Politecnico di Torino

COLLEGIO DI INGEGNERIA EDILE

Corso di Laurea Magistrale In Ingegneria Edile

Tesi di Laurea Magistrale

Centrale Termica Olivetti di Ivrea (E. Vittoria, 1956-1959): dal rilievo geomatico e critico al progetto di recupero e rifunzionalizzazione.

Relatori:
Prof. Marco Zerbinatti
Arch. Francesca Matrone
Arch. Enrico Giacopelli

Candidato:
Luca Montemaggi

Luglio 2026

Indice

Abstract 1

Introduzione 3

1 Inquadramento territoriale 5

1.1 Dati amministrativi 5

1.2 Morfologia del territorio 7

1.3 Indicazioni su potenziali rischi 8

1.3.1 Rischio Idrogeologico 8

1.3.2 Rischio sismico 9

1.4 Infrastrutture per la mobilità 11

1.4.1 Raggiungere Ivrea in auto 11

1.4.2 Raggiungere Ivrea in treno 11

1.4.3 Mobilità dolce 13

1.5 Caratteri sociodemografici 14

1.6 Analisi e classificazione climatica 15

1.6.1 Temperatura e piovosità 15

1.6.2 Ventosità 18

1.6.3 Comfort 19

1.7 Evoluzione storica dell'insediamento urbano 20

1.8 Economia 25

1.8.1 Tessuto imprenditoriale 25

1.8.2 Settore Turistico 28

1.9 Istruzione 30

1.10 Offerta turistica 32

1.10.1 EcoMuseo AMI 32

1.10.2 I Cinque Laghi della Serra d'Ivrea 33

1.10.3 La Via Francigena 34

1.10.4 Il Museo a cielo Aperto dell'Architettura Moderna (MaAM) 35

1.10.5 I musei di Ivrea 36

1.10.6 Eventi e manifestazioni 37

2 Analisi del comparto 39

2.1 Gli anni della Olivetti 39

2.1.1 Storia dell'Azienda 39

2.1.2 Il concetto di Comunità per gli Olivetti 42

2.1.3 I mezzi per la Comunità «concreta» ... 44
2.1.4 La «Comunità» ad Ivrea ... 46
2.1.5 Quale Architettura per la «Comunità»? ... 50
2.2 Dopo la Olivetti ... 58
2.2.1 La dismissione del patrimonio costruito ... 58
2.2.2 Le prime iniziative di valorizzazione e tutela ... 58
2.2.3 Il riconoscimento UNESCO ... 60
2.3 La «Comunità» oggi ... 61
2.3.1 I principali attori ... 61
2.3.2 Le interviste ... 62
3 Analisi del Sito ... 64
3.1 Individuazione geografica ... 64
3.2 Schedatura della Centrale Termica Olivetti ... 65
3.3 Fasi della costruzione ... 68
3.4 Indagini su forme di alterazioni macroscopiche e di degrado ... 71
3.4.1 Metodologia ... 71
3.4.2 Analisi del prospetto Sud ... 72
3.5 Normativa vigente e interventi ammessi ... 77
3.6 Biografia di Eduardo Vittoria ... 79
3.6.1 L'Architettura per Eduardo Vittoria ... 79
3.7 Eduardo Vittoria: lavori per la Olivetti ... 81
3.7.1 Centro studi ed esperienze Olivetti | 1954 – 1955 | E. Vittoria ... 81
3.7.2 Stabilimenti OMO di San Bernardo | 1955 - 1956 | E. Vittoria ... 81
3.7.3 Officina H – Copertura del cortile della «Nuova ICO.» | 1956 – 1957 | E. Vittoria ... 83
3.7.4 Stabilimenti «B», «C», «D» Olivetti a Scarmagno | 1968 -1971 | E. Vittoria – M. Zanuso – R. Guiducci ... 84
3.8 Il Progetto sul costruito: recupero del moderno ... 86
3.8.1 Officine ICO a Ivrea ... 88
3.8.2 Fabbrica Van Nelle a Rotterdam ... 91
3.8.3 Impianto minerario di Zollverein a Essen ... 94
4 Il rilievo geomatico ... 97
4.1 La teoria del rilievo ... 97
4.1.1 Lo stato dell'arte ... 97
4.1.2 Recenti sviluppi ... 104
4.2 Acquisizione dati ... 109

4.2.1 Il rilievo d'inquadramento ... 109
4.2.2 Il rilievo di dettaglio ... 111
4.2.3 Fotogrammetria terrestre ... 111
4.2.4 LiDAR terrestre ... 112
4.2.5 Volo UAV multispettrale ... 113
4.2.6 Celerimensura ... 114
4.2.7 Camera iperspettrale ... 117
4.3 Elaborazione dati ... 119
4.3.1 Compensazione della rete ... 119
4.3.2 Rilievo LiDAR ... 120
4.3.3 Volo UAV ... 126
4.3.4 Fotogrammetria terrestre ... 137
4.3.5 Immagini multispettrali da volo UAV ... 147
4.3.6 Immagini Iperspettrali ... 160
4.4 H-BIM *As-Built* della Centrale Termica Olivetti ... 182
4.4.1 Definizioni utili ... 182
4.4.2 Obbiettivi e processo di modellazione ... 186
4.4.3 Risultati della modellazione ... 193
4.4.4 Conclusioni ... 195
4.4.5 Sviluppi futuri ... 195
5 Il progetto ... 197
5.1 Un metodo per il Progetto ... 197
5.2 Degrado e alterazioni in facciata: proposte di intervento ... 198
5.3 Il concept della rifunzionalizzazione: "La Centrale" ... 203
5.4 Funzioni e relazioni spaziali ... 206
5.5 Contaminazioni: Architettura olivettiana ed Eduardo Vittoria ... 219
5.5.1 I negozi Olivetti ... 219
5.5.2 I moduli di Eduardo Vittoria ... 223
5.6 Materiali e colori per l'intervento ... 227
5.6.1 La scelta delle superfici ... 227
5.6.2 Il colore come codice di orientamento ... 228
5.6.3 Il colore come segno di stratificazione ... 228
5.6.4 Il colore come gioco ... 229
5.7 Prestazioni energetiche e valutazioni impiantistiche ... 230
5.7.1 Interventi sulle componenti opache ... 230

5.7.2 Interventi sulle componenti trasparenti 232
5.7.3 Impianti di climatizzazione e ventilazione: valutazioni preliminari 235
5.8 Interventi strutturali: valutazioni preliminari 240
5.8.1 Dimensionamento del “Solaio a secco” 240
5.8.2 Parametri meccanici e capacità dei pilastri esistenti 243
5.8.3 Verifiche locali di compressione del Pilastro 244
5.8.4 Considerazioni sulle verifiche strutturali 251
5.8.5 Tecniche di consolidamento 251
5.9 Sviluppo dei dettagli costruttivi 254
Conclusioni 261

Abstract

Il lavoro di Tesi di Laurea Magistrale affronta il tema del recupero e della rifunzionalizzazione di un edificio emblematico dell'Architettura del Novecento, oggi ascrivibile al patrimonio industriale dismesso. Nel contesto eporediese dell'azienda Olivetti, il problema del riuso di spazi un tempo legati alla produzione industriale – e oggi inseriti nel sito UNESCO "Ivrea Città Industriale del XX Secolo" – è di scottante attualità. Il declino produttivo seguito alla grande stagione di avanguardia tecnologica e sociale guidata da Adriano Olivetti (tra gli anni '30 e '60 del secolo scorso) ha infatti lasciato in eredità un vasto patrimonio architettonico moderno – industriale, residenziale e di servizi – di eccezionale valore, ma che - tuttavia - rimane in parte inutilizzato. Il lavoro è stato focalizzato sulla ex Centrale Termica realizzata in ambito urbano su progetto di Eduardo Vittoria, proponendo un progetto di recupero supportato da una metodologia di indagine e conoscenza parzialmente innovativa. Propedeutico alla fase progettuale è stato il rilievo dell'edificio: oltre alle tecniche tradizionali, sono state sperimentate tecniche di classificazione del degrado tramite algoritmi di Intelligenza Artificiale su immagini iperspettrali. Le informazioni elaborate sono quindi confluite in un modello H-BIM, inteso come strumento strategico per la futura manutenzione del bene recuperato. L'intervento di riuso adattivo ha poi affrontato le complessità tipiche della tutela del Moderno e la sfida di un mix funzionale coerente con le necessità del territorio. La conservazione dell'autenticità materica, il rispetto dell'integrità formale e della natura compositiva della struttura sono stati i punti cardine di una proposta che ha elaborato un'articolata offerta culturale. Il progetto restituisce così alla comunità "La Centrale", baricentro geografico e identitario del Sito UNESCO, dove trovano spazio la conservazione della memoria (Archivio), la divulgazione storica (Museo) e la formazione tecnica (Laboratorio).

Introduzione

Il 1° luglio 2018 l'agenzia UNESCO ha riconosciuto il comparto industriale Olivetti di Ivrea come Patrimonio dell'Umanità. Un traguardo che arriva dopo un lungo percorso di riscoperta e valorizzazione di tali Architetture, un tempo simbolo di sviluppo economico e prosperità per un'intera regione, trasformatisi poi in una minaccia di degrado e abbandono in seguito alla crisi della manifattura. Grazie al forte legame tra società civile, istituzioni e l'eredità dell'azienda Olivetti, a partire dagli anni '90 è stato aperto un vero e proprio laboratorio a cielo aperto che si è proposto di affrontare il difficile compito di rifunzionalizzare un patrimonio edilizio industriale di alto pregio culturale, espressione materiale di un'esperienza unica come la Olivetti di Camillo e Adriano.

Questa Tesi di Laurea Magistrale si propone di affrontare questa sfida scegliendo come caso studio uno dei pochi edifici che ancora non sono stati interessati da alcun intervento di rifunzionalizzazione: la Centrale Termica Olivetti. Realizzata tra il 1956 e il 1959 su progetto dell'architetto Eduardo Vittoria, si presenta come un edificio semplice nella composizione volumetrica e planimetrica, rigoroso nella composizione delle facciate modulari, di rottura rispetto alla purezza materica delle Officine ICO grazie alle sue caratteristiche piastrelle in clinker rosse e blu.

Il lavoro di Tesi ha quindi avuto origine dai seguenti quesiti:

- Quale ruolo può avere la Centrale Termica Olivetti all'interno del Sito UNESCO?
- Quale invece all'interno della più ampia comunità eporediese?
- Quali strategie adottare per la sua conservazione e riconversione?

Per dare risposta a tali interrogativi e arrivare alla formulazione di una proposta progettuale di recupero e rifunzionalizzazione si è data massima rilevanza, nella fase iniziale, al processo di conoscenza del manufatto. Un'ampia campagna di rilievo ha consentito, attraverso il ricorso a diverse tecnologie, di restituire numerosi elaborati descrittivi della geometria della struttura, costituendo una base fondamentale per il progetto architettonico. Non solo: sono state sperimentate delle tecnologie di classificazione automatizzata del degrado e delle alterazioni in facciata che oggi rappresentano l'avanguardia nel campo dell'intelligenza artificiale applicata all'analisi delle strutture. Un insieme di informazioni confluite in un modello H-BIM volto alle future attività di manutenzione.

Oltre alla dimensione prettamente tecnologica, l'indagine ha mirato alla comprensione profonda del *genius loci*. La città di Ivrea, la storia dell'azienda, i suoi principali protagonisti, così come la figura del suo autore Eduardo Vittoria sono state approfondite nel dettaglio, mettendo a sistema un insieme di informazioni chiave per la realizzazione di un progetto sul costruito realmente in grado di re-interpretare l'esistente e rispettarne l'identità. Oltre alla ricerca documentale si è affiancato un percorso di ascolto delle principali associazioni e fondazioni a tema Olivetti, per comprenderne obbiettivi e opportunità di sviluppo.

La proposta di rifunzionalizzazione intende quindi restituire una nuova identità al manufatto, di natura culturale, preservando quella centralità che lo caratterizzava quando la sua funzione era quella di fornire energia all'intero comparto produttivo, proponendolo come luogo di sintesi tra differenti usi e funzioni all'interno del sistema di città-museo-laboratorio. "La Centrale" diventa così il luogo dove conservare gli Archivi Olivetti, dove esplorare la storia e la produzione dell'Azienda, il laboratorio di sperimentazione creativa e tecnologica per la formazione delle nuove generazioni.

1 Inquadramento territoriale

1.1 Dati amministrativi

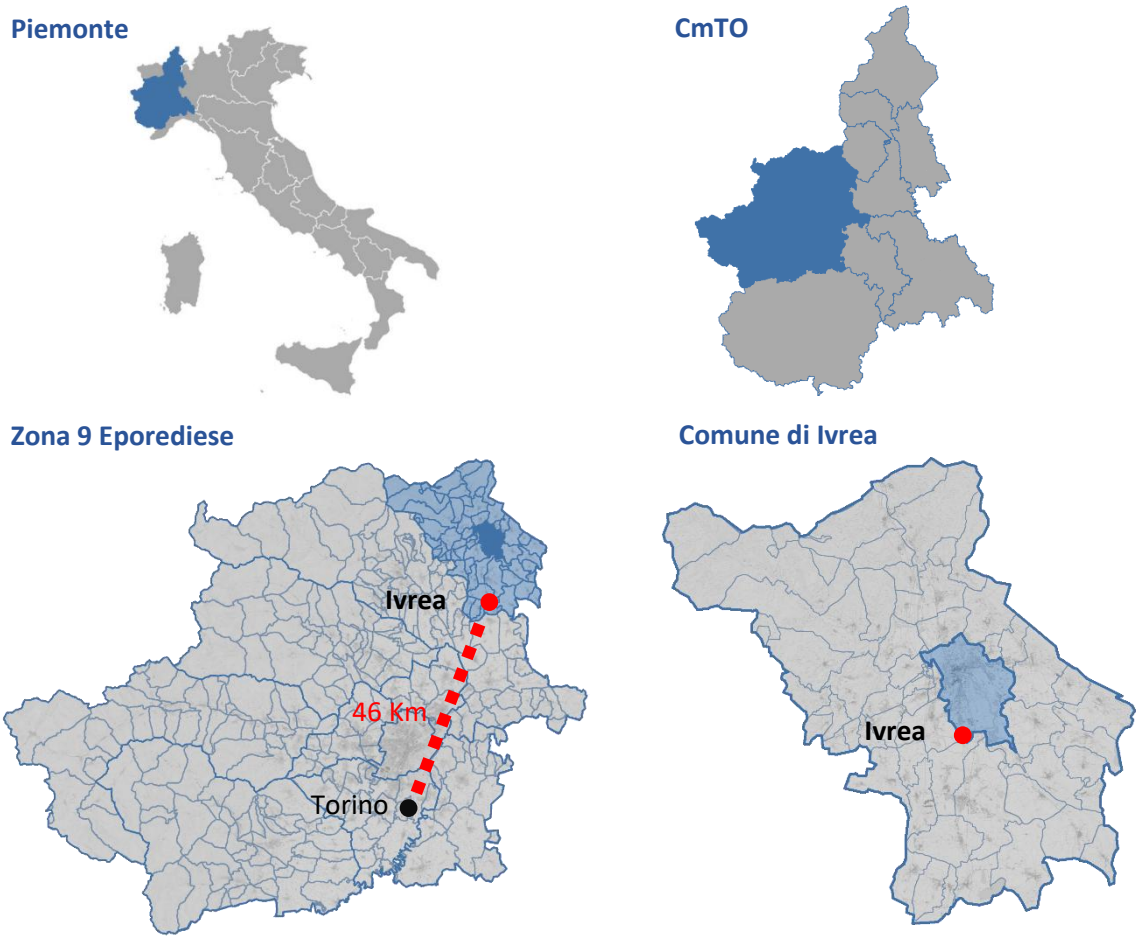


Figura 1.1-1: Inquadramento territoriale del Comune di Ivrea (elaborazione personale)

Ivrea è un comune italiano di 22.532 abitanti che si estende per 30.11 Km nella regione storica del canavese, territorio del Piemonte delimitato dai confini con la Valle d'Aosta, le Valli di Lanzo e la pianura torinese. Ivrea, chiamata in antichità Eporedia, si trova all'interno della zona omogenea n°9, facente parte della Città metropolitana di Torino (CmTO), ed è situata a circa 46 Km a nord-nord-est rispetto al capoluogo di regione. La città confina con tredici comuni, di cui Strambino è il più popoloso (6059 abitanti), ed ha una sola frazione ovvero Torre Balfredo, situata a circa 5 Km dal capoluogo eporediese.

Ivrea si pone come città principale ed epicentro della regione del canavese, sia per la posizione geografica di centralità, le dimensioni del suo abitato che per via dell'importante ruolo economico rivestito dalla città durante tutto il Novecento. Tra i principali comuni del territorio si evidenziano: Agliè (2572 abitanti), Castellamonte (9999 abitanti), Chivasso (26.139 abitanti), Ciriè (18.112 abitanti). I Comuni canavesani sono inseriti in cinque delle undici zone omogenee in cui è diviso il territorio della Città metropolitana di Torino, suddivisione adottata nell'anno 2015[1].

