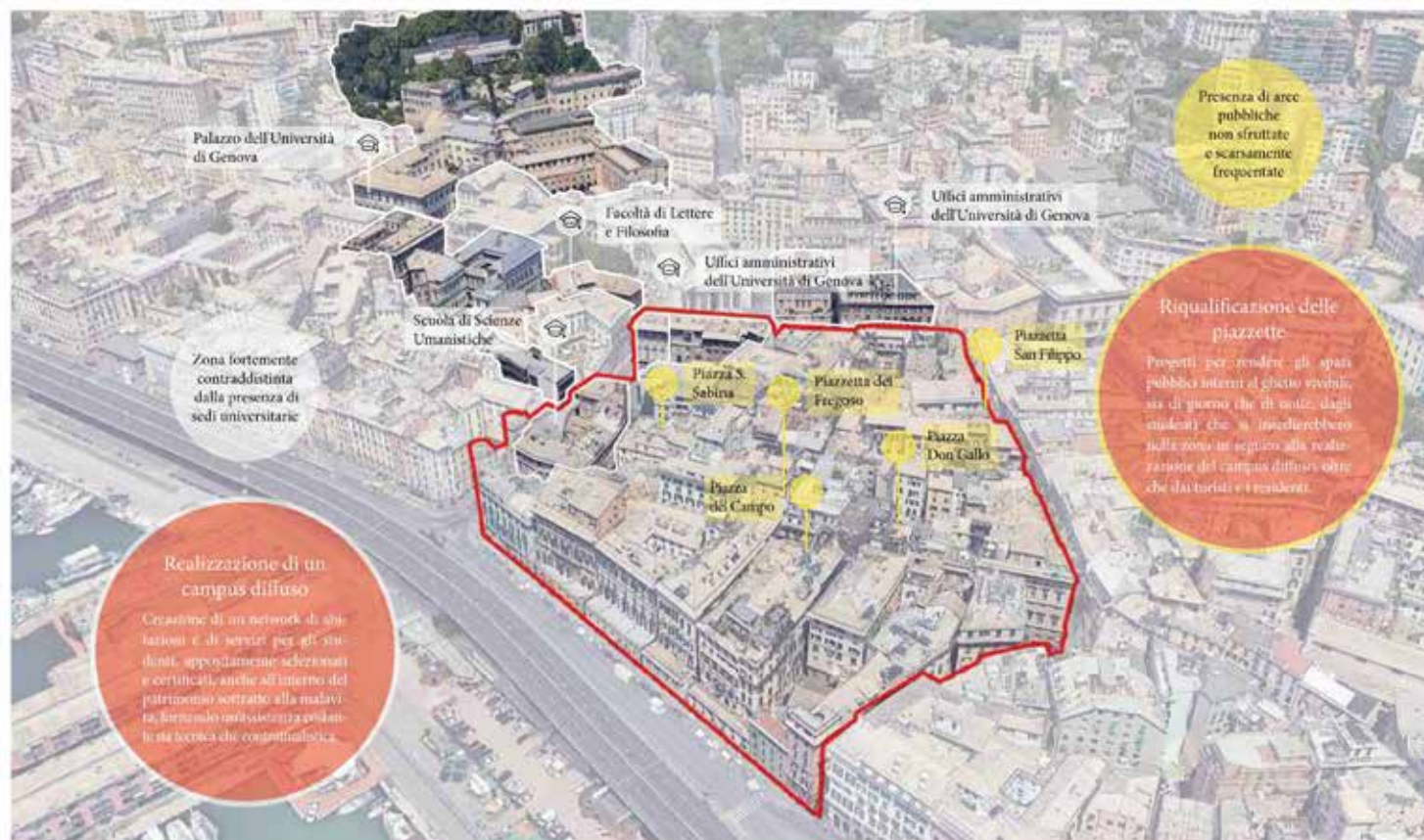


Fig. 12 – Tavola esemplificativa delle strategie – settore 'Il ghetto storico'.

incentrato su elementi temporanei e puntuali lungo Vico dell'Argento, Salita dell'Oro, Salita San Siro, Vico Fasciuole, per citarne alcuni, e un padiglione innovativo e permanente annesso a Palazzo della Meridiana (Figg. 25-28); chi una 'palestra diffusa' lungo Via della Maddalena e Via del Duca, con relativi spazi *indoor* in Vico al Trogoletto e Via dei Macelli di Soziglia, ipotizzando di sfruttare i beni confiscati alla mafia.

In ciascuno dei lavori degli studenti emerge una costante: la necessità di conferire una maggiore 'leggibilità del luogo', proposta attraverso l'individuazione di alcuni parametri quali, per esempio, 'l'attribuzione di significato' ad alcune aree del quartiere in stato ancora oggi di abbandono, o l'accessibilità intesa come presenza di connessioni logiche e riconoscibili tra il quartiere e la città. Non si intende quindi solo la necessità di nuovi percorsi o miglioramenti di quelli esistenti, ma l'importanza di superare barriere psicologiche: è necessario che i percorsi abbiano una meta e che nella stessa possa accadere qualcosa che sia sempre di rinnovato interesse. Occorrono funzioni urbane diversificate e articolate, ancora meglio 'diffuse', sia per quanto riguarda gli spazi, sia i 'tempi' di attrattività, che siano tanto al servizio della residenza quanto oggetto di attrazione a scala cittadina.

In conclusione, possiamo affermare che la principale volontà dei lavori qui presentati è quella di ricostruire una continuità percettiva, funzionale e spaziale del quartiere della Maddalena tramite interventi puntuali e strategici, sostenibili e innovativi, in grado di trasformarsi in un sistema rete incisivo. Per quanto estremamente variegati, questi progetti, oltre ad essere facilmente replicabili e adattabili a diverse situazioni in tutto il centro storico, utilizzano alcuni strumenti di riattivazione urbana universali. Quando si parla di riattivazione urbana il primo degli strumenti di cui ci occupiamo è infatti il 'valore': la rigenerazione è principalmente una questione di ricreare, aggiungere ed elevare il valore di un oggetto che, a causa di vari fattori, è andato perduto. I lavori degli studenti puntano proprio al valore primario che la rigenerazione può portare, ovvero il rinnovato uso dello spazio di cui disponiamo, tramite la nascita di nuove idee, collaborazioni, proposte ed economie.