[1] Elaborazione tuttitalia.it su dati Istat (2024)

Figura 1.1-2: Ortofoto del Comune di Ivrea (webGis Piemonte)

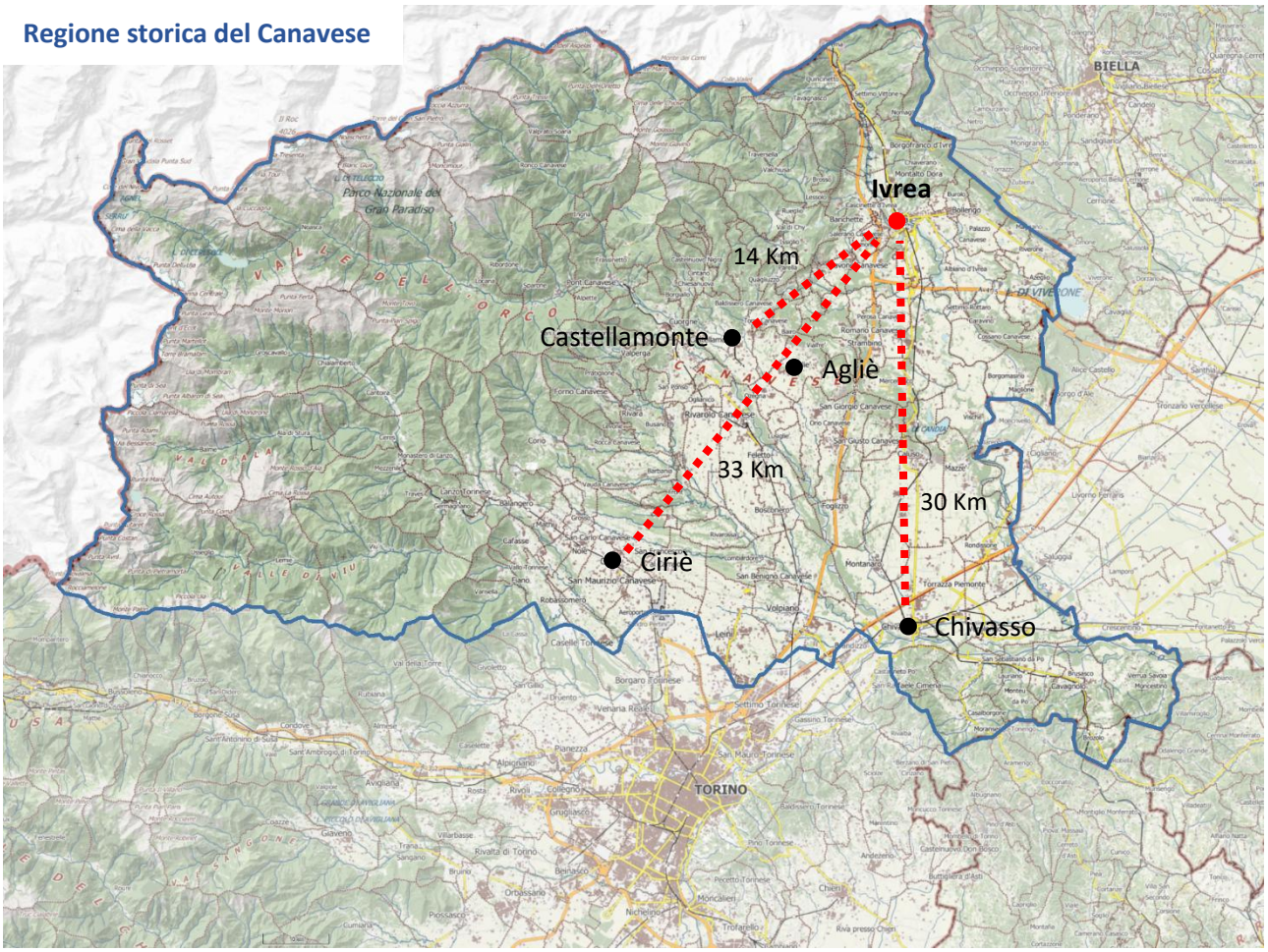


Figura 1.1-3: Individuazione geografica del canavese e dei principali insediamenti abitativi (elaborazione personale)

1.2 Morfologia del territorio

Situata alle pendici delle Alpi Graie orientali, estremo della Pianura Padana, la città di Ivrea si trova all'interno di un anfiteatro morenico: un articolato sistema di rilievi rocciosi dalla conformazione tendenzialmente ellittica e di origine glaciale. A formare quello che è uno dei più importanti depositi morenici d'Europa è stata infatti l'azione di tre glaciazioni; l'azione dapprima escavatrice del ghiacciaio e successivamente di deposito dei detriti, ha consentito la formazione di questa particolare orografia che circonda per un raggio di circa 10 Km Eporedia.

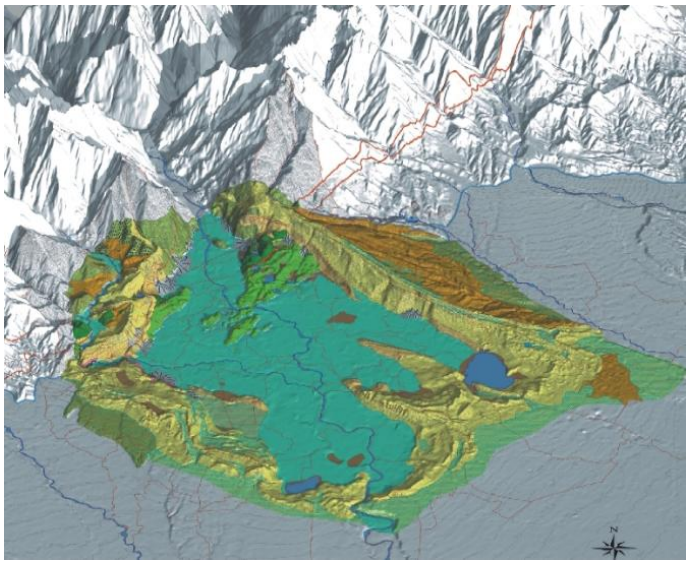


Figura 1.2-1: Rappresentazione dell'Anfiteatro morenico di Ivrea (https://www.ecomuseoami.it/il-territorio)

In contrasto con la pianura interna della morena, si staglia a nord-est la Serra d'Ivrea, sedimento glaciale caratterizzato da uno sviluppo della cresta orizzontale il quale, unitamente ad un dislivello medio rispetto alla pianura interna di 400 m, la rende una barriera naturale di grande impatto visivo[2].

Figura 1.2-2: Vista della Serra d'Ivrea (wikipedia.it)

A tagliare in due l'anfiteatro morenico, lambendo con le sue acque la città di Ivrea, è la Dora Baltea: un fiume della lunghezza di 160 Km che trova origine in Valle d'Aosta dai ghiacciai delle Alpi Graie, concludendo il suo percorso nelle acque del Po, del quale è il quinto principale affluente. È l'unico fiume italiano dal regime nivo-glaciale, caratterizzato dunque da portate d'acqua maggiori durante il periodo estivo, quando le acque disciolte dei ghiacciai confluiscono nel suo letto. Durante il corso della storia è stato sfruttato per l'irrigazione della pianura eporediese ed è ad oggi utilizzato per la produzione di energia elettrica[3].

[2] https://www.ecomuseoami.it/il-territorio
[3] GIANOTTI

La litologia della città di Ivrea, situata nella pianura dell'Anfiteatro Morenico, è stata definita e governata prevalentemente dall'evoluzione della Dora Baltea. Caratterizzata da forme riconducibili a dinamiche fluviali a medio-bassa energia, lo studio della composizione del terreno evidenzia la presenza ghiaie eterometriche a frazione fine sabbioso-limosa. In profondità si individuano invece materiali prevalentemente fini, a componente sabbioso-limosa, alternata a fasce sabbie-ghiaiose[4]. In particolare mentre il centro di Ivrea si è sviluppato su di un «deposito di piana alluvionale recente ed attuale»[5], costituito da ghiaie e sabbie anche limose, il distretto industriale olivettiano, sviluppatosi su Via Jervis, risulta invece caratterizzato da limi argillosi e torbo-limosi, come evidenziato in figura 2.2-3.

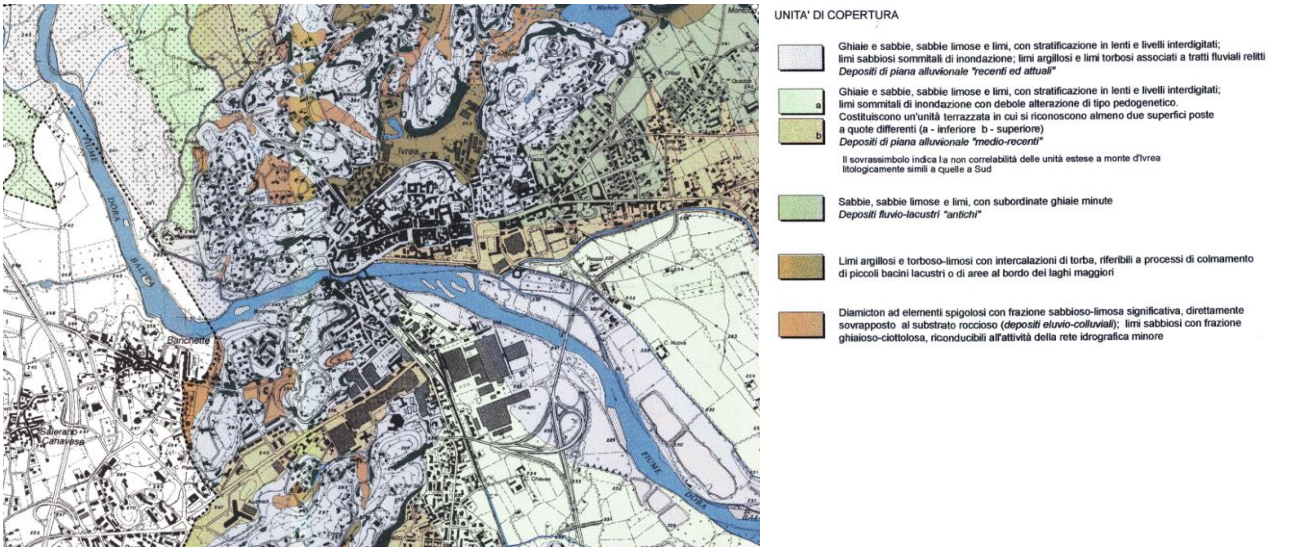


Figura 1.2-3: PRG 2000, Carta geologica e schema strutturale

1.3 Indicazioni su potenziali rischi

1.3.1 Rischio Idrogeologico

Il fenomeno di riferimento per l'attuale definizione dei rischi derivanti dal dissesto idro-geologico è stato l'evento alluvionale dell'ottobre 2000, dove il fiume Dora Baltea ha raggiunto i massimi livelli di portata d'acqua mai registrati. In tale occasione vaste aree del Canavese sono state inondate, compresa la città di Ivrea, la quale ha registrato danni al naviglio (già precedentemente danneggiato da un evento del 1993) e una inondazione in Via Jervis.

Nel Piano Assetto Idrogeologico (PAI), si indica Ivrea come area a rischio Idrogeologico di *Livello 3*, con maggiori probabilità di accadimento per gli eventi alluvionali rispetto a quelli franosi, i quali sono fenomeni che interessano aree decisamente meno estese (8 Kmq vs 0.1 Kmq). In seguito all'alluvione del 2000, l'area di Via Jervis, ivi quindi comprese le Officine ICO[6], viene classificata come inondabile ed inserita in *Fascia C* (Area di Inondazione per piena catastrofica), quindi con una bassa probabilità di accadimento. Non tutti gli edifici Olivetti prospicienti Via Jervis sono però interessati da tale classificazione: alcuni, come la Centrale Termica (+2.85 m su via Jervis), sono infatti situati ad una quota sufficientemente alta da evitare il rischio di inondazione.

[4] PRG 2000, Progetto definitivo, Elaborati Geologici, Relazione illustrativa (a cura di) Renata De Vecchi Pellati, Alberto Strona, Città di Ivrea (2004).
[5] *Ibidem*
[6] Officine Ingegner Camillo Olivetti

Figura 1.3-1: Aree allagabili di Fascia C (bassa probabilità)
(SIT Autorità del Bacino Distrettuale del Po https://webgis.adbpo.it/catalogue/#/map/1070)

1.3.2 Rischio sismico

La classificazione sismica del territorio italiano ha subito nel corso degli ultimi decenni diversi aggiornamenti e revisioni, spesso in seguito a eventi sismici di grande magnitudo. Ad oggi tale classificazione è di competenza delle singole regioni, le quali devono rispettare le direttive imposte dall'OPCM n°3274/2003. Tale ordinanza ha introdotto la Zona Sismica 4, la quale sostanzialmente porta a classificare come a basso rischio sismico tutti quei territori che fino ad allora erano esentati dalle norme di progettazione antisismica, lasciando in capo alle regioni la decisione di imporre eventuali richieste prestazionali per le nuove costruzioni localizzate in tale fascia.

La Regione Piemonte, dopo aver recepito tale OPCM, ha condotto nel tempo degli studi sulla pericolosità sismica su scala regionale, di cui quello condotto nel 2018 dall'Università di Genova risulta essere l'ultimo. Questo ha consentito di dettagliare ulteriormente quello condotto su scala nazionale dall'INGV nel 2004, suggerendo una sub-divisione della Zona 3 in una Zona 3S e una Zona 3, modifica effettivamente attuata nel D.G.R. n° 6-887 del 30/12/2019. In tale decreto vengono inoltre riviste le classificazioni di alcune città, tra cui quella di Ivrea che passa dalla Zona 4 alla Zona 3, con accelerazioni del suolo comprese tra i 0.05 e i 0.125 g. Nel decreto si specifica comunque che, per quanto concerne la progettazione antisismica, occorre comunque fare riferimento alle azioni sismiche indicate per la Zona 3 nelle NTC 2018.

ZONE	PGA 475 (ag)
3s	**0,125g**<ag ≤ 0,150g
3	0,05g< ag ≤ **0,125g**
4	≤ 0,05g

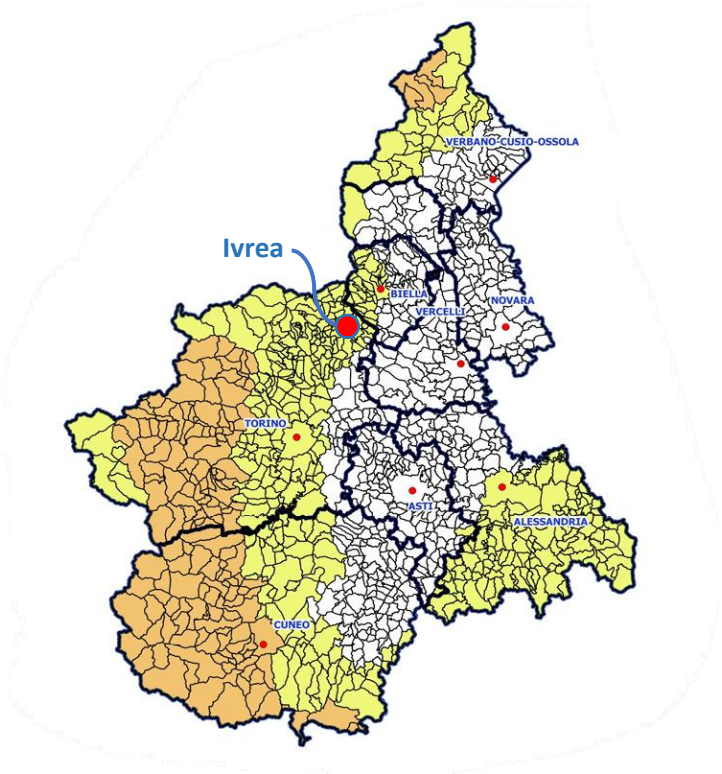


Figura 1.3-2: Zonazione del rischio sismico Regione Piemonte Fonte: Studio DISTAV (2018)

1.4 Infrastrutture per la mobilità

1.4.1 Raggiungere Ivrea in auto

Ivrea risulta essere ben collegata per quanto concerne la mobilità su gomma: la sua posizione storicamente strategica per il raggiungimento della Valle d'Aosta e il valico del confine ha determinato negli anni '60 e '70 un forte sviluppo della rete autostradale.

L'asse Torino-Ivrea-Aosta è servito dall'autostrada A5, con tempi di percorrenza di circa 1 ora sia per il primo tratto (53 Km) che per il secondo (71 Km) in direzione Aosta. Partendo da Milano invece, è possibile raggiungere Ivrea mediante la A4 passando per Novara, coprendo i 114 Km che le separano in circa 1 ora e mezza di viaggio; da Novara invece il viaggio dura circa 1 ora (70 Km).

Il collegamento con Genova ed Alessandria è quindi assicurato dall'autostrada A26, la cosiddetta autostrada dei trafori, con la quale è possibile raggiungere Ivrea in 2 ore e 20 minuti (180 km) partendo dal capoluogo ligure e 1 ora e 10 minuti circa (100 km) se invece la partenza è fissata dalla popolosa città piemontese di

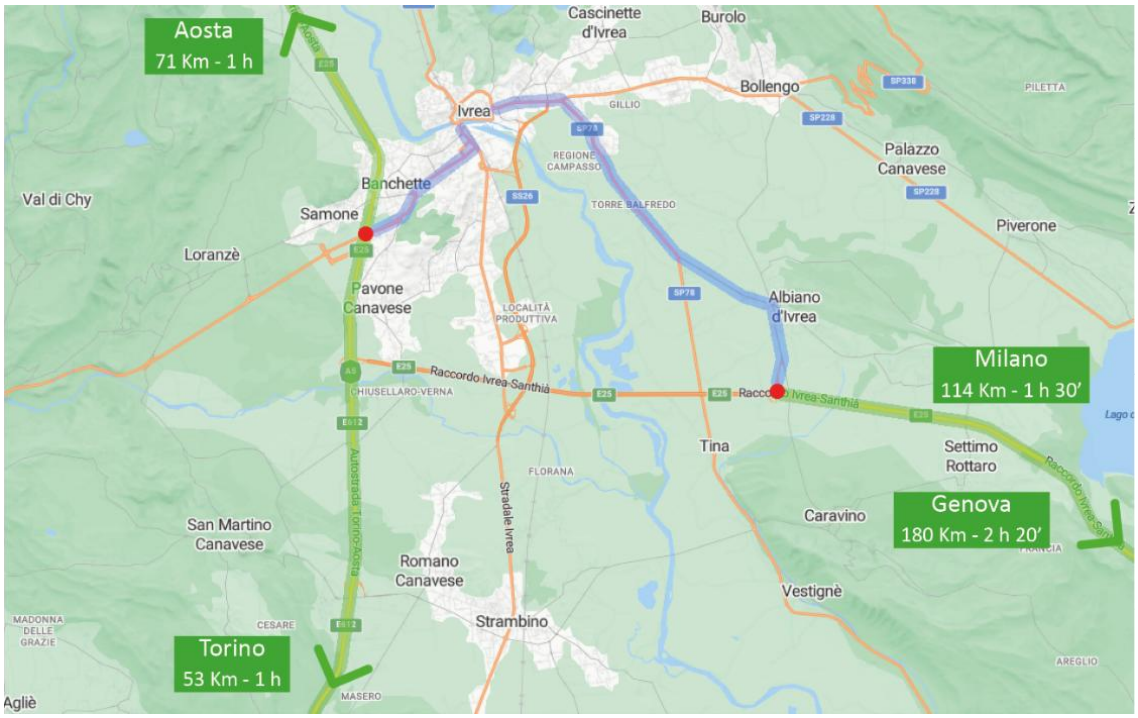


Figura 1.4-1: Tempi di percorrenza in Autostrada da Ivrea verso le principali città limitrofe (elaborazione personale su base Maps.com)

Alessandria.

1.4.2 Raggiungere Ivrea in treno

La stazione di Ivrea è dotata di tre binari, di cui il secondo e il terzo accessibili mediante un sovrappasso pedonale dotato di ascensori. Offre i servizi di biglietteria con personale e di totem per l'acquisto autonomo oltre che dei servizi igienici ed un bar; garantisce inoltre un servizio di assistenza disabili prenotabile mediante telefonica.

Per raggiungere Ivrea partendo da Aosta i tempi di percorrenza si attestano sull'ora circa, sebbene ad oggi il servizio venga effettuato con mezzi sostitutivi a causa dell'inizio di importanti lavori di ammodernamento sulla linea iniziati a gennaio 2024; la linea infatti veniva coperta con carrozze alimentate a diesel, rendendo necessaria la sua elettrificazione così come lavori di adeguamento strutturali sull'intera linea. Fino a fine 2026

il servizio verrà garantito mediante autobus sostitutivi, arrivando a novantanove corse giornaliere sull'intera tratta, con tempi di percorrenza di circa 1 ora e 15 minuti – 1 ora e 40 minuti[7].

La tratta Torino - Ivrea viene coperta con circa due treni ogni ora ed un tempo di percorrenza medio di 60 minuti: la metà di questi treni necessita di un cambio a Chivasso. I treni diretti invece, gestiti dalla regione Valle d'Aosta e facenti parte della tratta che porta ad Aosta stessa, sebbene siano dotati di moderne carrozze con posti per le bici, risultano in parte inadeguati per capienza. Nelle ore di punta, infatti, partendo dalla stazione di Porta Nuova, questi risultano già piuttosto affollati, con i posti a sedere tendenzialmente già occupati; la situazione si aggrava al passaggio di Porta Susa, dove i passeggeri si trovano fin da subito a dover viaggiare in piedi fino almeno ad Ivrea, dove una buona parte di questi è diretta. Negli altri orari e nei giorni festivi invece il servizio riesce a far fronte ai più modesti flussi di utenza [8].

Le soluzioni di viaggio proposte dal gestore e fornitore del servizio Trenitalia per raggiungere Ivrea da Genova presentano, al momento, importanti limiti legati alle coincidenze dei treni nel cambio a Torino Porta Nuova: solo raggiungendo Torino mediante *intercity*, per poi continuare il viaggio con le modalità viste in precedenza, è possibile evitare 1 ora di attesa in stazione. Sebbene pertanto la tratta Genova – Torino sia discretamente servita, con i treni regionali che giungono al capolinea tendenzialmente in orario, questi non riescono a garantire la continuità del servizio, con il passeggero costretto in ogni caso al viaggio sui treni tendenzialmente sovraffollati della linea Torino – Aosta ed un tempo totale di percorrenza compreso tra le 3 e le 4 ore.

Anche partendo dalla città di Alessandria il confronto in termini di tempo di percorrenza tra il trasporto su gomma e ferro propende per il primo: impiegando fino al cambio di Torino Porta Nuova un *intercity* è possibile contenere i tempi entro le 2 ore e 10 minuti circa, mentre si sale sino alle 2 ore e 40 minuti se si scelgono solo regionali.

La tratta Milano – Novara – Ivrea risulta essere meglio servita dal servizio su rotaia, consentendo di contenere i tempi di percorrenza entro le 2 ore se si parte da Milano centrale e 1 ora e 30 minuti circa se, invece, si vuole raggiungere Ivrea da Novara. Su questa tratta non vengono segnalati dalla stampa locale frequenti e sistematici disservizi [9].

[7] https://www.ilsole24ore.com/art/ivrea-aosta-bus-fino-2026-via-lavori-elettrificare-ferrovia-AFC3EAEC
[8] https://www.giornalelavoce.it/news/attualita/541622/tratta-ferroviaria-ivrea-torino-viaggio-da-incubo-pendolari-esasperati-chiedono-risposte-avetta-interroga.html
[9] Trenitalia.it

1.4.3 Mobilità dolce

Lo sviluppo di piste ciclabili con percorsi dedicati per gli spostamenti interni alla città risulta poco esteso: questi si limitano infatti per lo più a dei percorsi sul Lungo Dora, compiendo un percorso a circuito passante per i due versanti del fiume. L'inaugurazione nel 2013 di una passerella ciclopedonale per superare la barriera naturale della Dora Baltea, al fine di connettere efficacemente il centro di Ivrea con l'area riqualificata ex Montefibre, risulta essere l'unico importante intervento nell'ambito della "mobilità dolce" dell'ultimo decennio.

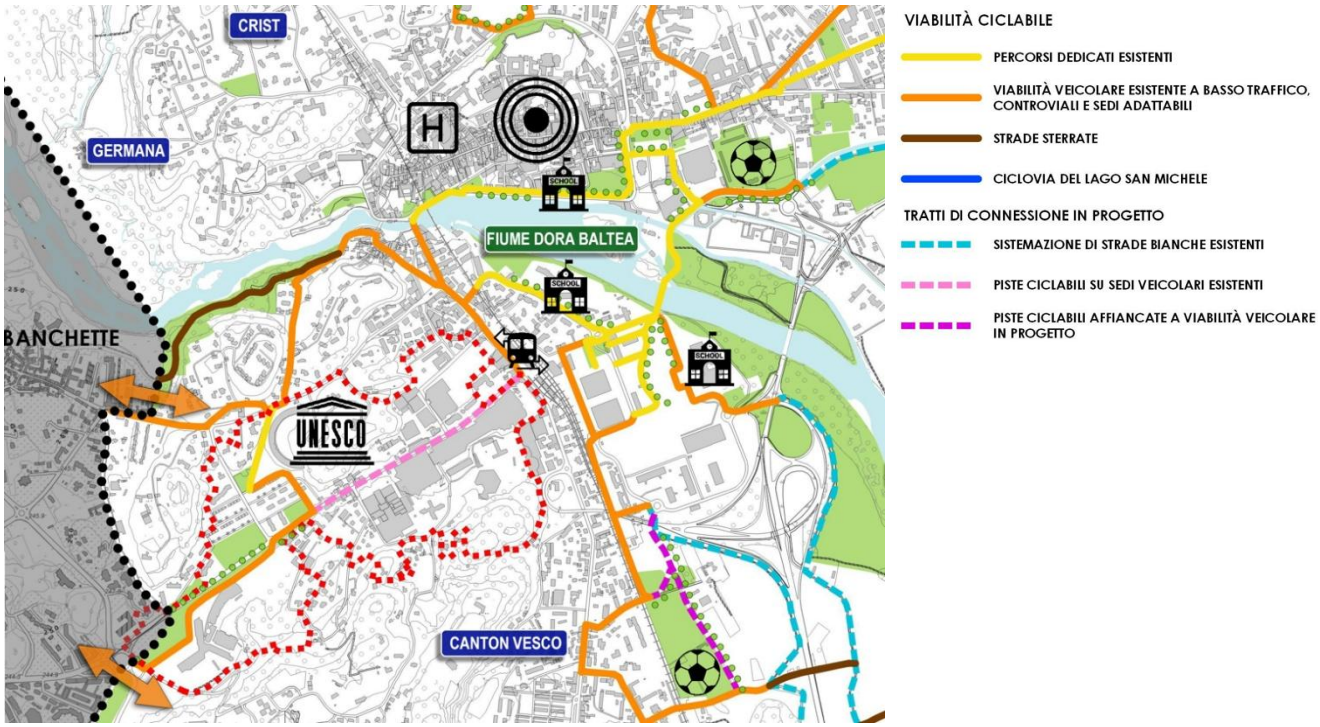


Figura 1.4-2: PRGC variante 2030, Tav. B.4.2, Schema funzionale della viabilità ciclabile

La situazione non varia se si osservano i tragitti che collegano il centro di Ivrea con i suoi quartieri più popolosi, potendo notare l'assenza di percorsi ciclabili in sede propria, i quali consentirebbero di ridurre notevolmente l'impiego dell'automobile per gli spostamenti entro il raggio di 5-10 Km dal centro eporediese. Proprio per raggiungere tale obiettivo, l'amministrazione ha messo in progetto con la Variante 2030 al PRGC diversi percorsi ciclo-pedonali, collegando potenzialmente diversi centri abitati, tra i quali si evidenziano:

- la creazione di un percorso ciclabile in sede propria su Via Jervis.
- Lo sviluppo di ciclabili "bianche" in direzione sud per il collegamento con il popoloso quartiere di San Bernardo (2000 abitanti circa).
- La sistemazione di strade bianche esistenti per il collegamento con la frazione di Torre Balfredo (6000 abitanti circa).

Gli unici collegamenti disponibili con i comuni limitrofi, come ad esempio quelli di Banchette, Romano Canavese e Cascinette d'Ivrea, non risultano essere particolarmente adatti e sicuri per essere percorsi in bicicletta, a causa dell'assenza totale di percorsi dedicati. Una condizione che rende i mezzi motorizzati gli unici di fatto adeguati agli spostamenti infra-comunali.

1.5 Caratteri sociodemografici

L'attuale popolazione di Ivrea, che oggi consiste in 22.532 unità, ha visto un incremento dalle prime rilevazioni del 1861, che contavano 8834 persone, raggiungendo un picco massimo di 29.152 abitanti nel 1971, salvo poi evidenziare una decisa contrazione negli anni '80-'90 ed assestarsi su valori stabili dal 2000 in poi [10].

Infatti, se fino agli anni '30 si era registrata una contenuta crescita della popolazione, con un suo sostanziale raddoppio nell'arco di oltre settant'anni, il vero e proprio boom demografico lo si ha in concomitanza di quello economico. Tale fenomeno, che ha interessato tutta l'Italia, a Ivrea è stato particolarmente importante grazie all'esponenziale crescita dell'Azienda Olivetti, la quale, favorendo una immigrazione controllata e la realizzazione di nuovi insediamenti abitativi, ha portato in soli tre decenni ad un altro raddoppio della popolazione. Allo stesso modo, quando la Olivetti è entrata in crisi negli anni '80 e '90, anche il dato demografico ha risentito di una repentina contrazione, perdendo circa 6000 unità nell'arco di vent'anni. Questa stretta correlazione tra le dinamiche della nota azienda eporediese e la sua popolazione dimostra quanto effettivamente fosse diventata rilevante l'azienda fondata da Camillo Olivetti per le dinamiche della città stessa [11].

Sebbene la tendenza di decrescita sembrava si fosse arrestata, con un numero di abitanti sostanzialmente costante attorno alle 24.000 unità per i primi anni del nuovo millennio, dal 2011 in avanti si è registrato un costante calo di residenti, diminuiti di 1679 unità in soli undici anni.

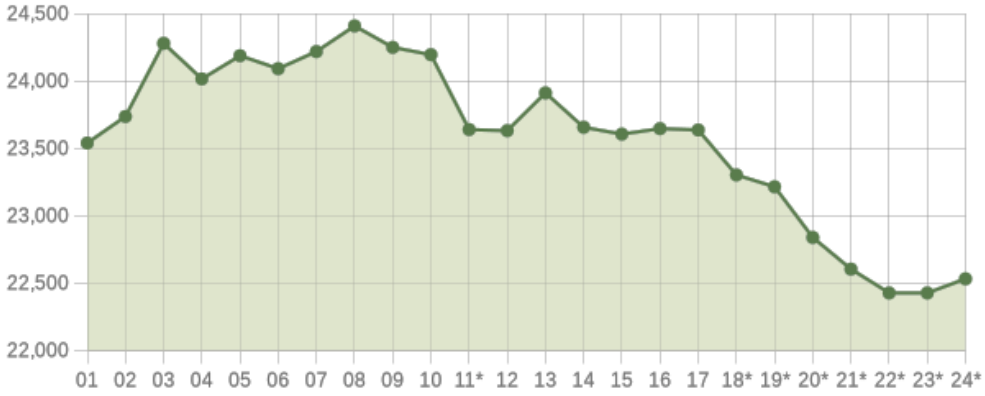


Figura 1.5-1: Andamento della popolazione residente in Ivrea (elaborazione tuttitalia.it su base Istat (2023))

A fare da argine ad un saldo naturale sempre più negativo, con il numero di decessi che oramai supera costantemente le nascite di 200 unità ogni anno, è il saldo migratorio. Sebbene questo, infatti, non sia in grado di contrastare del tutto il declino demografico eporediese, evidenzia comunque una buona attrattività della città di Ivrea rispetto ai comuni limitrofi, con un numero di immigrati costantemente superiore a quello degli emigrati. Gli stranieri presenti nella città di Ivrea rappresentano ad oggi l'8,95% della popolazione; tale dato, sebbene sia in linea con quelli della Regione Piemonte (9,47 %), risulta superiore alla media se si escludono i comuni con meno di 10.000 abitanti. La composizione evidenzia un sostanziale equilibrio tra gli immigrati comunitari e quello di provenienza extra-UE, equilibrio sostanziale che si manifesta anche nel rapporto uomini - donne. I nuovi nuclei formatisi da tale fenomeno rendono possibile pertanto, almeno in parte, un ricambio generazionale che altrimenti sarebbe difficilmente supportato dalla comunità locale, come ben evidenziato dal fatto che il 16% della popolazione straniera ha un'età compresa tra gli 0 e i 14 anni [12].

[10] Elaborazione tuttitalia.it su base Istat (2024)
[11] PRGC IVREA 2030, Relazione illustrativa
[12] Osservatorio Interistituzionale sugli stranieri in provincia di Torino 2022

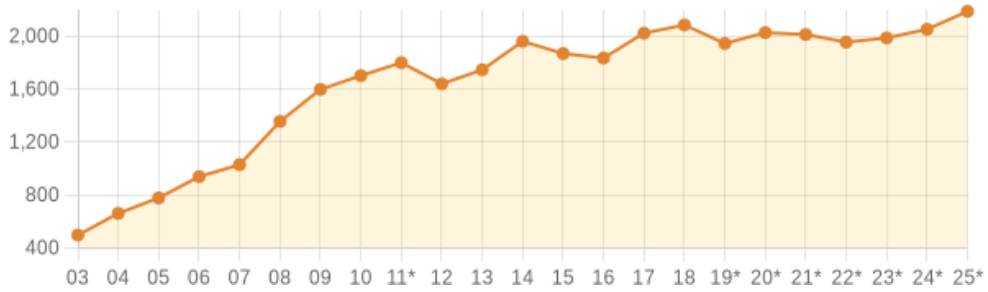


Figura 1.5-3: Andamento della popolazione con cittadinanza straniera in Ivrea (elaborazione tuttitalia.it su base Istat (2024))

Tale dato risulta molto rilevante se si considera che l'indice di vecchiaia della popolazione di Ivrea è di molto superiore sia al dato regionale che alla media nazionale[13]: esso è pari a 2.84 nell'eporediese, 2.25 in Piemonte e vale 1.93 per l'Italia[14]. Il progressivo invecchiamento dei residenti a Ivrea è testimoniato anche dal notevole incremento di over 65, passati dal 25.2% dei residenti del 2004 al 29.6% del 2023, causando un inevitabile innalzamento dell'età media, che raggiunge i 49 anni, di 4 superiore al dato nazionale [15].