Planimetria degli interventi



Arredo urbano

Verde pubblico



Studio dell'illuminazione



Workspace per studenti



Rifunionalizzazione locali universitari



Figg. 13-14-15-16 – Tavole esemplificative delle proposte progettuali – settore 'Il ghetto storico'.



Workspace per studenti - Dettagli costruttivi

L'oggetto in analisi si configura come un volume che richiama formalmente l'archetipo base di abitazione. La struttura, in **vetricamera** e alluminio, è caratterizzata da leggerezza, versatilità e facilità di messa in opera. La copertura, realizzata con la medesima tecnica del corpo, è ulteriormente caratterizzata da elementi mobili che permettono la **gestione dell'irraggiamento solare**.

1. Frangisole motorizzato con lame in alluminio orientabili
2. Supporto frangisole in alluminio
3. Scossalina in alluminio
4. Isolante termico in schiuma poliuretanica
5. Guarnizione in TPE ad alta tenuta
6. Doppio vetro con rivestimento basso emissivo e selettivo
7. Telaio in alluminio a taglio termico
8. Piedino metallico regolabile



Dettaglio colmo di copertura

Scala 1:5



Dettaglio raccordo copertura

Scala 1:5



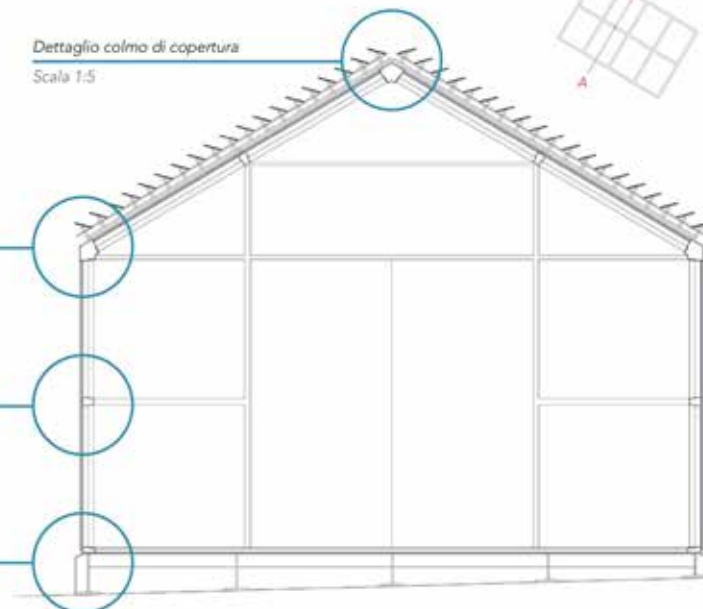
Dettaglio giunzione serramenti

Scala 1:5



Dettaglio appoggio a terra

Scala 1:5



Sezione A-A'

0 1 m 2 m



Figg. 13-14-15-16 – Tavole esemplificative delle proposte progettuali – settore 'Il ghetto storico'.



Palazzo Rebuffo Serra

L'edificio preso in considerazione per il progetto degli interventi di riqualificazione è il **Palazzo Marc'Aurelio Rebuffo**, noto anche come **Palazzo Serra**, sito in Piazza Santa Sabina civico 2 ed inserito nella lista dei palazzi iscritti ai Rolli di Genova. Costruito per volere di Bartolomeo Rebuffo intorno al 1509, venne ampliato dal senatore della Repubblica di Genova Marc'Aurelio Rebuffo con l'annessione della torre nord dell'antica porta cittadina dei Vacca. L'edificio venne poi incluso nel rollo del 1664 a seguito di un'ulteriore espansione ad opera di Francesco Rebuffo. Una successiva opera di ricostruzione ha condotto alla realizzazione della lunga galleria coperta all'altezza del piano nobile prospiciente via delle Fontane.

Attualmente l'edificio, di proprietà dell'Università degli Studi di Genova, ospita, a partire dal primo piano nobile, il Dipartimento di Lingue Straniere. I **piani inferiori**, consistenti in un piano fondi a livello strada ed un piano ammezzato, sono abusivamente occupati dal 2008 da attività estranee all'Università.



Ingresso di Palazzo Rebuffo Serra

Fondi piano strada Stato di fatto

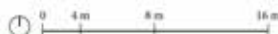
Locali di proprietà dell'Università, attualmente occupati da attività esterne



Fondi ammezzato Stato di fatto

Locali di proprietà dell'Università, attualmente occupati da attività esterne

EcoPunti ad accesso controllato



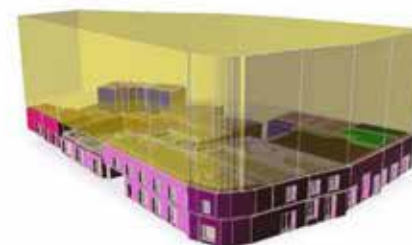
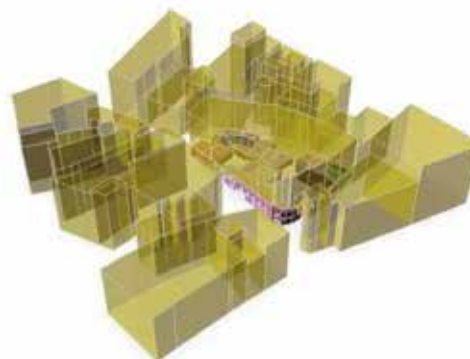
Figg. 13-14-15-16 – Tavole esemplificative delle proposte progettuali – settore 'Il ghetto storico'.



Riqualificazione energetica - Stato di fatto

Per i locali oggetto di rifunionalizzazione è stata effettuata l'analisi energetica dello stato attuale con il calcolo dei fabbisogni di energia termica utile e di energia primaria. Tali valori hanno portato alla classificazione energetica dell'edificio, secondo Normativa Nazionale L. 90/2013 – "D.M. Requisiti Minimi", che nel caso specifico risulta in **classe E**, con un valore di $EP_{gl,nren}$ pari a 265,94 kWh/m²anno. L'analisi è stata eseguita mediante il software "Termolog Eptix 9" della Logical Soft che ha ottenuto il certificato di conformità alle norme UNI/TS 11300-1:2014, UNI/TS 11300-2:2014, UNI/TS 11300-3:201, UNI/TS 11300-4:2016, UNI/TS 11300-5:2016, UNI/TS 11300-6:2016 e alla UNI EN 15193:2008 dal Comitato Termotecnico Italiano Energia e Ambiente.

Partendo dalla configurazione di stato attuale, sono state effettuate successive analisi proponendo le possibili soluzioni per l'efficientamento energetico dell'edificio. In particolare la prima prevede un intervento sull'involucro trasparente, mediante l'installazione di infissi ad elevate prestazioni termiche. La seconda, invece, comporta un intervento sull'impianto termico, attraverso la sostituzione del generatore di calore con una caldaia a condensazione e l'installazione di valvole termostatiche sui terminali di emissione. E' stata, infine, effettuata un'analisi sulla soluzione combinata dei due interventi al fine di valutare i tempi di ritorno dell'investimento economico ed il risparmio energetico ottenibile.



Fonte: Software Termolog Eptix 9



Classificazione dell'edificio secondo Normativa NAZIONALE: L. 90/2013 – D.M. Requisiti Minimi - Intero edificio

Dati geometrici

Superficie utile riscaldata: SuH 5.111,77 m²
 Volume utile riscaldato: V.H. 6.257,85 m³
 Superficie disperdita: Sdisp. 2.204,25 m²

Fabbisogni di energia termica utile

EPH_{int} 125,24 kWh/m² Stagione di riscaldamento 199 giorni
 EPC_{int} 4,29 kWh/m² Stagione di raffrescamento 137 giorni
 EPD_{int} 26,13 kWh/m²

Fabbisogni di energia primaria

EPH_{ren} 0,1 kWh/m² EPH_{non} 222,58 kWh/m² EPH_{tot} 222,68 kWh/m² η_{pt} 0,54
 EPD_{ren} 0,02 kWh/m² EPD_{non} 43,36 kWh/m² EPD_{tot} 43,38 kWh/m² η_{pw} 0,002
 EPgl_{ren} 0,12 kWh/m² EPgl_{non} 265,34 kWh/m² EPgl_{tot} 265,46 kWh/m²

Legenda

EPH_{int} indice di prestazione termica utile per il riscaldamentoEPD_{int} indice di prestazione termica utile per la produzione di acqua calda sanitariaEPH_{ren} indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale rinnovabileEPH_{non} indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernaleEPD_{ren} indice di prestazione energetica rinnovabile per la produzione di acqua calda sanitariaEPD_{non} indice di prestazione energetica totale per la produzione di acqua calda sanitariaEPgl_{ren} indice di prestazione energetica globale rinnovabileEPgl_{tot} indice di prestazione energetica globale totaleEPC_{int} indice di prestazione termica utile per il raffrescamentoEPH_{tot} indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale non rinnovabileη_{pt} efficienza media stagionale dell'impianto di climatizzazione invernaleEPD_{tot} indice di prestazione energetica non rinnovabile per la produzione di acqua calda sanitariaη_{pw} efficienza media stagionale dell'impianto di produzione di acqua calda sanitariaEPgl_{non} indice di prestazione energetica globale non rinnovabile

Figg. 13-14-15-16 – Tavole esemplificative delle proposte progettuali – settore 'Il ghetto storico'.



Loggia Banchi — Portici di Sottoripa — Piazze



Arte e segnaletica, Museo Zeughaus, Innsbruck

Piazza di San Pancrazio — Piazza Caricamento



Garden Design, BASK Landscape Design

Piazza Banchi — Piazza Caricamento — Piazza Fossatello — Piazza Jacopo da Varagine — Piazza Caricamento



Street Charge, Pensa design Studios, New York City 2013



Hart's Mill Surrounds, Aspect Studios, Port Adelaide 2014

Piazza dell'Agnello — Piazza Pinelli — Piazza Caricamento



Illuminazione a LED a pavimento, Stefano Dall'Ossio, Bellinzona



Figg. 17-18-19-20 – Tavole esemplificative delle proposte progettuali – settore 'Sottoripa'.

PIAZZA SAN PANCRAZIO

Progetto

Verde pubblico 

Fotoinserimento del verde in piazza San Pancrazio

Particolare 1



Nome botanico: *Melia Azedarach*
Nome comune: Albero dei rosari
Tipologia: Caducifoglie
Altezza: 7 - 15 m



Sinonimi: Lavandula
Sinonimi: Lavanda
Tipologia: Sempreverde
Altezza: 0.70 - 0.90 m

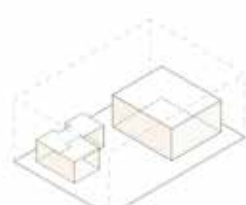
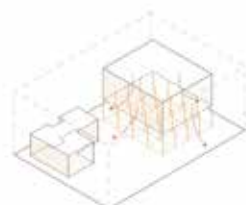
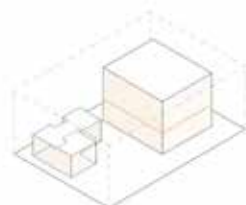
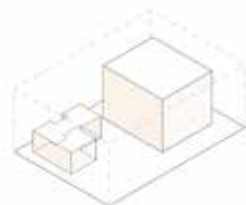


Università degli Studi di Genova - Scuola Politecnica
Ingegneria Edile-Architettura (LM)

Laboratorio di Progettazione Sostenibile dell'Architettura - a.a. 2018/2019
Prof.ssa Renata Morbiducci - Curatori della materia: S. Polverino, V. Bonini

Gruppo 2: Curotto Irene, Olivieri Andrea, Parodi Martina, Tauro Maria D.

Figg. 17-18-19-20 – Tavole esemplificative delle proposte progettuali – settore ‘Sottoripa’.