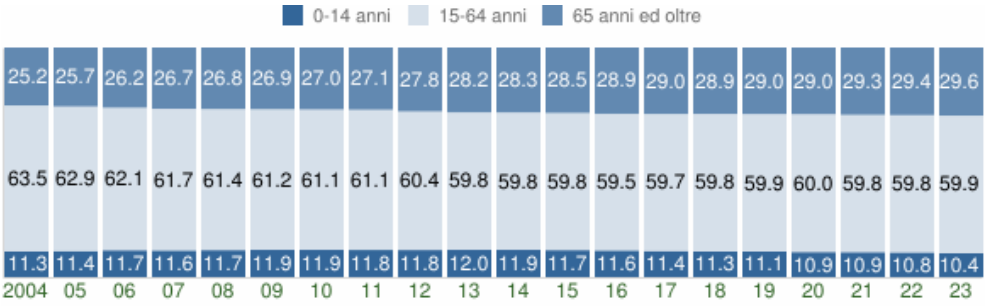


Figura 1.5-2: Struttura della popolazione per età in valori percentuali (elaborazione tuttitalia.it su base Istat (2023))

1.6 Analisi e classificazione climatica

1.6.1 Temperatura e piovosità

Per l'analisi della temperatura e della piovosità si è proceduto con un'elaborazione della serie storica di rilevazioni eseguite dalla stazione metereologica di Parella Chiusella dal 2003 al 2023, sita a 6 Km circa da Ivrea, ad una quota di 260 m s.l.m. ed assimilabile a quella del suo centro abitato[16]. Non è stato possibile, infatti, trovare dati già elaborati e recenti circa le condizioni del clima eporediese, essendo l'ultimo rapporto eseguito da Arpa Piemonte basato su un lasso temporale che va dal 1951 al 1986[17]. È stato in seguito redatto un confronto tra le due serie storiche, anche per comprendere al meglio gli effetti che il riscaldamento globale sta avendo sull'area di Ivrea.

[13] L'indice di vecchiaia viene calcolato come il rapporto tra la percentuale di popolazione over 65 e quella under 14: più il valore è alto, maggiore è l'anzianità della popolazione

[14] Elaborazione tuttitalia.it su base Istat (2023)

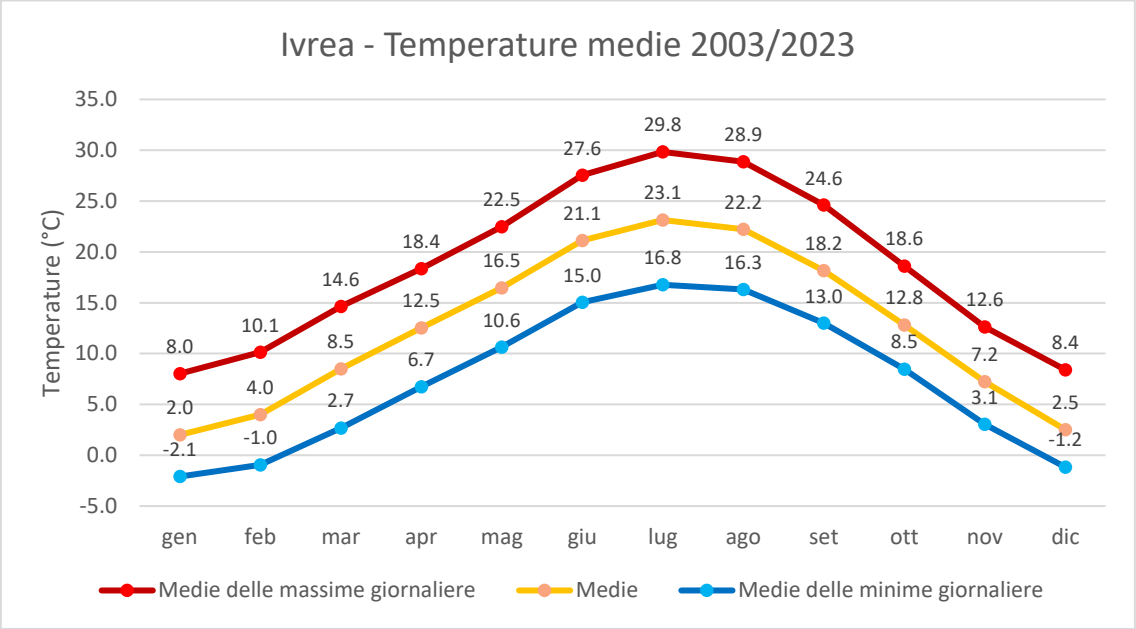
[15] Istat

[16] https://www.arpa.piemonte.it/rischi_naturali/snippets_arpa_graphs/dati_giornalieri_meteo/?statid=PIE-001179-900-2002-01-31&param=T; https://www.arpa.piemonte.it/rischi_naturali/snippets_arpa_graphs/dati_giornalieri_meteo/?statid=PIE-001179-900-2002-01-31&param=P

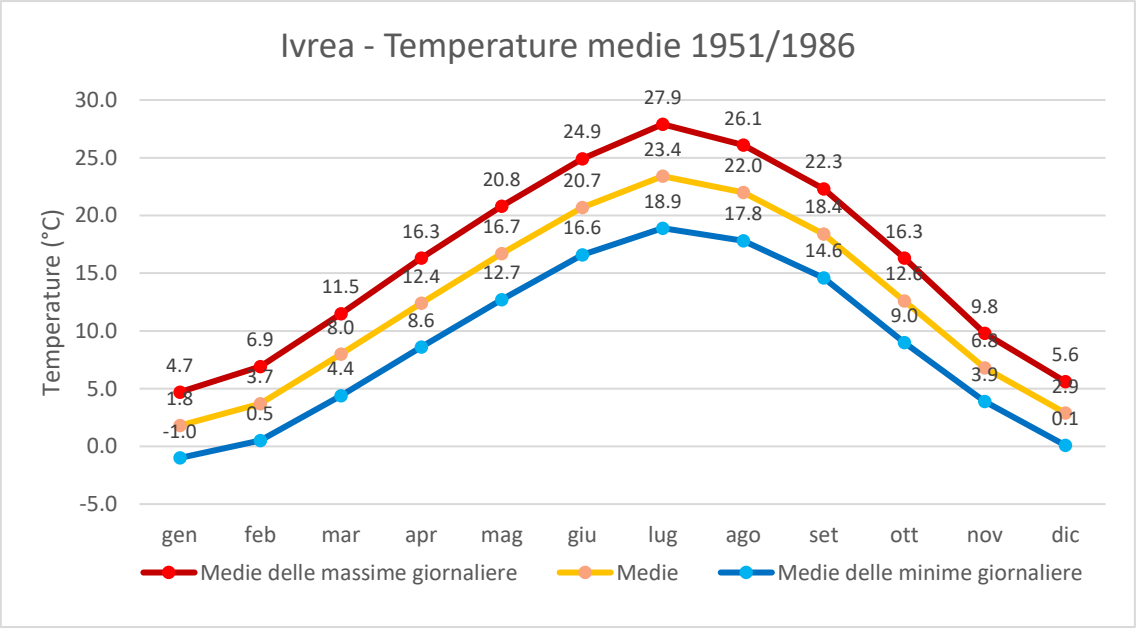
[17] BIANCONOTTI et al. 1998.

Il regime climatico più diffuso nel Piemonte e che interessa anche Ivrea è quello di tipo prealpino: ciò si evince dai massimi di piovosità che si registrano nelle stagioni primaverile (principale) ed autunnale [18].

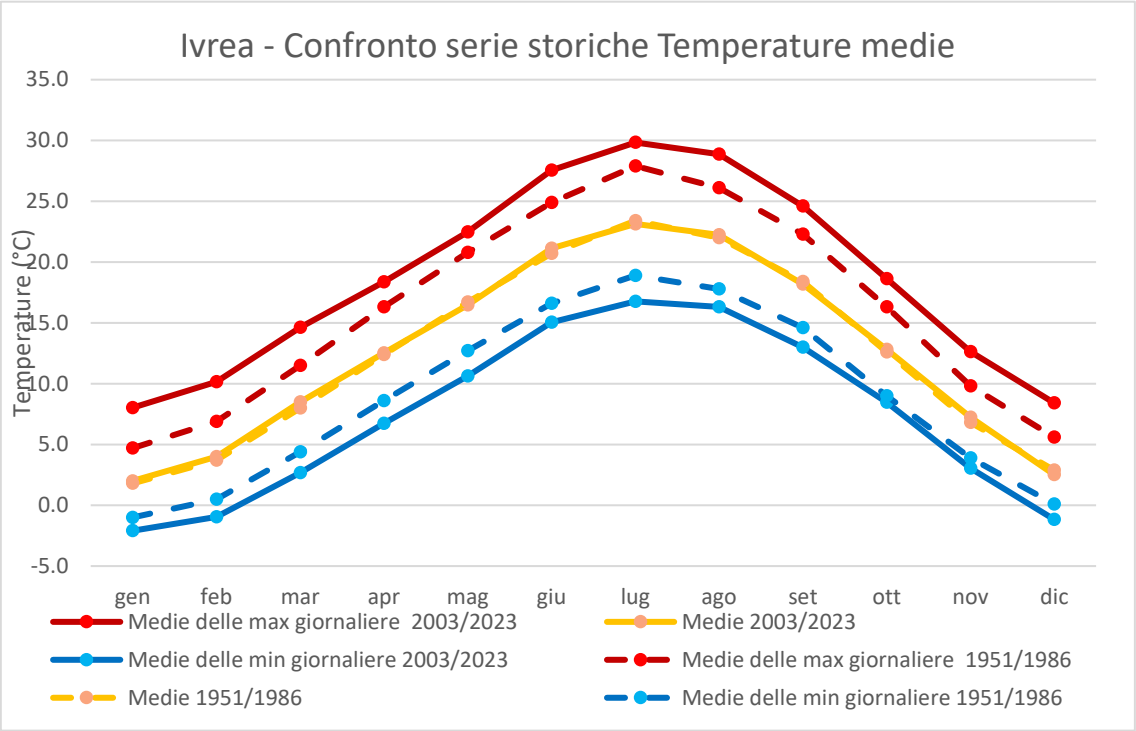
Analizzando l'andamento delle temperature si evince come il mese più freddo sia quello di gennaio, con una temperatura media di 2 °C, mentre ad essere quello più caldo è il mese di luglio, con una temperatura media di 23.1 °C. Nei medesimi mesi sono inoltre individuabili la temperatura media minima di -2.1° e quella massima di 29.8 °C.



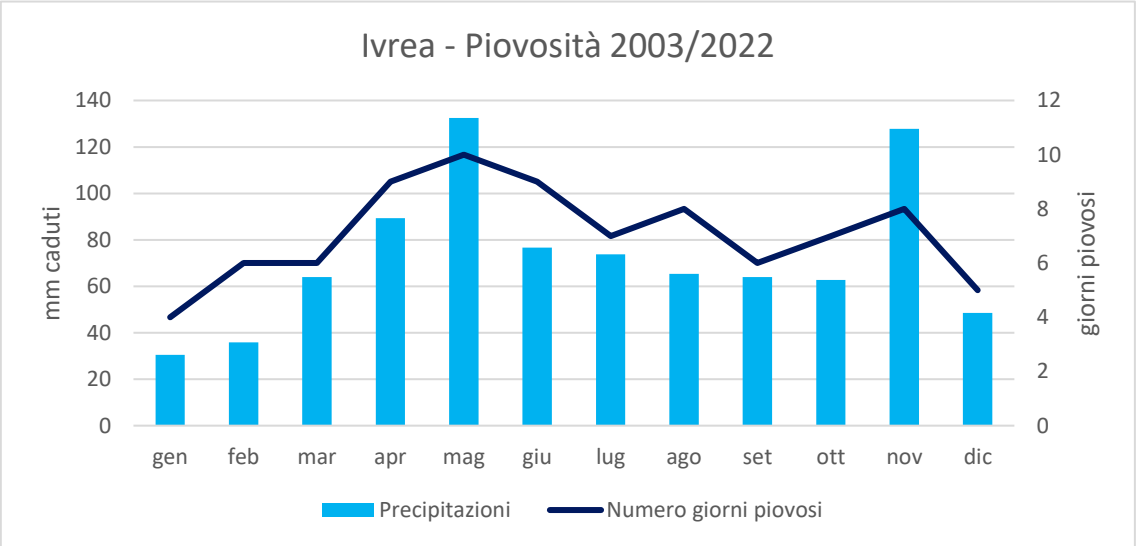
Dal confronto con la serie storica del 1951/1986 si evince come, sebbene le temperature medie varino in modo contenuto, con un aumento medio di circa 0.3 °C, le escursioni termiche giornaliere siano aumentate sensibilmente. Il confronto con le medie delle temperature minime evidenzia un calo delle stesse durante i mesi invernali di circa 1 °C, con la forbice che si allarga fino a 2°C durante la primavera ed i mesi estivi, salvo poi chiudersi e mostrare una sostanziale equivalenza nei mesi di ottobre e novembre. Analizzando invece la media delle temperature massime si evince un discostamento ancora maggiore dal periodo di riferimento 1951/1986, con un aumento generalizzato delle stesse di circa 2-3 °C, più marcato durante i mesi invernali.



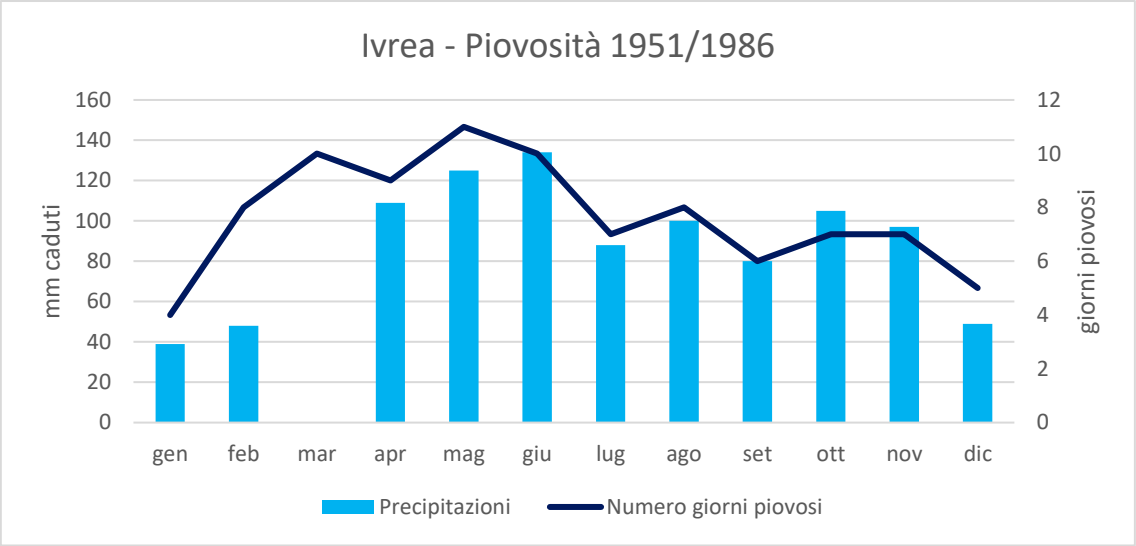
[18] Arpa Piemonte – Dipartimento Sistemi Previsionali 2010, *Clima ed indicatori climatici del Piemonte*

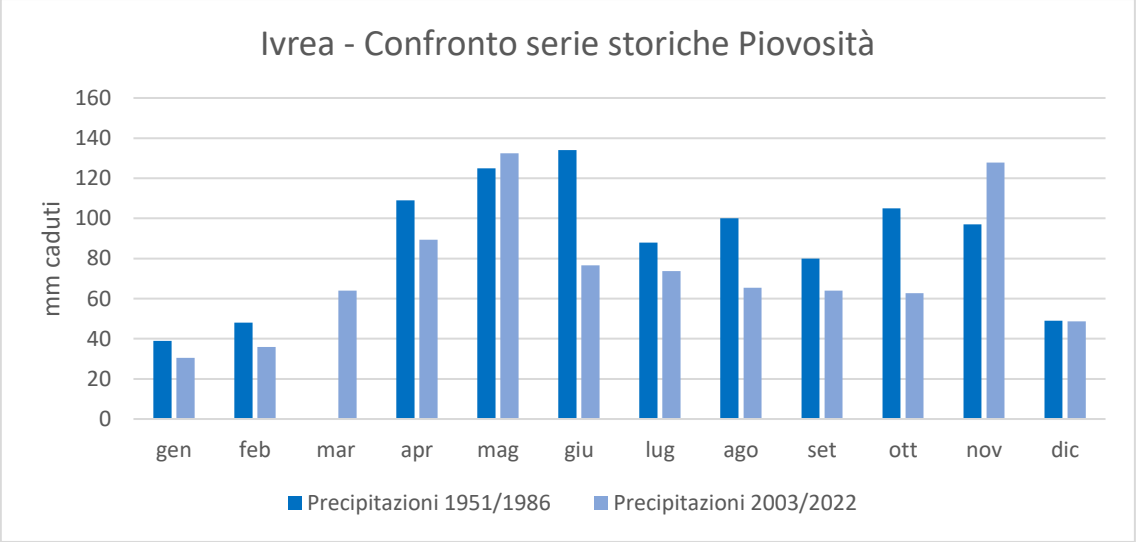


Per quanto concerne invece la piovosità della regione eporediese, cadono mediamente 871 mm di pioggia all' anno, con le precipitazioni che si concentrano particolarmente nei mesi di maggio (132.5 mm) e in quello di novembre (127.8 mm). Valori più contenuti e costanti attorno ai 60-80 mm caratterizzano i mesi estivi ed autunnali, facendo invece registrare i valori più bassi durante la stagione invernale, con precipitazioni mensili nell'ordine dei 30-40 mm. Simile è anche la distribuzione dei giorni piovosi, con l'unica differenza individuabile nel mese di novembre, dove in soli 7 giorni di pioggia si registrano gli stessi quantitativi di millimetri caduti del mese di maggio, dove invece si hanno mediamente dieci giorni piovosi.



Il confronto con la serie storica 1951/1986 effettuato sul dato relativo ai millimetri di pioggia caduti per mese evidenzia un calo diffuso in tutti i mesi, fatta eccezione per quelli di maggio e novembre, dove la serie storica più recente mostra al contrario valori più alti. Questo, oltre ad essere in linea con le tendenze negative della regione Piemonte in termini di siccità, evidenzia anche un concentrarsi delle precipitazioni in lassi temporali più brevi, aumentando il rischio di dissesti idrogeologici.