FUNZIONI PRIMARIE

- Area espositiva
- Area ristoro
- Bar/caffetteria
- Laboratori
- Sala riunioni
- Auditorium - Sala concerti

FUNZIONI SECONDARIE

- Guardaroba
- Ripostiglio
- Servizi igienici
- Locale tecnico

Area: 19,82 mq



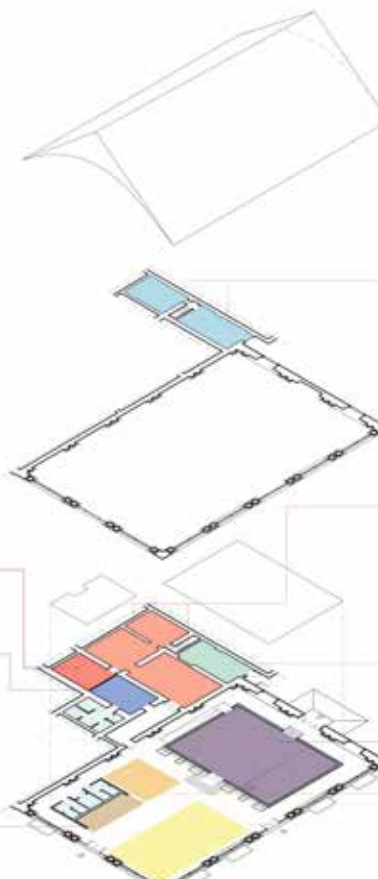
Area: 32,72 mq



Area: 21,98 mq



Area: 18,94 mq



Area: 43,96 mq



Area: 138,41 mq



Area: 91,65 mq



Area: 25,19 mq



Area: 28,39 mq



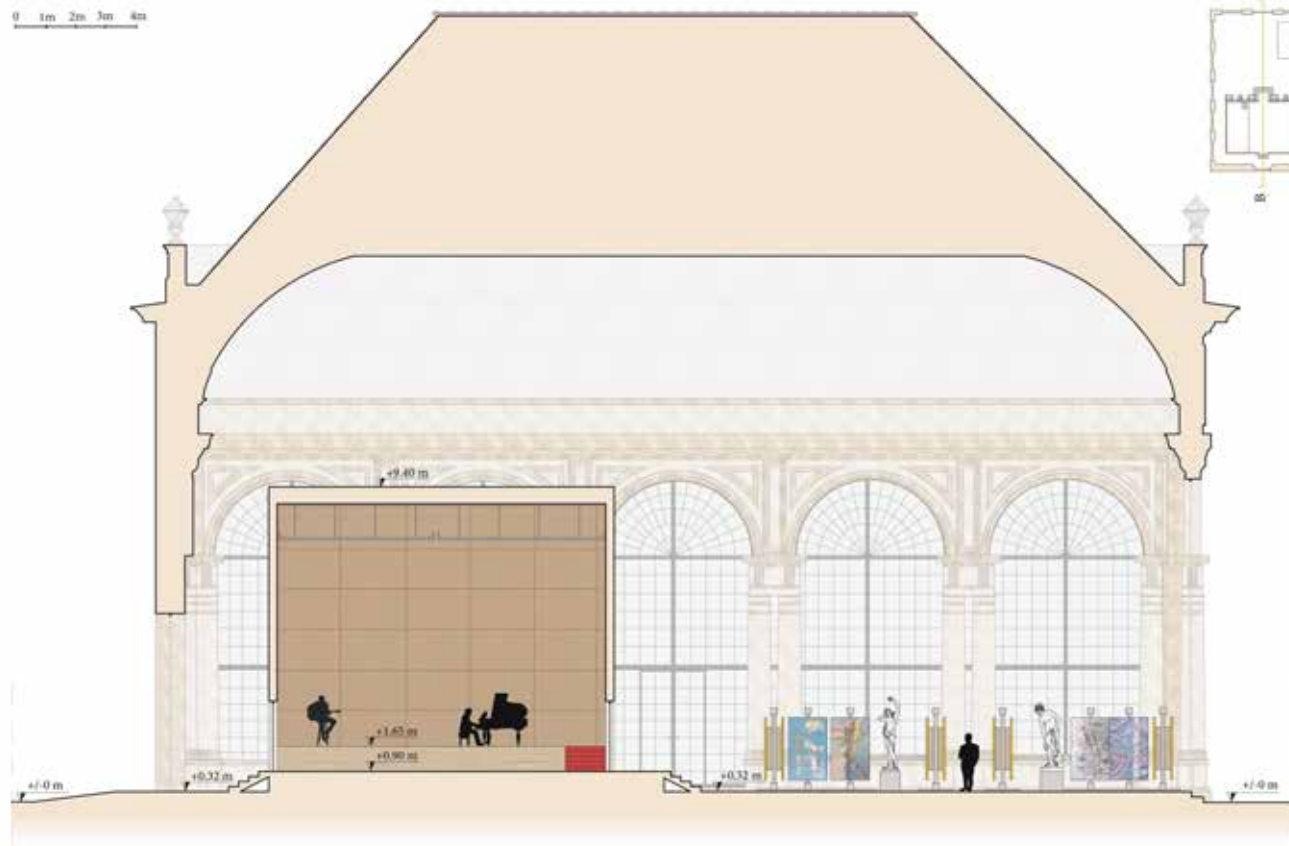
Area: 90,63 mq



Figg. 17-18-19-20 – Tavole esemplificative delle proposte progettuali – settore ‘Sottoripa’.



0 1m 2m 3m 4m



Università degli Studi di Genova - Scuola Politecnica
Ingegneria Edile-Architettura UMI

Laboratorio di Progettazione Sostenibile dell'Architettura - a.a. 2018/2019
Prof.ssa Renata Morbiducci - Curatori della materia: S. Polverino, V. Bonini

Rigenerazione Sostenibile del Quartiere della Maddalena
Gruppo 2 - Curotto Irene, Olivieri Andrea, Parodi Martina, Tauro Maria D.

Figg. 17-18-19-20 – Tavole esemplificative delle proposte progettuali – settore 'Sottoripa'.