1.6.2 Ventosità

La stazione di riferimento per il rilevamento della ventosità nel comune di Ivrea è quella di Borgofranco d'Ivrea, centro cittadino situato 6 Km a nord, con i sensori installati ad una quota di 337 m s.l.m. L'orizzonte temporale di riferimento per la definizione della direzione e dell'intensità del vento va dal 1990 al 2000, protraendosi fino al 2003 per le massime raffiche ed al 2005 per le calme di vento[19].

La direzione principale del vento risulta essere quella nord verso sud, come ben evidenziato anche dal dettaglio mensile, e per questo definita "unimodale". La velocità media annua è di 2.51 m/s (9 Km/h), caratterizzando Ivrea come la città interessata dalle velocità più elevate tra i comuni situati ad una quota inferiore ai 500 m s.l.m. I picchi di velocità si registrano nei primi mesi dell'anno e durante il mese di agosto con venti di intensità «moderata» (2.7 m/s), mentre venti di intensità debole si manifestano durante i mesi di maggio ed ottobre (2.3 m/s).

[19] FRATIANNI, CAGNAZZI, CREMONINI 2007.

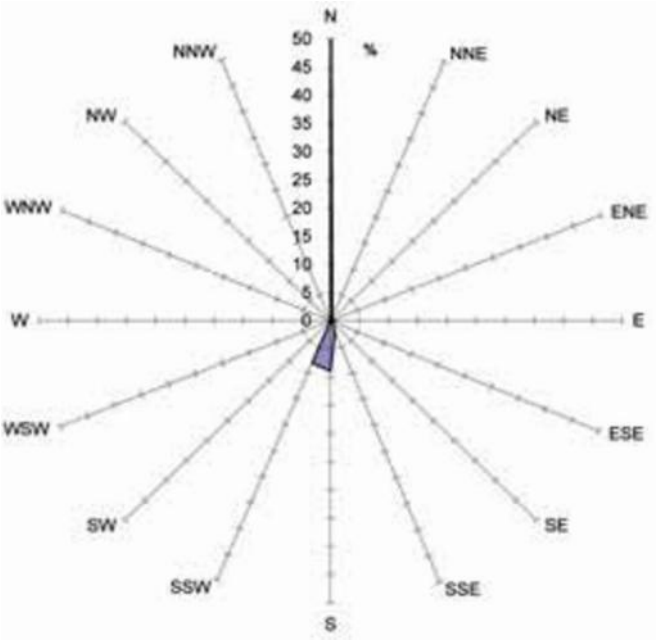


Tabella 5.1

Classe A	Quota	V (m/s)
FOSSANO	403	2.18
BORGONE	400	1.91
BERGALLI	385	1.35
CREA	385	1.45
AVIGLIANA	340	1.67
BORGOFRANCO D'IVREA	337	2.51
CUMIANA	327	1.30
ARQUATA SCRIVIA	325	1.37
MONTALDO SCARAMPI	295	2.41
BRA	285	1.18
BALDISSERO D'ALBA	265	0.63
DOMODOSSOLA	252	1.56
BUON PASTORE	240	0.8
CARMAGNOLA	232	1.11
PIVERONE	230	0.99
SARDIGLIANO	228	2.30
BAUDUCCHI	226	1.36
SPINETO SCRIVIA	187	1.79
CAMERI	173	1.59
NOVI LIGURE	162	1.13
CASTELLAR PONZANO	146	1.88
VERCELLI	132	1.61
BASALUZZO	128	1.44
CASALE MONFERRATO	118	1.75
ALESSANDRIA LOBBI	90	1.99
ISOLA S. ANTONIO	77	1.89

STAZIONI	G	F	M	A	M'	G'	L	A'	S	O	N	D	I	P	E	A
Borgofranco d'Ivrea	2.6	2.7	2.7	2.6	2.3	2.4	2.4	2.5	2.4	2.3	2.6	2.6	2.6	2.5	2.4	2.4

Figura 1.6-1: Rosa dei venti, velocità media annuale e mensile nella stazione di Borgofranco d'Ivrea (Arpa Piemonte)

Tra il 1990 e il 2003, periodo di registrazione della stazione di Borgofranco d'Ivrea, il picco di massima raffica è stato registrato il 04 settembre 1992 con una velocità di 33.7 m/s (121 Km/h).

1.6.3 Comfort

Importanti altresì sono i fenomeni di calma del vento, poiché favoriscono il concentrarsi di inquinanti in atmosfera, compromettendone la qualità e favorendo lo sviluppo di patologie aero-respiratorie. Durante il periodo di registrazione si sono verificati mediamente 3 giorni di calma di vento all'anno; tale dato risulta essere molto basso comparato a quelli registrati in altri comuni piemontesi, come i 77 giorni di calma di vento annui a Carmagnola, i 75 a Torino Buon Pastore e i 74 di Novi Ligure.

segue Tabella 7.1

Stazione	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	Totale	Media
Pino torinese	3	6	34	9	5	9	4	3	0	4	6	4	87	7
Lago Pilone	9	10	4	6	2	9	8	15	8	12	0	0	83	7
Rifugio Gastaldi	6	3	7	3	1	5	11	9	7	12	0	3	67	6
Belmonte	1	0	0	1	0	3	3	4	8	4	2	27	53	4
Prerichard	1	0	2	2	0	4	5	7	3	2	14	1	41	3
Le Selle		3	3	6	2	3	4	1	5	3	4	3	37	3
Borgofranco d'Ivrea	4	8	3	3	3	2	6	2	2	1	5	0	39	3
Monte Malanotte	2	4	5	0	0	5	5	3	4	1	2	0	31	3
Montaldo Scarampi	6	3	2	1	1	0	0	0	4	2	7	5	31	3

Figura 1.6-2: serie storica dei fenomeni di calma nella stazione di Borgofranco d'Ivrea (Arpa Piemonte)

La pubblicazione di Arpa Piemonte riporta infine una classificazione delle sensazioni termoigrometriche percepibili nella specifica località, mettendo in relazione l'umidità relativa e la sensazione termica. Lo studio colloca l'area eporediese nella "Classe 3 - Benessere caldo", il che significa che si riscontrano prevalentemente condizioni di benessere e di caldo durante tutto il periodo di osservazione.

Tabella riassuntiva – Principali stazioni analizzate e codice identificativo, provincia di appartenenza (P), quota (Q), localizzazione geografica (Latitudine N, Longitudine E), anno di inizio attività di rilevamento (AI), intensità media annua del vento (in m/s), massima raffica registrata (in m/s) e giorno in cui si è verificata (RV), numero medio annuo di giorni di calma di vento (CV), direzione prevalente (DV), regime anemologico (RA) suddiviso in unimodale (U), bimodale (B), trimodale (T).

Codice	Stazioni	P	Q	LN	LE	A I	Vv	RV	CV	DV	RA
198	VERCELLI	VC	132	45.19	8.23	1993	1.6	29.5 27/07/98	32	N	U
117	DOMODOSSOLA	VB	252	46.06	8.18	1988	1.6	32.1 20/09/97	39	N	B
118	MOTTARONE	VB	1491	45.52	8.27	1988	3.4	42.0 28/03/95	1	SW	T
010	FORMAZZA	VB	2453	46.26	8.21	1988	2.5	36.1 29/03/95	2	NE	B
007	PASSO DEL MORO	VB	2820	45.59	7.58	1988	2.8	44.3 27/02/90	1	S	U
153	TORINO BUON PASTORE	TO	240	45.04	7.40	1989	0.8	17.3 26/06/94	75		
004	RIFUGIO GASTALDI	TO	2659	45.17	7.08	1987	2.5	42.3 27/02/90	6	NW	U
003	COLLE BARANT	TO	2294	44.46	7.03	1987	2.5	40.7 22/12/91	2	E	B
109	CUMIANA	TO	327	44.57	7.23	1988	1.3	30.8 15/02/90	39	NW	U
113	BORGOFRANCO D'IVREA	TO	337	45.30	7.50	1988	2.5	33.7 04/09/92	3	N	U
104	BELMONTE	TO	687	45.22	7.38	1988	2.1	40.9 20/12/91	5	SE	U
120	PINO TORINESE	TO	608	45.02	7.45	1988	1.8	24.2 15/02/90	8	SE	B
108	MONTE FRAITEVE	TO	2701	44.58	6.51	1988	5.5	44.7 26/01/94	2	NW	T

Figura 1.6-1: Tabella riassuntiva delle principali caratteristiche del vento nella stazione di Borgofranco d'Ivrea (Arpa Piemonte)

1.7 Evoluzione storica dell'insediamento urbano

Le origini della città di Ivrea risalgono al 100 a.C. con la fondazione della colonia romana di Eporedia sulle preesistenze di un abitato celtico. La sua posizione geografica era altamente strategica per il controllo dei confini settentrionali, oltre che costituire un favorevole punto di appoggio per il valico delle Alpi. L'impianto urbano manteneva i caratteri principali degli schemi insediativi romani, con gli opportuni adattamenti alla specificità dell'orografia; il dislivello di circa 30 metri tra la sponda sinistra del fiume Dora Baltea e l'area dove oggi sorge il castello della città ha portato infatti ad uno sviluppo longitudinale dell'abitato, sull'asse est-ovest del *decumanus maximus* [20].

Oltre a porzioni del basamento del Ponte Vecchio che ancora oggi viene impiegato, le tracce del passato di colonia romana sono individuabili nei resti dell'anfiteatro, posto fuori dalla cinta muraria in direzione est, e nel sedime del principale asse di sviluppo della città storica, che è rimasto in corrispondenza dell'originale *decumanus maximus* (oggi Via Arduino e Via Palestro). Alcuni ritrovamenti al di sotto dell'attuale Cattedrale di Santa Maria Assunta fanno ipotizzare, inoltre, la presenza passata di un tempio dedicato a Giove posto sull'altura cittadina; nell'Ottocento furono invece ritrovati i resti del teatro, edificato tra il I e II sec. d.C., i quali però furono in parte rimossi per l'edificazione di nuove abitazioni [21].

[20] https://archeocarta.org/ivrea-to-citta-romana-eporedia/
[21] https://cultura.gov.it/luogo/anfiteatro-romano-di-ivrea

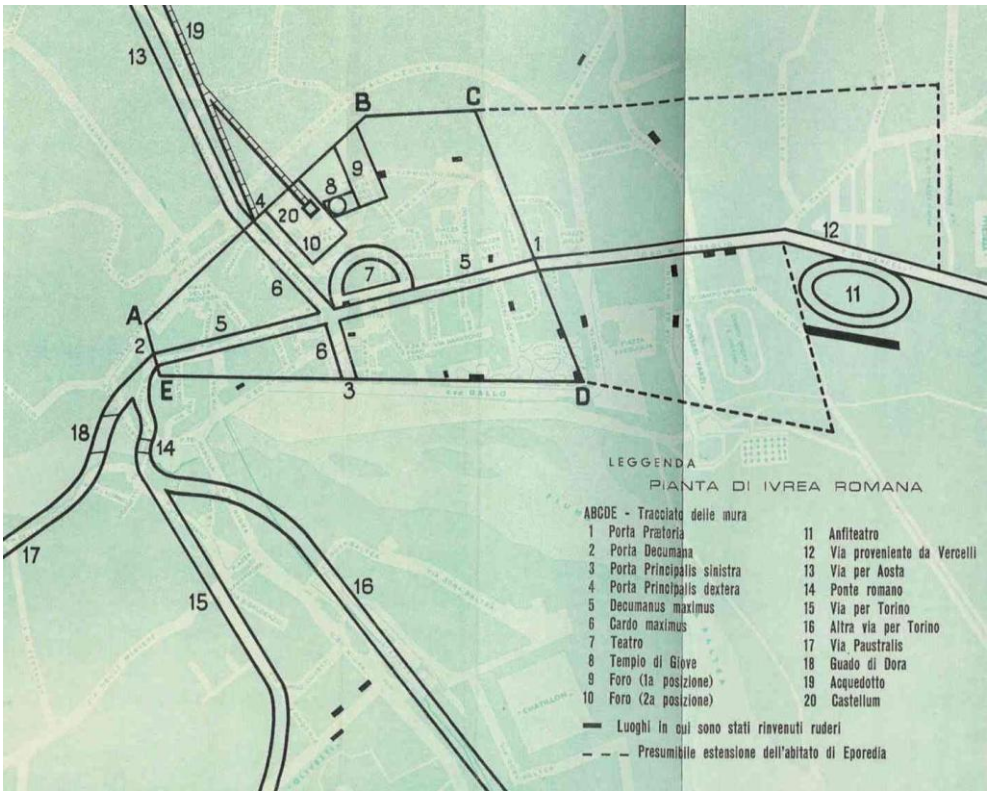


Figura 1.7-2: Pianta della Ivrea "romana" (https://archeocarta.org/ivrea-to-citta-romana-eporedia/)

Ben poche sono le tracce immediatamente identificabili delle epoche posteriori all'antichità e antecedenti al XVIII secolo; tra queste quella certamente di maggior rilievo è il castello cittadino, edificato sulla parte alta della città a fine del XIV secolo dai Savoia per scopi difensivi, ed impiegato nel tempo per le più disparate funzioni, da sede della corte nel XVI a luogo di detenzione per prigionieri fino al 1970[22]. Altra emergenza architettonica di rilievo è la Torre di Santo Stefano, un campanile romanico costruito assieme al complesso abbaziale di cui faceva parte, nell'XI secolo, e di cui oggi è l'unica testimonianza [23].

Il nucleo storico dell'insediamento è anch'esso stato coinvolto da numerose trasformazioni che si sono susseguite nel tempo: queste hanno portato lo stratificarsi di nuovi edifici sugli impianti originari o di più semplici adeguamenti e rimaneggiamenti di quelli esistenti entro le mura cittadine, consentendo in una certa misura il mantenimento dell'assetto originale. Discorso a parte si deve fare invece per le espansioni e trasformazioni urbane al di fuori della cinta difensiva, con un'attività edilizia che dal 1600 al 1900 circa ha portato ad un sostanziale raddoppio della città, articolando e concentrando il suo sviluppo in direzione del fiume e verso est [24].

[22] https://archeocarta.org/ivrea-to-castello/
[23] https://archeocarta.org/ivrea-to-torre-campanaria-santo-stefano-campanile-santulderico/
[24] PRGC IVREA 2030, Relazione illustrativa

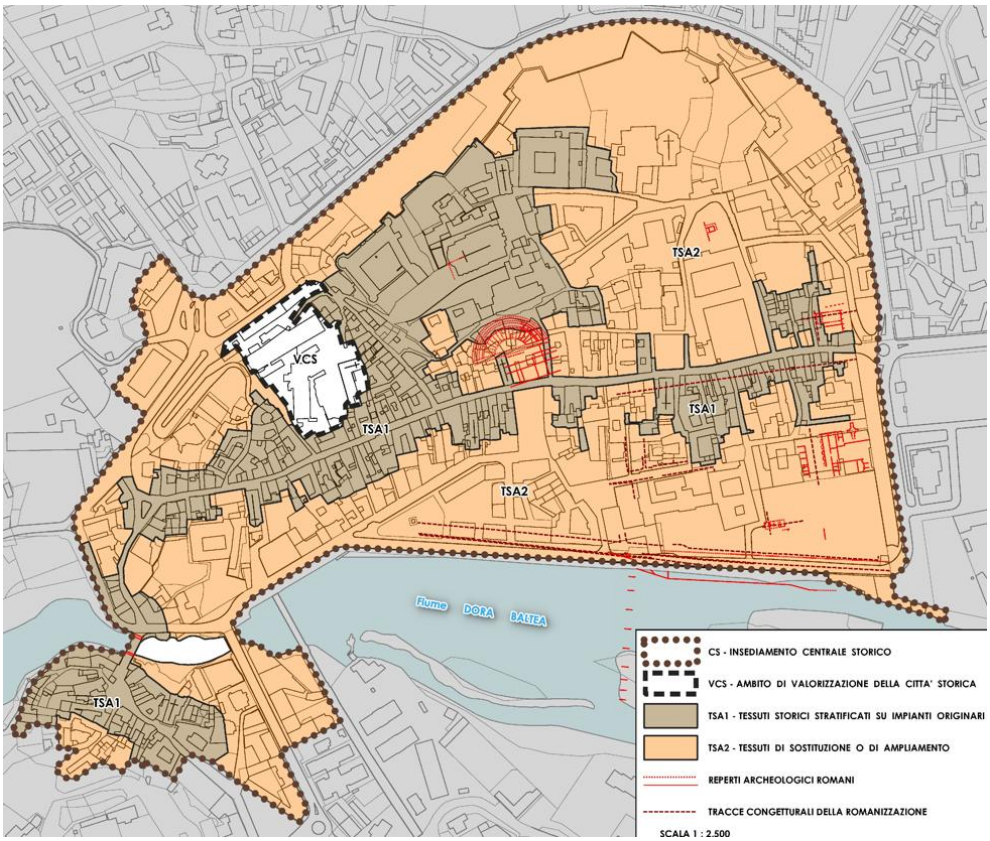


Figura 1.7-3: Assetto della città storica (PRGC IVREA 2030, tavola E.8)

Durante il corso del '900, e specialmente a partire dagli anni '40, la città di Ivrea fu interessata da un'importante crescita urbana a sud del fiume Dora, lungo l'asse viario dell'odierna Via Jervis. Tale espansione fu veicolata dal rapido affermarsi sul mercato nazionale e internazionale dell'azienda locale di macchine per scrivere Olivetti, la quale non si limitò alla costruzione di edifici industriali, bensì si impegnò nella pianificazione territoriale e nella costruzione di quartieri residenziali, dotandoli al contempo di strutture per l'istruzione e per le attività sociali e culturali. In questo modo Via Jervis vide sorgere numerose architetture, differenti per tipologia e destinazione d'uso, legate tra di loro dal visionario progetto sociale del loro principale promotore, Adriano Olivetti [25].

In seguito alla sua espansione economica e alla costruzione di nuovi edifici per la produzione, come quello di San Bernardo (1955), la Olivetti promosse la costruzione di nuovi abitati lungo l'asse di Via Torino, formando i quartieri La Sacca, Canton Vesco (anni '50) e Bellavista (1960-1975), anche grazie ai contributi statali di INA-Casa e Gescal. La strada indicata dai progettisti della Olivetti diede naturalmente impulso all'attività edificatoria lungo Via Torino, la quale si saturò progressivamente sino agli anni 2000.

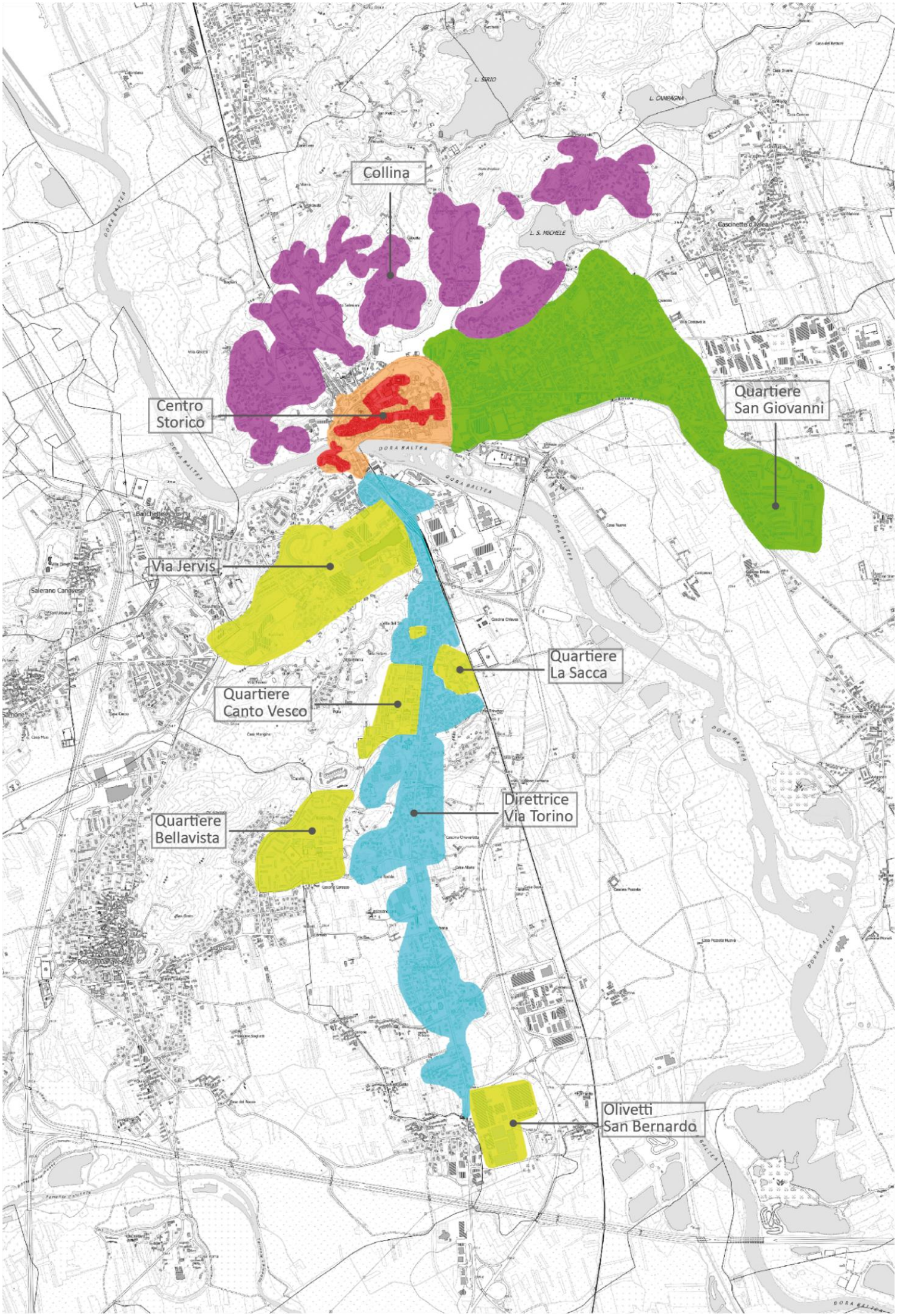
L'ambito collinare situato a nord del centro storico ha visto negli anni del dopoguerra, così come accaduto in tante altre città italiane, l'insediarsi di numerose abitazioni e ville con ampi spazi verdi privati. Una crescita avvenuta senza che il Piano Regolatore fosse in grado di contenere né governare tale fenomeno, fino almeno all'introduzione della Variante '85, volta alla conservazione dell'ambito collinare e alla diffusione delle dotazioni di legge a livello di quartiere, urbano e territoriale [26].

Altro ambito d'espansione residenziale di rilievo è situato nel quadrante nord-orientale del comune di Ivrea, il quale ha iniziato il suo sviluppo negli anni '50 partendo dal prolungamento ideale del *decumanus maximus*

[25] https://www.storiaolivetti.it/articolo/12-le-case-per-i-dipendenti-e-la-politica-edilizia/
[26] PRGC IVRE 2030, Relazione illustrativa

e andando progressivamente a ramificarsi in direzione dei Comuni di Burolo e Bollengo, con una attività di consumo del suolo importante almeno fino al 2000, anno di introduzione del «nuovo» PRGC. All'interno di questo comparto, caratterizzato da una buona qualità architettonica dei singoli edifici ma da un disegno urbano che tradisce una scarsa pianificazione, si inserisce come esperienza positiva il quartiere di San Giovanni. Questo, ispiratosi alle esperienze pregresse condotte nei quartieri Olivetti, mette a disposizione dei suoi abitanti una discreta varietà di servizi, come scuole, spazi commerciali, verde privato e pubblico, rendendolo di fatto semiautonomo.

A pagina seguente: Aree dell'espansione dell'abitato eporediese (elaborazione personale su base CTR e PRGC IVREA 2030)


Collina
Centro Storico
Quartiere San Giovanni
Via Jervis
Quartiere La Sacca
Quartiere Canto Vesco
Direttrice Via Torino
Quartiere Bellavista
Olivetti San Bernardo

1.8 Economia

1.8.1 Tessuto imprenditoriale

L'area economica nella quale si innesta l'Eporediese è quella storico – geografica del Canavese, la quale include al suo interno cinque delle undici Zone Omogenee della CmTO (Eporediese, Canavese Occidentale, Ciriacese, Chivassese, AMT Nord*). Al 2025 risultano registrate nel Canavese 42.350 imprese (il 19% della Città metropolitana)[27], il 90% delle quali sono microimprese con meno di nove addetti[28], rispecchiando le caratteristiche del settore imprenditoriale della CmTO se si considera che anche nel capoluogo di Regione queste costituiscono il 95.6% del totale delle imprese. In generale, la tendenza di crescita del numero di imprese risulta positivo rispetto al 2023 per la Città di Torino e le sue aree metropolitane attigue (AMT Nord, Sud, Ovest), le quali hanno nel tempo rafforzato la loro posizione all'interno della Città metropolitana, a fronte di una sostanziale stasi che caratterizza invece le aree pedemontane e del Canavese[29].

Comparando la distribuzione per macrosettori delle imprese eporediesi con i dati del Canavese e della Città di Torino, si nota come il settore dell'industria manifatturiera di Ivrea e comuni limitrofi sia al di sotto del 10% in analogia al 7.1% espresso dalla Città di Torino, e come a sua volta abbia invece, rispetto al canavese, un maggior numero di imprese orientate ai servizi. Questo orientamento dell'economia volta ai servizi sarà ancora più evidente quando analizzeremo più avanti il numero di addetti nella sola Ivrea[30]. Il settore delle costruzioni ha inoltre nel canavese un peso specifico decisamente maggiore rispetto quello della zona 1 – Torino con il 18.7% di imprese nel settore contro il 13.5%, oltre ovviamente a quello dell'agricoltura visto l'alto tasso di urbanizzazione del capoluogo di regione. Se il settore del commercio appare invece meno sviluppato nell'Eporediese rispetto agli altri due ambiti, valori più simili si possono riscontrare nel settore del turismo, il quale pesa solo il 7% circa e sul quale verrà fatto un focus in seguito.

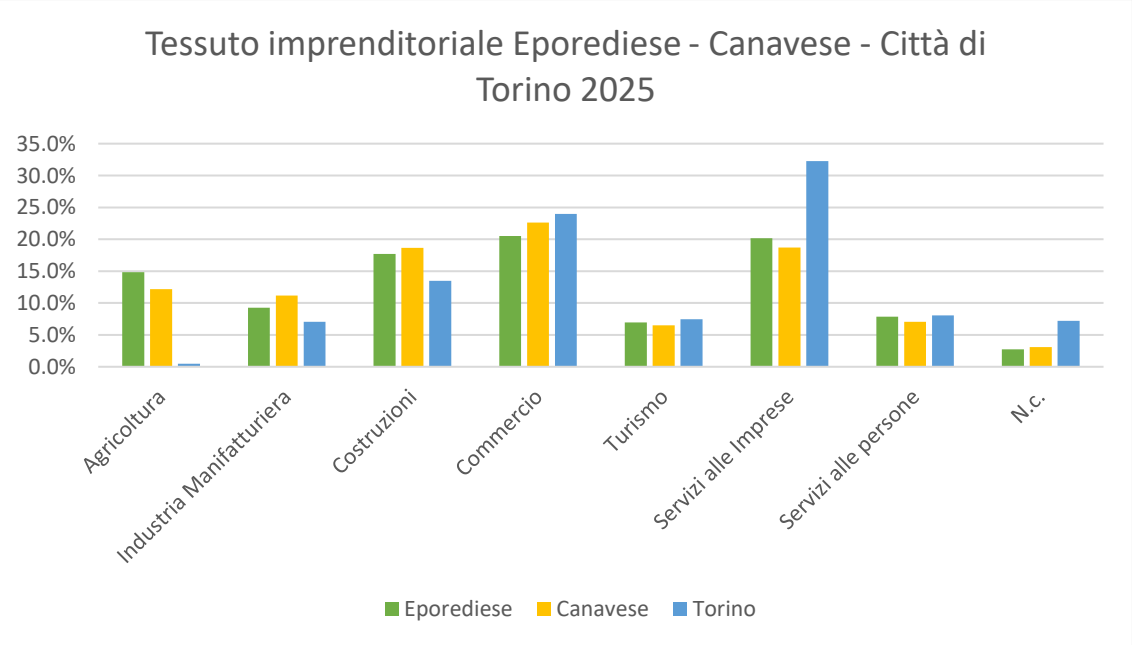


Grafico 1.8-1: Dati da Camera di Commercio di Torino - 2025

[27] Dato da Camera di Commercio Industria Artigianato e Agricoltura di Torino (dati 2025): https://www.to.camcom.it/dashboard-natimortalita-imprese-torino

[28] Dato da StaTòmetro – Imprese e Turismo (dati 2025): https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiYzgzZjMyZTgtMjhhZC00ZDJhLWE0YWMtODIwZTY4ZDBlODQ2IiwidCI6IjA4M2IzZjU2LWVhYzQtNDM0Mi1hNDk5LWI5MDBkNTMxMDkyMyIsImMiOjh9

[29] Natimortalità delle imprese torinesi nel 2025 – Camera di commercio di Torino

[30] QUADERNO DEL PREMIO CAMILLO E ANDRIANO OLIVETTI 2018, 28

Per comprendere però al meglio la reale struttura dell'imprenditoria ad Ivrea è importante studiare non solo il numero di imprese ma anche il numero di addetti per macrosettore. Nel Figura 2.8-2 sono dunque stati riportati entrambi i set di dati, con una comparazione temporale tra le annate 2022 e 2012. Diventa immediatamente evidente che, a fronte di una sostanziale stasi dei settori dell'agricoltura, costruzioni, turismo, ed una contrazione dell'industria manifatturiera (-12% imprese, -20% addetti) e del commercio (-13% imprese, -17.7% addetti), in questa decade vi è un vero e proprio *exploit* del settore servizi, che siano questi rivolti alle persone (+7.9% imprese, +31.1% addetti) o, a maggior ragione, alle imprese (+0% imprese, +126.4% addetti).

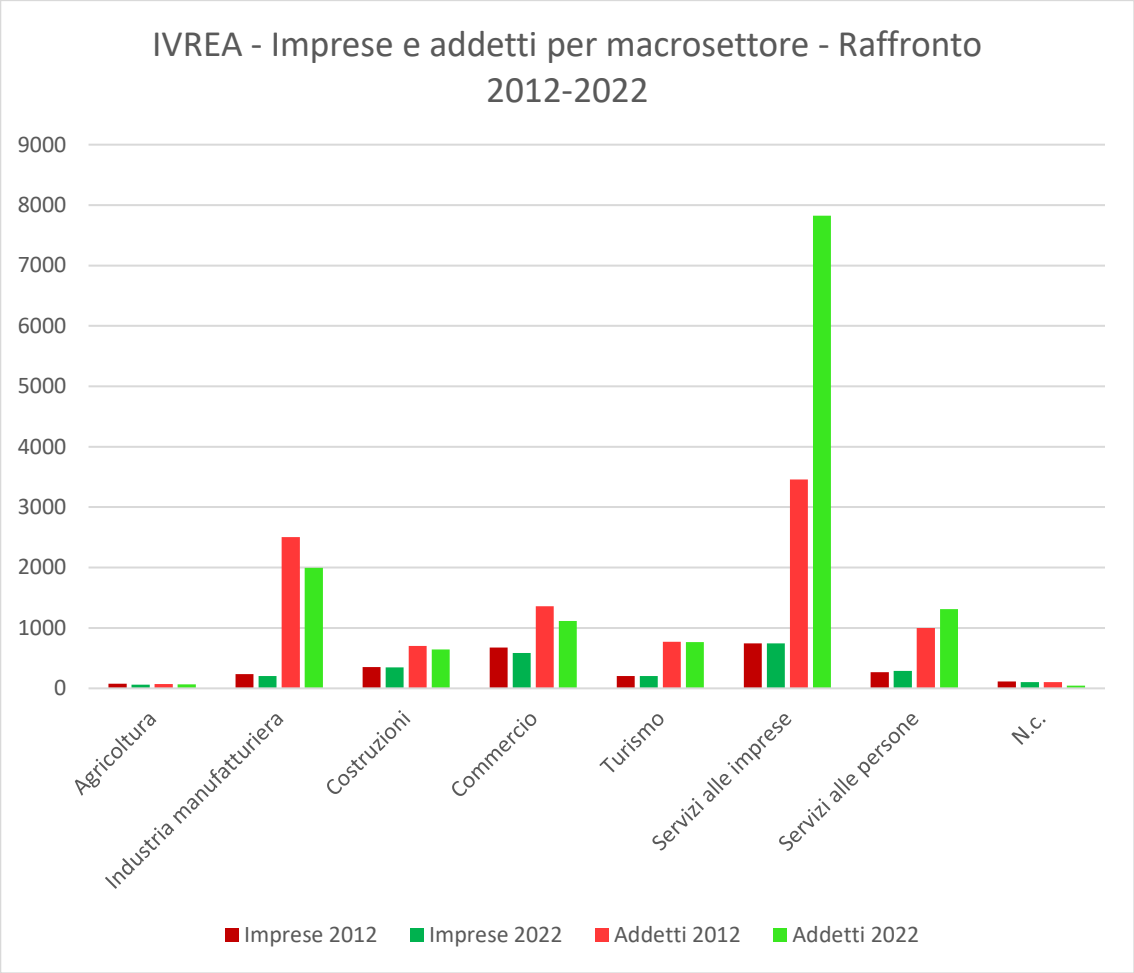


Figura 1.8-1: Dati da Camera di Commercio di Torino - 2022

Una crescita dirompente del comparto ICT che affonda le sue radici nelle vicende dell'azienda Olivetti: questa ha infatti cambiato nel corso degli anni i suoi *core business*, passando dalla meccanica all'elettronica negli anni '60-'70, e dai computer alle telecomunicazioni a cavallo degli anni '80-'90. Sebbene la sua sostanziale chiusura nel 2001 abbia rappresentato un forte trauma per l'apparato economico di tutto il canavese, determinando anche la progressiva perdita di centralità di Ivrea nei suoi confronti, questa ha lasciato sul territorio un importante *know-how* nel settore manifatturiero Hi-Medium/Hi-Tech e ICT/Software. A testimoniarlo, ben più delle eredità esplicite della Olivetti come Omnitel e Infostrada (oggi Vodafone Italia e Wind) lo è la crescita esponenziale delle piccole-medio imprese dove sono confluiti molti degli ex dipendenti e dirigenti Olivetti, un fenomeno che ha consentito di salvaguardare almeno in parte, l'apparato economico canavese, evitando un suo, quantomeno probabile, tracollo.

A rafforzare l'idea che il territorio Eporediese abbia effettivamente i tratti della *advanced Industry*[31] sono anche e soprattutto le competenze dei lavoratori rintracciabili nella SLL[32] di Ivrea: secondo il censimento ISTAT 2021[33], dei 29.046 addetti alle attività produttive, ben 15.766 sono coinvolti in imprese con tali caratteristiche.