Aree verdi/relax per i residenti



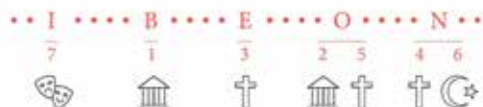
Piazze a servizio di attività culturali



Piazze per il "quartiere del gusto"



Percorso culturale



Percorso culinario


Università degli Studi di Genova - Scuola Politecnica
Ingegneria Edile-Architettura UMI

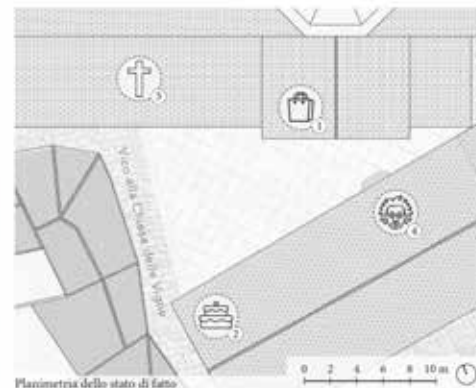
Laboratorio Progettazione Sostenibile dell'Architettura - a.a. 2018/2019
Prof.ssa Renata Morbiducci - Curatori della Materia: S. Polverino, V. Bonini

Rigenerazione Sostenibile del Quartiere della Maddalena
Gruppo 3 - F. Giangaspero, D. Langelia, M. Lasagna, P. Schiappapietra

Figg. 21-22-23 – Tavole esemplificative delle proposte progettuali – settore 'Le piazze centrali'.



Aree verdi/relax per i residenti - Piazza delle Oche



Tra la Basilica di Santa Maria delle Vigne e Via Macelli di Soziglia si trova Piazza delle Oche, antico possedimento della famiglia Vivaldi che prende il nome dai loro animali domestici. Si tratta di una piazza triangolare di dimensioni piuttosto ridotte e pressoché vuota.

Su Piazza delle Oche si affacciano alcune attività commerciali, tra le quali una graziosa boutique (1) e il retro della famosa pasticceria "Romanengo" (2), l'entrata laterale della Basilica di Santa Maria delle Vigne (3) e un edificio che ha ospitato nel 1892 il sedicenne Albert Einstein (4). Addossato alla facciata di questo palazzo, nell'angolo più acuto della piazza risiede un ascensore esterno, collocato in età recente, separato dallo spazio pubblico da una bianca grata fatiscente.

Molto semplicemente il progetto prevederebbe, insieme alla riqualificazione della pavimentazione a piastrellone, l'inserimento di verde urbano, posizionato in vasi, in arredi e in sedute, appositamente progettati per essere anche removibili in caso di necessità.

Inoltre, prendendo come riferimento soluzioni tecniche di diverso tipo, si potrebbe abbellire la grata e lo spazio dedicato all'ascensore con vasi appesi, rampanti e simili, il tutto utopicamente autogestito dai residenti e dai commercianti.





Interventi di riqualificazione specifici

Muri esterni

I muri esterni dell'edificio, soprattutto in Piazzetta Cambiaso e in Vico dietro il Coro delle Vigne, vertono in pessime condizioni, scrostati, fessurati e a pezzi. Anche i muri della parte recente dell'edificio, di colore rosso, sono in alcuni punti privi di intonaco e ricchi di aggiustamenti e riparazioni.



Gli interventi prevederebbero inizialmente la completa pulizia della pietra dall'intonaco e dalle superfetazioni, fino ad avere completamente libero lo strato di supporto.

Successivamente si ricorrerebbe ad un intervento di controplaccaggio con isolate e pannelli in pietra naturale o artificiale che riprendono la conformazione originaria dell'edificio.

Nelle porzioni di muro non storiche il rivestimento esterno del controplaccaggio potrebbe essere differente per orditura, colore o materiale per evidenziare e diversificare le due parti dell'edificio.

Presumibilmente, a monte delle verifiche tecniche, lo strato di isolante, considerando la stratigrafia supposta, dovrebbe essere di minimo 6cm.

Solaio del piano ammezzato (ZR-ZNR)

Il solaio in legno del piano ammezzato che divide le zone non riscaldate del piano terra (centrale termica e locale tecnico) dalla cucina del bistro e dagli spogliatoi verrebbe semplicemente reso isolato, con l'aggiunta di pannelli di coibente negli interstizi vuoti tra i travetti e le travi principali, separati degli stessi grazie ad uno strato di barriera al vapore.

Serramenti

I serramenti, che attualmente sono prevalentemente in legno verniciato di bianco, verrebbero sostituiti con moderni serramenti in alluminio o materiale polimerico (PVC), muniti di taglio termico.

I vetri quindi non sarebbero più singoli o doppi di fattura ormai "antica" ma doppi con bassa emissività. Il lucernaio, nonostante sia più recente e sicuramente più prestazionale verrebbe dotato di vetri a riflessione solare.

Coperture

I solai di copertura principali dell'edificio sono tre: la copertura piana, risalente agli anni sessanta, non calpestabile della parte dell'edificio che si affaccia su Via della Maddalena, la copertura piana non calpestabile dove è collocato il lucernaio dell'atrio, ristrutturato alla fine degli anni novanta, entrambe presumibilmente in laterocemento; e la copertura piana calpestabile sopra le volte dello scalone. Queste verrebbero audacemente isolate e impermeabilizzate grazie ad un intervento esterno che prevederebbe la rimozione e la sostituzione degli strati attualmente presenti.

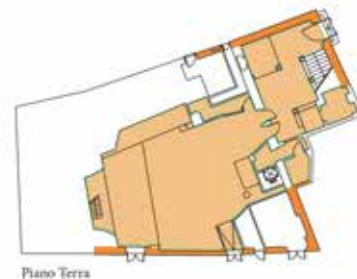


Solaio controterra

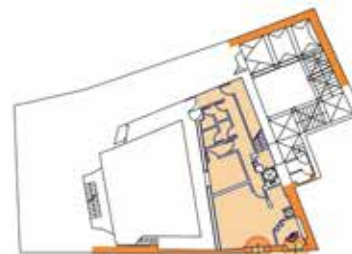
Il solaio controterra è costituito da una stratigrafia molto semplice caratteristica del centro storico di Genova (pietrame, battuto in sabbia e ghiaia e pavimentazione in ardesia). L'intervento prevederebbe l'integrazione di questa tipologia con un pavimento galleggiante isolato e la relativa pseudo-riposizione in gres della pavimentazione originaria.



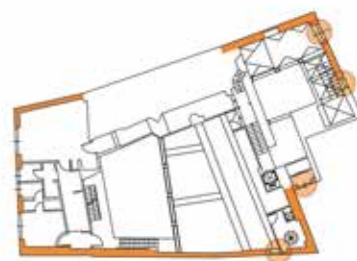
Sezione longitudinale



Piano Terra



Piano Ammezzato

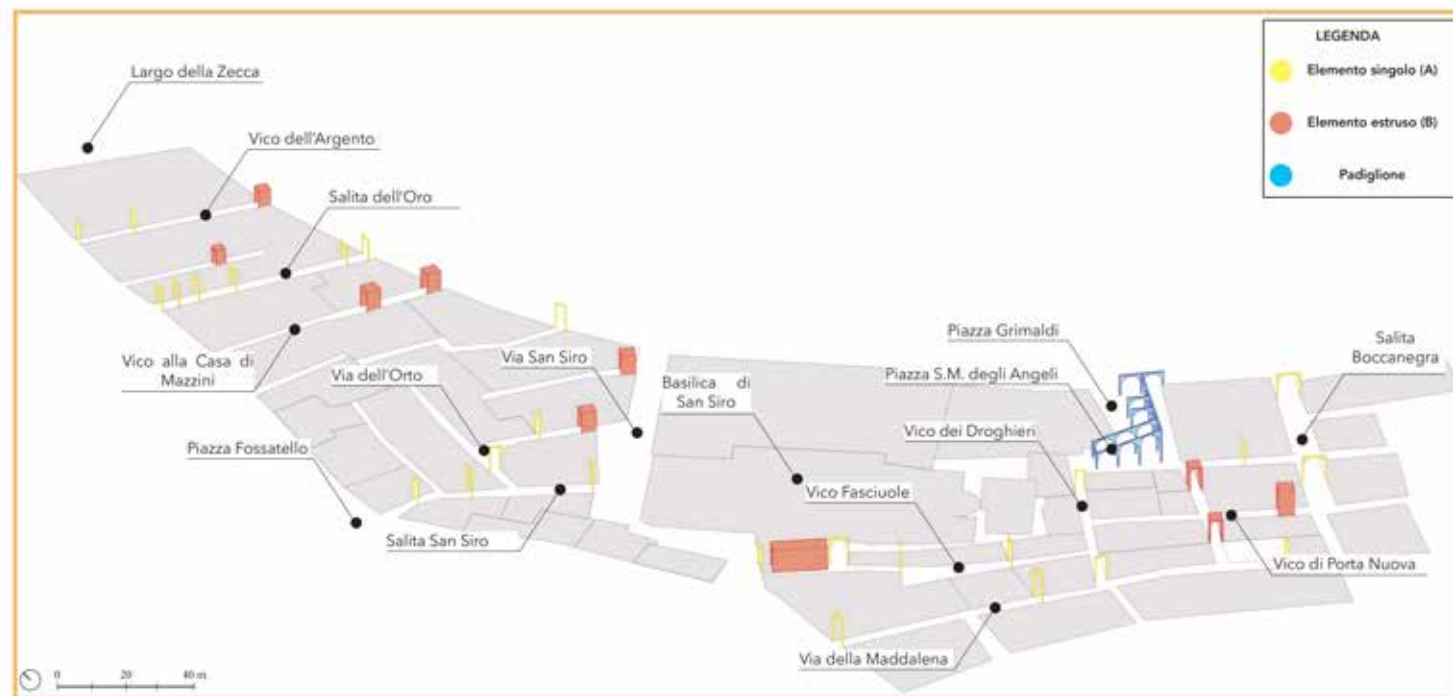


Piano Primo





Rivitalizzazione Centro Storico



Figg. 24-25-26-27 Tavole esemplificative delle proposte progettuali – settore 'La Meridiana'.



Figg. 24-25-26-27 Tavole esemplificative delle proposte progettuali – settore ‘La Meridiana’.



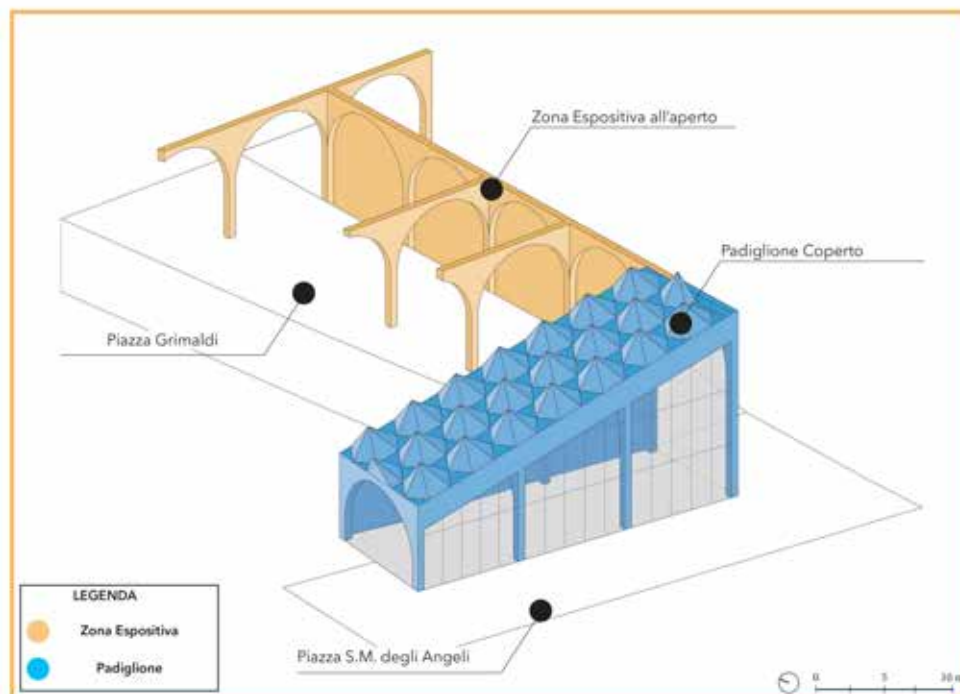
Padiglione

ELEMENTO PERMANENTE

Tra Piazza Grimaldi e Piazza di Santa Maria degli Angeli è presente un **dislivello di circa 3 metri**, un ostacolo per il posizionamento di un padiglione che sia punto di riferimento per il Museo di Palazzo della Meridiana in un eventuale sviluppo diffuso.