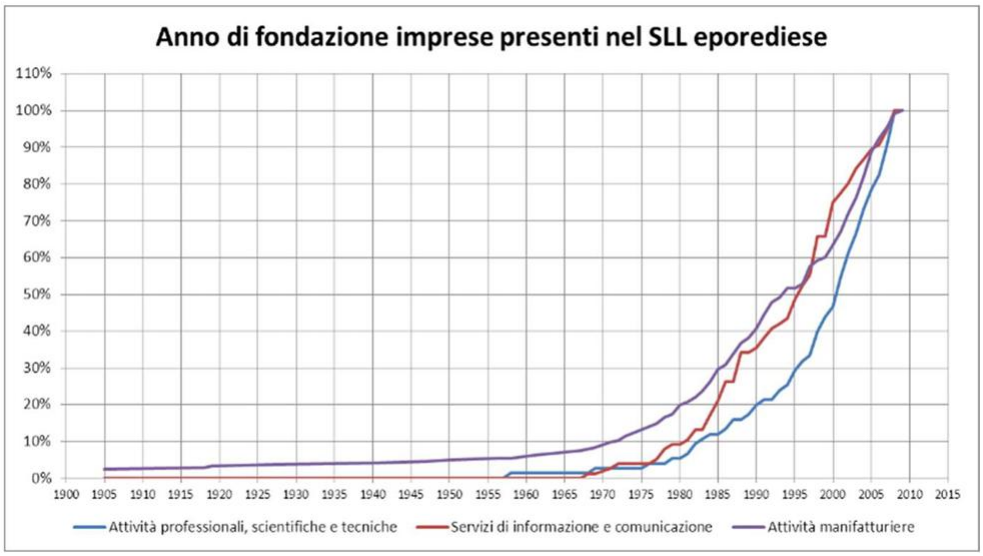


Figura 1.8-2: Rapporto 2024 Del Premio Camillo E Adriano Olivetti Ed. 2024

Tuttavia, l'amministrazione locale, le principali fondazioni e associazioni presenti sul territorio ed alcuni gruppi di imprenditori, stanno attivamente lavorando per rafforzare questo settore mediante alcune importanti iniziative di cui si riportano degli esempi:

- Dal 2018, l'Associazione Spille d'Oro Olivetti promuove la premiazione delle imprese innovative presenti sul territorio del Canavese e che dimostrano di avere alcune delle qualità olivettiane, costruendo, edizione dopo edizione, una vera e propria rete di imprese (RARI) che sia in grado di fare da aggregatore d'impresa.
- Nasce sempre nel 2018 una coalizione di venti attori che, riunitesi nella società ICONA, promuovono la riqualificazione delle ex Officine ICO, attraverso non solo l'insediamento di nuove attività al suo interno (ad oggi sono dieci le aziende stabilitesi negli spazi)[34], ma anche volgendo lo sguardo all'innovazione e sperimentazione culturale, tecnologica e sociale.
- Nel 1998 viene costituito il *Bioindustry Park*, un parco scientifico nato per favorire la creazione e lo sviluppo di aziende e laboratori di ricerca nei campi delle Scienze della Vita e della Farmaceutica; ad oggi può contare sulla presenza di quaranta organizzazioni e ottocento lavoratori altamente specializzati[35].

[31] Insieme di tipologie d'impresa fondate sul forte ruolo delle attività di R&S e sulla presenza di lavoratori formati in ambito STEM (Science, Technology, Economy, Mathematic)

[32] Sistemi Locali di Lavoro: secondo l'ISTAT rappresentano dei luoghi (precisamente identificati e simultaneamente delimitati su tutto il territorio nazionale) dove la popolazione risiede e lavora e dove quindi indirettamente tende a esercitare la maggior parte delle proprie relazioni sociali ed economiche.

[33] Rapporto 2024 Del Premio Camillo E Adriano Olivetti Ed. 2024

[34] TGR: https://www.rainews.it/tgr/piemonte/video/2023/10/la-nuova-vita-delle-officine-ico-c4c305b8-58c4-42fd-aa20-79b01a514bdc.html

[35] https://www.bioindustrypark.eu/

- La recente sottoscrizione, avvenuta nel 2023, di un protocollo di collaborazione tra il Politecnico di Torino ed il Comune di Ivrea, per la formazione di alto livello e la sperimentazione all'interno della Pubblica Amministrazione, attraverso seminari, corsi e stage specifici[36].

1.8.2 Settore Turistico

Gli indicatori per l'ambito del turismo evidenziano una medio-bassa caratterizzazione di Ivrea in tale settore, con *performance* tendenzialmente al di sotto della media regionale e sempre inferiori rispetto ai valori nazionali. Di seguito viene condotta l'analisi di tali indicatori sull'anno 2023 prendendo in considerazione i territori di Ivrea, la Città metropolitana di Torino, il Piemonte e l'Italia[37].

Il primo dato interessante da analizzare è quello dell'indice di turisticità[38]: nel comune di Ivrea questo si attesta nel 2025 ad 2.32, al di sotto dei valori della CmTO e della Regione Piemonte (rispettivamente 3.22 e 3.82), con un divario che incrementa ulteriormente se come riferimento viene preso il territorio nazionale (7.65). Tuttavia, è importante notare la consistente crescita di tale indice, il quale solo nel 2016 si attestava a 1.48 (+56%), a fronte di un incremento più contenuto sul fronte nazionale (+15%).

Una situazione analoga si ripresenta studiando il "tempo medio di permanenza"[39], dove gli 1.83 giorni medi di soggiorno in Ivrea evidenziano una tipologia di turismo "di passaggio" rispetto a quanto invece fanno registrare con dati simili tra loro la CmTO ed il Piemonte (2.60 e 2.68), ancora inferiori ai 3.37 giorni di permanenza media sul territorio nazionale.

Performance migliori si registrano, invece, per quanto riguarda la densità ricettiva[40], dove la città di Ivrea raggiunge sostanzialmente il dato Regionale (9.97 e 10.76), dimostrando, seppur in misura inferiore rispetto alla CmTO (14.73) e all'Italia (17.21), una discreta capacità ricettiva. Tale risultato si deve soprattutto alla recente crescita del numero di strutture ricettive situate nel comune eporediese: dal 2021 ad oggi gli esercizi ricettivi sono passati da 24 a 37, mentre le locazioni turistiche hanno visto una vera e propria esplosione con un aumento di 77 unità su un totale di 104 attive, dimostrando una forte dinamicità del settore del turismo anche nell'immediato periodo post-pandemico.

L'incremento di valore del settore turistico eporediese è certamente in parte dovuto al percorso che la città ha intrapreso nel 2008, anno in cui è stato avviato l'*iter* per la candidatura a sito UNESCO dell'eredità architettonica e culturale olivettiana e che ha poi portato effettivamente alla sua nomina nel 2018. Infatti, i dati sugli arrivi hanno mostrato una moderata crescita fino al 2018, supportata esclusivamente da un turismo interno in aumento, anno nel quale il turismo estero quotava circa il 28%. Tralasciando il periodo pandemico, il quale ha inevitabilmente portato ad una contrazione del numero di arrivi, si registrano immediatamente i risultati portati dal riconoscimento UNESCO, con un aumento al 2023 del +44% ed una quota di turisti provenienti dall'estero che raggiunge ben il 46% del totale, portando Ivrea al di sopra del più modesto dato della CmTO (37%).

[36] https://torinotechmap.it/notizie/ivrea-e-politecnico-torino-insieme-per-innovazione-tecnologica-e-sviluppo-territorio/

[37] Fonte: Istat; Osservatorio turistico della Regione Piemonte

[38] È il rapporto tra le presenze turistiche ed il numero di residenti nel comune di arrivo

[39] Rapporto tra presenze ed arrivi

[40] Rapporto tra posti letto e Km^2 del comune di riferimento (strutture ricettive, extra-alberghiere e locazioni turistiche)

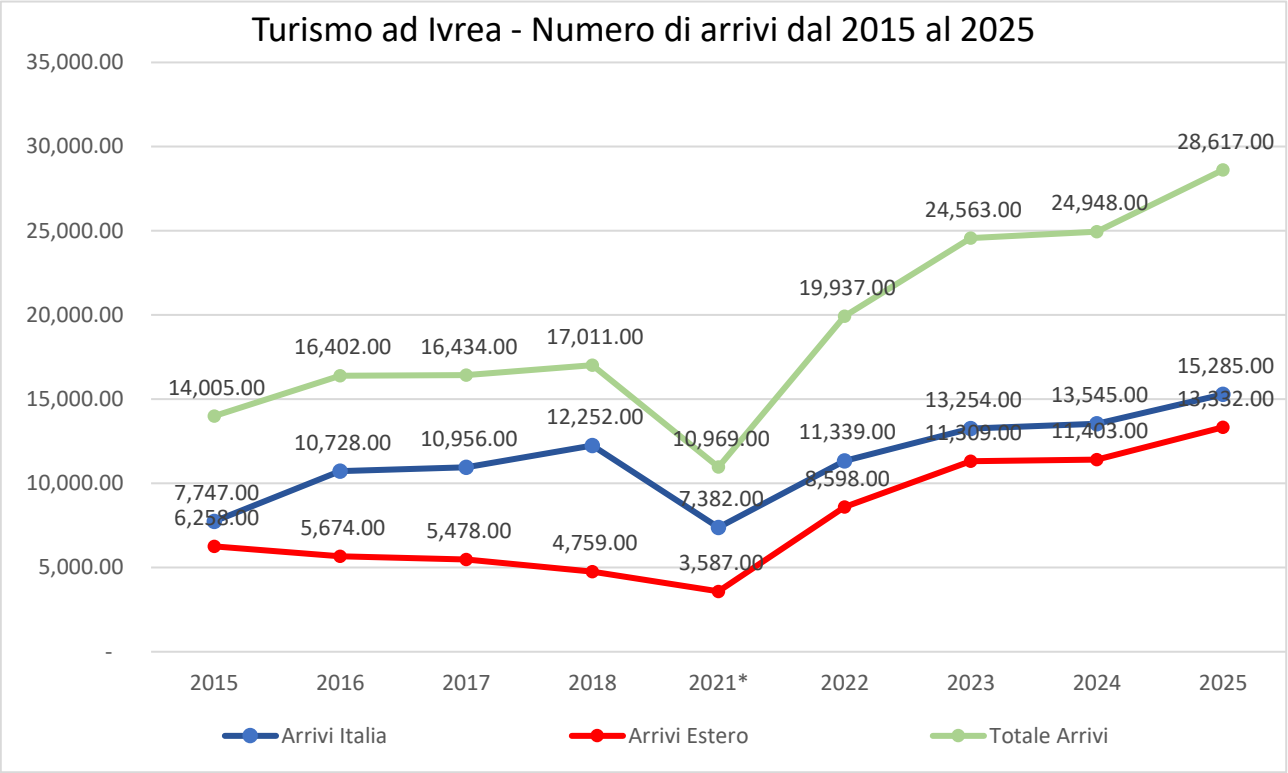


Figura 1.8-3: (Elaborazione personale sui dati forniti dall'Osservatorio turistico della Regione Piemonte)

Risulta altresì interessante analizzare le performance in termini di visitatori annui dei due Musei principali di Ivrea, il Museo Civico Garda[41] ed il Museo Tecnologic@mente [42]. Il primo, il Museo Garda, è caratterizzato da una certa costanza degli ingressi, i quali si attestano mediamente attorno alle 5000 unità annue, fatta eccezione per le annate condizionate da eventi particolari, in negativo come il biennio pandemico, quando ha dimostrato una rapida ripresa nel 2021, o in positivo come nel 2022, anno nel quale Ivrea è stata Capitale Italiana del libro e dove sono stati registrati ben 8301 ingressi. Si può inoltre dedurre che il riconoscimento della città olivettiana a patrimonio UNESCO del 2018 non abbia incrementato particolarmente i flussi del Museo Civico: i dati del 2019 e 2023, unici anni non influenzati dagli eventi precedentemente descritti, evidenziano una tendenza costante di poco sopra i 5000 ingressi e comunque in linea con i risultati del 2017.

Al contrario, il Laboratorio Museo Tecnologic@mente è caratterizzato fin dal 2017 da un *trend* di costante crescita, il quale lo ha portato dai 3654 ingressi del 2017 alle oltre 11.500 presenze nel 2024 [43], superando nettamente già nel 2023 il Museo Civico Garda e mostrando quindi i benefici del riconoscimento UNESCO. Solo nel biennio della pandemia questa crescita ha visto una brusca interruzione, a causa dell'importante componente di laboratori scolastici venuta meno.

[41] Osservatorio culturale del Piemonte
[42] Relazioni di missione al bilancio - Fondazione Natale Capellaro ETS
[43] Dato parziale riferito a novembre 2024

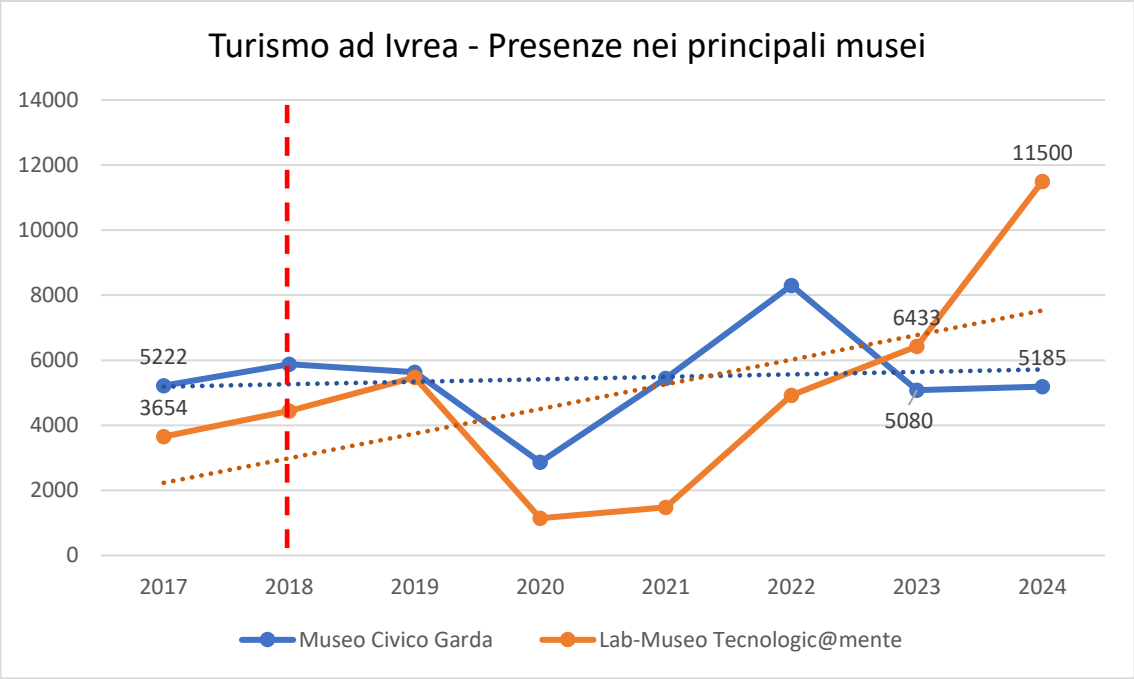


Figura 1.8-1: (Elaborazione personale sui dati dell'Osservatorio culturale del Piemonte e della Fondazione Natale Capellaro ETS)

1.9 Istruzione

Così come già visto per l'ambito economico, la città di Ivrea dimostra una buona solidità e dinamicità anche nel sistema d'istruzione. L'Indice di adulti che hanno conseguito un diploma o una laurea è pari al 66.2%, a fronte di una media italiana del 55.1%[44]. Questo vantaggio si riflette anche osservando il solo indice di possesso del diploma di scuola secondaria di secondo grado, dove supera mediamente la regione Piemonte di circa 8 punti percentuali.

Tipo dato	indice di possesso del diploma di scuola secondaria di 2°grado	indice di possesso del diploma di scuola secondaria di 2°grado	indice di possesso del diploma di scuola secondaria di 2°grado
Età	19 anni e più	19-34 anni	35-44 anni
Piemonte	37,60	62,95	50,93
Italia	41,04	66,26	52,52
Ivrea	46,15	69,29	61,32

Fonte dati: ISTAT 2011

Figura 1.9-2: Indice di possesso del diploma di scuola secondaria di secondo grado F(elaborazione PRGC IVREA 2030 su base Istat (2011))

Queste performance sopra la media possono essere riconducibili alla diffusa presenza sul territorio comunale di istituti scolastici di vario grado; infatti, si possono contare[45]:

- n° 11 scuole dell'infanzia;
- n° 8 scuole primarie;
- n° 3 scuole secondarie di I grado (medie);
- n° 19 scuole secondarie di II grado (superiori)[46];
- n° 1 Corso Universitario (Laurea Triennale in Infermieristica UniTo).

[44] Censimento Istat 2011
[45] Dati Regione Piemonte, dataset «Scuole piemontesi», A.S. 2022-2023 www.dati.piemonte.it
[46] Il numero si riferisce alla somma degli indirizzi dei diversi Licei ed Istituti

Emerge quindi l'alto numero di indirizzi di studio offerti dai licei, istituti tecnici e professionali presenti sul territorio eporediese, che offrono un'ampia scelta e diversificazione della didattica come mostrato in figura 2.9-3.