Prodacendo una sequenzialità degli elementi è possibile dare una **direzio-ne spaziale** da seguire, all'interno del padiglione permanente. Progettando uno spazio dell'accoglienza per i cittadini del centro storico.

Seguendo il **tema della continuità** formale oltre lo spazio occupato dal padiglione è possibile creare una serie di richiami alla forma originale. Sfruttando la differenza di quota è possibile definire due spazi distinti ma strettamente legati, uno **spazio espositivo all'aperto** su Piazza Grimaldi, in modo tale da garantire il passaggio e la circolazione, e un **padiglione coperto** che possa ospitare convegni, congressi, esposizioni e discussioni, sulla zona sottostante di Piazza S.M. degli Angeli.



Figg. 24-25-26-27 Tavole esemplificative delle proposte progettuali – settore 'La Meridiana'.



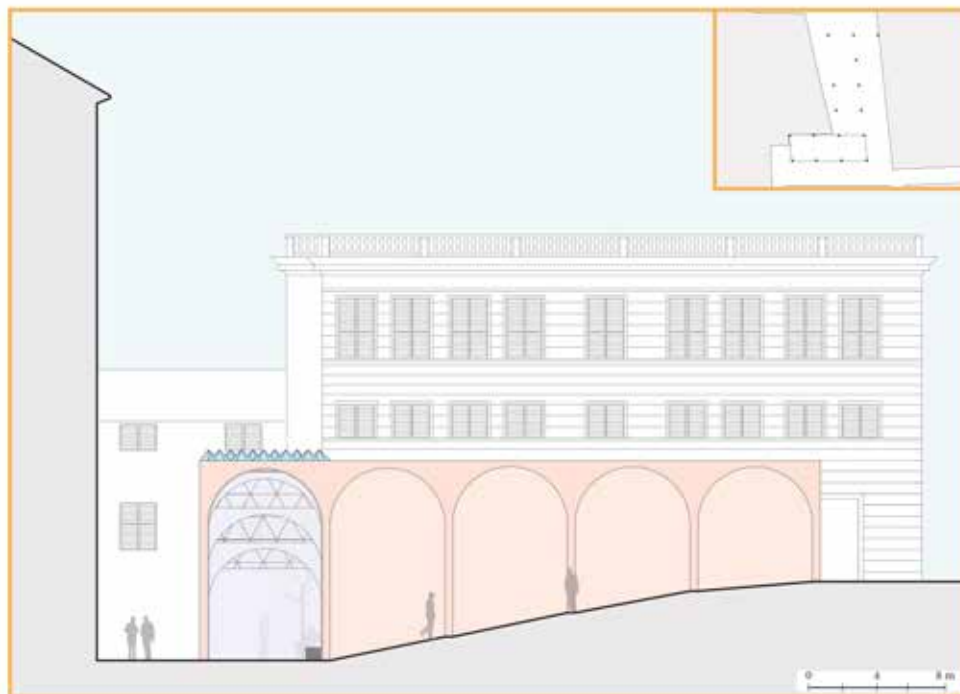
Padiglione

PROSPETTI

Come è già stato analizzato, punto di svolta nella progettazione del padiglione è la possibilità di **sfruttare il cambio di quota** (+3m) che separa Piazza di Santa Maria degli Angeli da Piazza Grimaldi.

La differenza di quota tra le due piazze permette di definire due spazi con due destinazioni funzionali diverse, una zona espositiva all'aperto in Piazza Grimaldi, e il Padiglione in Piazza di Santa Maria degli Angeli.

Queste due aree sono collegate fisicamente dalla salita dell'omonima piazza sottostante. Inoltre sono unite visivamente da un elemento ad arco trasparente confinante tra le due aree che permette a chi si trova in piazza Grimaldi di poter vedere all'interno del padiglione da una quota maggiore. Obiettivo è quello di **infondere curiosità** nel visitatore che può assistere ad eventi all'interno del padiglione, o vivere la quotidianità in una nuova piazza coperta, oppure può visitare in libertà piazza Grimaldi. Così da ammirare le esposizioni artistiche di artisti locali.



Figg. 24-25-26-27 Tavole esemplificative delle proposte progettuali – settore 'La Meridiana'.

E ciò implica inevitabilmente la creazione di una comunità forte e partecipe: un progetto di riattivazione urbana genera valore solo quando è in grado di creare o coinvolgere una comunità di cittadini, che a sua volta generi nuove interazioni e collaborazioni. Le proposte possono poi essere considerate esempi di ‘innovazione sociale’ poiché provano a definire una serie di nuovi valori attorno ai concetti che caratterizzano i loro progetti; oggi, ‘innovazione’ è una parola chiave che costituisce la base del lavoro proposto da innumerevoli professioni (politici, imprenditori, start-up, architetti, programmatori, esperti dei media...), mentre ‘sociale’ indica quei progetti innovativi che forniscono valore aggiunto all’interno del contesto urbano, coinvolgendo attivamente gruppi di cittadini. In questo senso l’innovazione sociale sta nell’importanza dell’azione e del messaggio che queste proposte di riattivazione vogliono trasmettere, ovvero nel portare a una sempre più forte coscienza collettiva.

Un altro aspetto comune ai progetti è sicuramente il ‘tempo’: la riattivazione di spazi abbandonati o sottoutilizzati è spesso caratterizzata da fasi e azioni di durata variabile, da quelle effimere che si sviluppano nell’arco di un solo giorno, a quelle più durature e complesse. La promozione di iniziative temporanee è da un lato il primo passo per attirare l’attenzione su un particolare luogo, dall’altro rappresenta un tipico esempio di auto-organizzazione che ha lo scopo di informare – o sensibilizzare – una comunità locale su una questione specifica. Quando questo coinvolgimento temporaneo iniziale, che può includere numerosi eventi più brevi ripetuti, si conclude in modo positivo, permette di intraprendere una fase successiva caratterizzata sia da innovazione sociale sia da partecipazione, trasformandosi in una azione dalla maggiore complessità. E tra tutti i principi emersi da questi studi, il più forte e caratterizzante del quartiere della Maddalena è proprio quello legato alla ‘partecipazione’. Rispetto a quanto emerso sin d’ora sarebbe necessaria una visione d’insieme che focalizzi la rigenerazione urbana su un processo in grado di assicurare una crescita resiliente e sostenibile di una comunità all’avanguardia, puntando su un programma funzionale

misto, in grado di incentivare partecipazione, *mixité*, e nuove funzioni. La rigenerazione deve quindi basarsi sulla volontà di promuovere l'interazione e la partecipazione, sia pianificata che non, tra gli individui.

Il potere intrinseco della città è infatti la condivisione, strumento chiave per il raggiungere un livello di produttività, efficienza e risparmio che non si potrebbe mai raggiungere come singoli individui. Emerge conseguentemente il tema della 'adattabilità': le città prosperano quando sono in grado di adattarsi nel tempo ai bisogni dei loro cittadini, che cambiano costantemente, ma gradualmente; è l'adattabilità il vero motore della resilienza di un territorio. Tra gli obiettivi principali si riscontra la volontà di incentivare la creazione di una comunità completa che sia in grado di migliorare la qualità della vita grazie a una popolazione diversificata di residenti, lavoratori e turisti. Questo permetterebbe di rendere il quartiere un luogo capace di ospitare persone, aziende, start-up e organizzazioni locali invogliate a partecipare attivamente per trovare le risposte alle diverse sfide cui la città è sottoposta, rendendo il quartiere un nuovo fulcro di innovazione urbana. Solo così si darà vita a nuovi spazi in grado di combinare il meglio del design urbano con i più recenti sviluppi tecnologici digitali, luoghi capaci di incoraggiare l'innovazione in materia di sostenibilità ambientale. Sapendo inoltre che i migliori esempi nel mondo non sono mai quartieri pianificati dall'alto verso il basso (*top-down*), i progetti vogliono creare le condizioni per costruire una comunità che alimenti l'innovazione dal basso (*bottom-up*), con soluzioni proposte da persone, aziende, start-up, centri accademici e organizzazioni locali per gli anni a venire. La rigenerazione del centro storico e del quartiere della Maddalena rappresenterebbero allora una straordinaria opportunità per plasmare il futuro della città e fornire un modello di crescita urbana sostenibile.



Fig. 28 – Insieme delle proposte progettuali. (Immagine di Vittoria Bonini)

Collana Sustainable Design and Construction

1. Renata Morbiducci, Clara Vite, *Riqualificazione sostenibile. Processi di Ottimizzazione*, 2017; e-ISBN (pdf) 978-88-97752-74-5.
2. Giorgio Giallocosta, Simona G. Lanza, Francesca Pirlone, Pietro Ugolini, *Patrimonio storico/architettonico e rischio idraulico. Misure di prevenzione/mitigazione e possibili applicazioni al Centro Storico genovese*, 2017; ISBN 978-88-97752-83-7.
3. Christiano Lepratti, *Caratteri permanenti dell'architettura sostenibile*, 2017; e-ISBN (pdf) 978-88-94943-01-6.
4. Enrico Dassori, *Percorsi della tecnica in architettura*, 2018; ISBN 978-88-94943-17-7, e-ISBN (pdf) 978-88-94943-18-4.
5. Renata Morbiducci, *Prè-Visioni – Una nuova porta per la rigenerazione del centro storico di Genova*, 2019; e-ISBN (pdf) 978-88-94943-55-9.
6. Enrico Dassori, Clara Vite, *1870-1914 Società, architetti e ingegneri*, 2020; ISBN 978-88-3618-051-6, e-ISBN (pdf) 978-88-3618-052-3.
7. Mobilità sostenibile. *La Sopraelevata*, a cura di Ilaria Delponte e Enrico Musso, 2022; ISBN 978-88-3618-125-4, e-ISBN (pdf) 978-88-3618-126-1.
8. Enrico Dassori, Salvatore Polverino, *1914-1938 L'istanza razionale in architettura*, 2022; ISBN 978-88-3618-149-0, e-ISBN (pdf) 978-88-3618-150-6.
9. Vittoria Bonini, Paolo Galelli, Alessio Minetto, *Tomorrow Is Reloading. Il ruolo del digitale nel progetto della città contemporanea*, a cura di Ilaria Delponte, Renata Morbiducci, 2022; e-ISBN (pdf) 978-88-3618-164-3.
10. *L'innovazione nella progettazione sostenibile*, a cura di Renata Morbiducci, 2023; e-ISBN (pdf) 978-88-3618-232-9.

Renata Morbiducci, è architetto, dottore di ricerca in ingegneria delle strutture. Professore ordinario di architettura tecnica e docente per Corsi di Dottorato, di Master e di Corsi universitari in Ingegneria e Architettura. È membro dell'ONG RINGO, Delegazione COP-UNFCCC. È responsabile scientifico di progetti internazionali e nazionali. Ha svolto attività di ricerca presso la University of Colorado (Boulder) e la Northwestern University (Evanston Chicago) ed è stata docente presso la Florida International University (FIU).

Il settore delle costruzioni sta entrando nella nuova era di trasformazione circolare e digitale dell'economia, con un rapido allineamento dei processi di produzione, costruzione e gestione ai principi dell'industria 4.0. La codifica di quelle che possono essere definite «scelte progettuali sostenibili» può essere definita investigando i principali ambiti annessi alla progettazione tecnica dell'architettura e dell'edilizia. A partire dagli insegnamenti dei corsi universitari si possono distinguere numerosi ambiti di azione culturale teorica e applicativa dove analizzare gli sviluppi dei diversi aspetti inerenti l'innovazione nella progettazione sostenibile del costruito. Il presente volume contiene contributi di Renata Morbiducci, Clara Vite, Salvatore Polverino e Vittoria Bonini; in tali contributi gli autori analizzano i possibili strumenti al servizio di una progettazione sostenibile dell'architettura e di una sua declinazione nella didattica universitaria dal punto di vista teorico-applicativo.

In copertina:
Sostenibilità

e-ISBN: 978-88-3618-232-9

composizione di Alessandro Castellano, 2023