Liceo Statale "C. Botta"	Liceo "A. Gramsci"	I.I.S. "G. Cena"	I.I.S. "C. Olivetti"
•Classico •Matem. Scientifico •Comunicazione •Beni culturali •Arti •Linguistico •Internazionale •Linguistico •Scientifico	•Scientifico •scienze applicate •Scienze Umane •economico sociale	•Amministrazione, finanza e marketing •Turismo •Costruzione, ambiente e territorio •Servizi Commerciali	•ITI •elettronica ed elettrotecnica •grafica e comunicazione •informatica e telecomunicazioni meccanica, meccatronica ed energia •MAT 3+2: operatore elettrico e manutentore meccanico •SSA: servizi per la sanità ed assistenza sociale

Figura 1.9-3: Indirizzi di studio offerti per la scuola secondaria di secondo grado in Ivrea (elaborazione personale)

L'analisi delle serie storiche sul numero di iscritti nei quattro istituti presenti mette in evidenza come tutti, eccezion fatta per quello professionale, abbiano aumentato i propri iscritti negli ultimi dieci anni. La crescita maggiore si evidenzia però per l'Istituto Tecnico Olivetti , il quale in un solo decennio, complice l'incremento dell'offerta formativa, ha aumentato i suoi studenti del 41%, evidenziando una forte attrattività degli ambiti tecnici tra i giovani eporediesi[47].

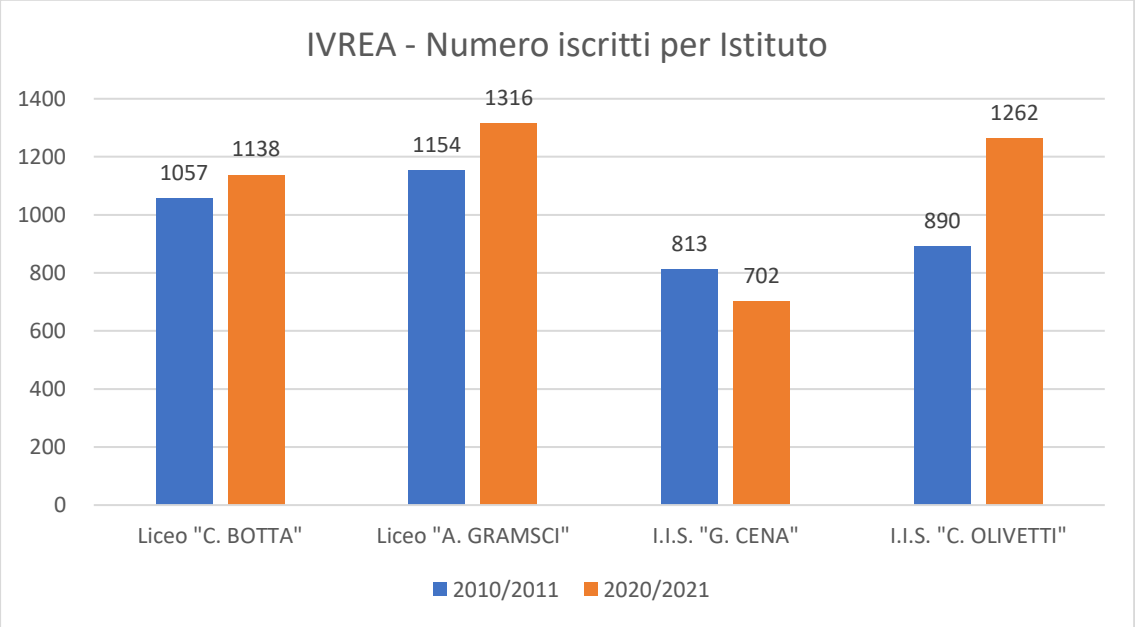


Figura 1.9-4: (Elaborazione personale sui dati dell'osservatorio OIFP)

[47] Osservatorio OIFP., http://www.cittametropolitana.torino.it/cms/ifp/osservatorio-oifp/fp

Spostando il *focus* dell'analisi sul territorio circostante ed osservando i dati riferiti alla densità degli istituti d'istruzione superiore, emerge una fortissima dipendenza di tutto il territorio Eporediese e del nord-est Canavese dalle scuole della città di Ivrea: una concentrazione che, all'interno della Città metropolitana di Torino, si riscontra solo nel capoluogo di regione e nelle zone omogenee attigue ad esso [48].

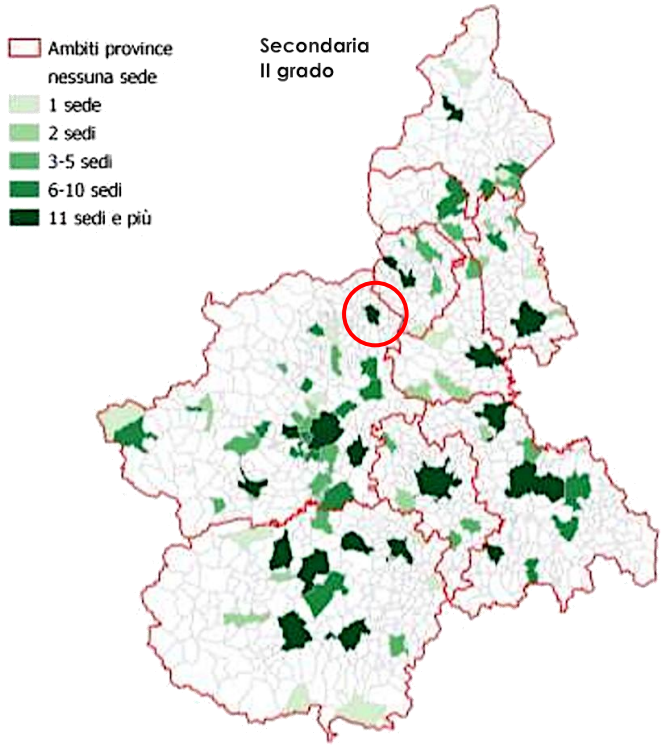


Figura 1.9-5: Punti di erogazione del servizio della scuola secondaria di I e II grado, 2021/2022

1.10 Offerta turistica

1.10.1 EcoMuseo AMI

Guardando oltre i confini del territorio eporediese e comprendendo quindi anche, più in generale, quello del Canavese, si riscontra un'offerta turistica diversificata, sia di tipo storico-culturale che di tipo *outdoor* e legate al benessere.

Un'importante istituzione promotrice del turismo nel canavese è l'EcoMuseo dell'Anfiteatro morenico di Ivrea (AMI). Essa è un'associazione di enti locali per la messa a sistema del patrimonio naturale, architettonico e culturale al fine di supportare lo sviluppo del settore turistico e valorizzare il territorio. L'Ecomuseo consiste quindi di quattro macro-tematiche[49]:

- la Rete Museale: questa è costituita da dieci strutture, tutte aderenti al circuito "Abbonamento Musei Piemonte", e spaziano dalle tematiche ecologiche a quelle che narrano le tradizioni popolari o gli episodi della resistenza che hanno avuto come teatro queste alture.
- Le Chiese Romaniche: si tratta di undici strutture su nove comuni differenti e costituiscono questa rete di architetture religiose; hanno sede in Ivrea due di queste, ovvero il Campanile di Santo Stefano e la Cattedrale di Santa Maria Assunta.

[48] Rilevazione scolastica della Regione Piemonte, elaborazioni IRES, 2021/2022
[49] https://www.ecomuseoami.it/l-ecomuseo/l-ecomuseo-ami

- La Geologia e l'Ambiente: le peculiarità geo-morfologiche del territorio vengono raccontate attraverso l'organizzazione di conferenze e mostre, per la costruzione di una nuova sensibilità e conoscenza attorno a tali tematiche.
- Le Chiese Barocche: il periodo storico tra il '600 e '700 ha visto sorgere sul territorio numerose architetture barocche, tutt'ora oggetto di studio e censimento per la futura messa a sistema e valorizzazione turistica.
- I siti UNESCO: *Ivrea, Città Industriale del XX secolo* impreziosisce l'offerta turistica assieme al vicino Castello Ducale di Agliè, grazie al riconoscimento a livello internazionale del loro valore storico-culturale-architettonico.

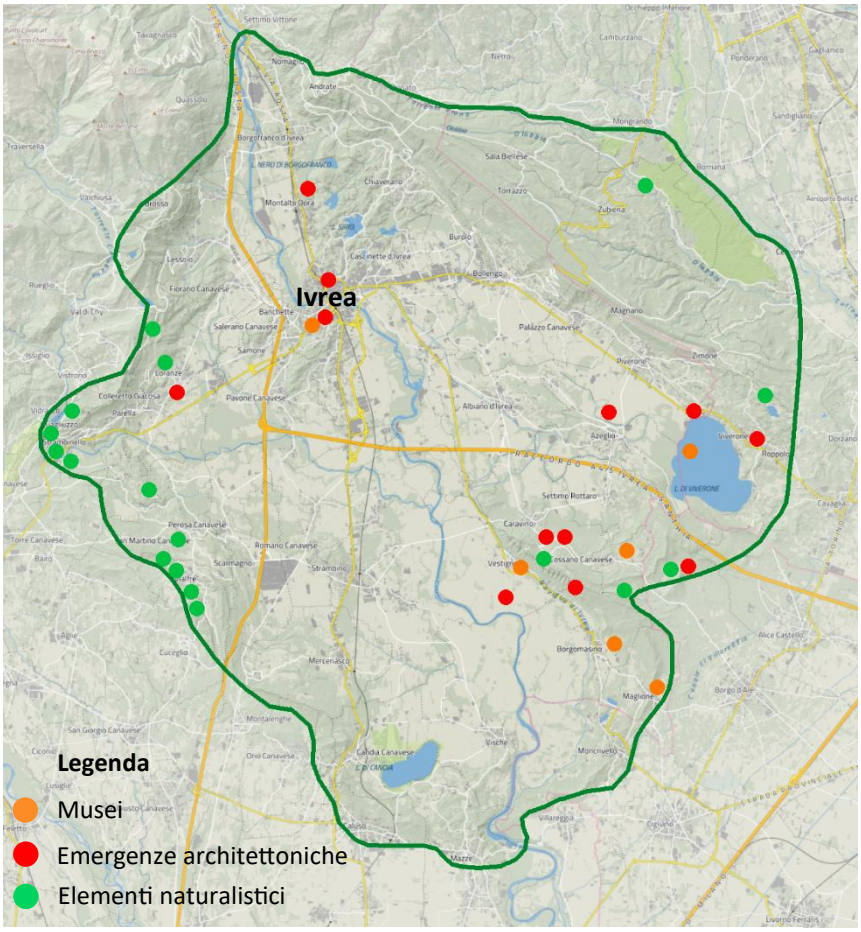


Figura 1.10-4: Cartina dei principali punti d'interesse dell'EcoMuseo AMI (https://www.ecomuseoami.it/)

Figura 1.10-4: Il fiume Dora Baltea (https://ecomuseipiemonte.wordpress.com/)

Figura 1.10-4: Località di Candelo

Figura 1.10-4: Museo della tradizione contadina

1.10.2 I Cinque Laghi della Serra d'Ivrea

Un altro elemento caratterizzante e di particolare interesse naturalistico è la zona dei Cinque Laghi della Serra d'Ivrea[50], la quale trova il suo baricentro ipotetico a soli tre chilometri dalla città di Ivrea e che offre la possibilità di percorrere a piedi, in bici o a cavallo, cinque itinerari ad anello[51]:

- anello del Lago Sirio e delle Terre Ballerine: oltre a poter fruire delle sponde del lago Sirio e delle sue acque nella stagione estiva, si può fare esperienza del particolare fenomeno delle "Terre Ballerine", dove in seguito ad una bonifica e alla formazione di uno strato torboso nel terreno, il passaggio degli escursionisti provoca il movimento degli arbusti.

[50] Ne fanno parte i laghi di Sirio, Pistono, Cascinette (o di Campagna), il lago di Nero e di San Michele
[51] Cartina dell'EcoMuseo Anfiteatro Morenico d'Ivrea; https://visitcanavese.it/i-cinque-laghi-di-ivrea/

- Anello del Lago Nero: strade acciottolate e antichi sentieri conducono al Lago Nero, narrato in diverse leggende popolari per via della sua natura selvaggia e delle sue origini glaciali, permettono anche di incontrare i resti dell'antico acquedotto romano che riforniva *Eporedia.*
- Anello di Montresco: il suo percorso si sviluppa in mezzo a torbiere e boschi di castagno, condividendo il tratto dell'acquedotto romano con l'anello del Lago Nero.
- Anello del Lago di Pistono: la passeggiata che si sviluppa attorno al lago, tra vigneti e boschi di castagno, offre al visitatore la possibilità di spaziare dai ritrovamenti preistorici del 6500 a.C., visitando la ricostruzione di un insediamento su palafitta, alla splendida vista del Castello di Montalto, imponente opera difensiva risalente all'XI secolo d.C.
- Anello del Lago di Campagna: la flora che cinge il lago risulta particolarmente adatta per diverse specie di uccelli, rendendo il Lago di Campagna un luogo ideale per esperienze di *birdwatching.*

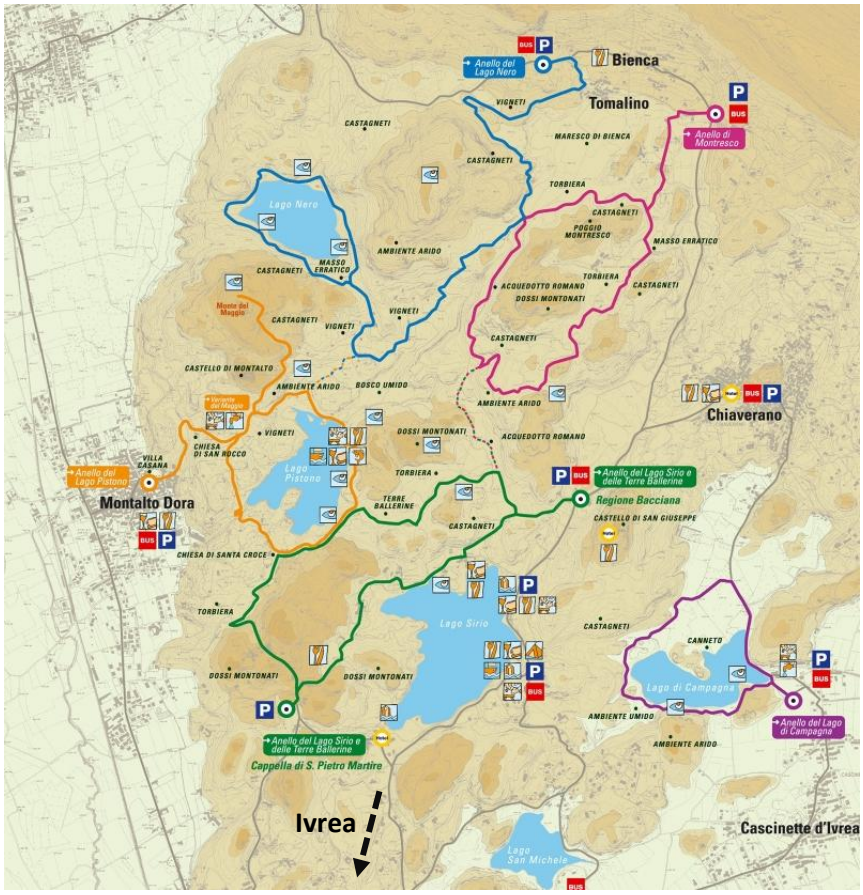


Figura 1.10-5: I percorsi escursionistici del sistema dei Cinque Laghi della Serra d'Ivrea (https://www.ecomuseoami.it/)

1.10.3 La Via Francigena

Il territorio del canavese è inoltre attraversato dallo storico itinerario della Via Francigena, un percorso di origini religiose che dal nord Europa porta a Roma e che sempre più coinvolge anche amanti della natura e del cosiddetto "turismo lento". Dei suoi 1600 Km complessivi, il canavese ne ospita due tratti: la Via Francigena Morenico-Canavesana passante per Ivrea e la variante Torino-Vercelli che invece interessa il territorio chivassese. Percorrendo la Morenico-Canavesana, che si estende per un totale di 85 Km, si può godere dello straordinario spettacolo offerto dall'anfiteatro morenico, con la Serra d'Ivrea a fare da quinta scenica, e visitare il complesso di Cinque Laghi che anticipa l'arrivo nella città eporediese. Sebbene sia

caratterizzata da diverse tipologie di percorsi (strade sterrate, tratti boschivi, mulattiere) è comunque consigliata ai più, essendo segnalata di difficoltà "turistica"[52].

1.10.4 Il Museo a cielo Aperto dell'Architettura Moderna (MaAM)

Ad arricchire e diversificare l'offerta turistica del canavese è la visita al Museo a cielo Aperto dell'Architettura Moderna (MaAM), situato in Ivrea. Il museo propone una visita al sistema di architetture sviluppatesi nel '900 sotto l'impulso dell'azienda Olivetti, un patrimonio edilizio riconosciuto nel 2018 Patrimonio dell'Umanità dall'UNESCO con l'appellativo di Città Industriale del XX secolo. A rendere unico il sito sono la qualità intrinseca delle architetture così come il modello di impresa che queste rappresentano, dove l'attenzione per la qualità della vita e l'integrazione fabbrica-città erano capisaldi della pianificazione urbana. Il percorso offerto dal Museo è di tipo "a rete aperta", proprio per la volontà di accompagnare il visitatore in una scoperta autonoma e personale dei caratteri architettonici, economici e culturali della storia olivettiana. Esso si articola su una lunghezza totale di circa 2.3 Km, lungo i quali sono state installate tre diverse tipologie di «stazione»:

- Traguardo: punti di sosta caratterizzati da pannelli che permettono di inquadrare alcuni particolari significativi delle architetture del museo
- Punto panoramico: vista privilegiata dalla quale osservare le architetture del museo
- Stazioni informative: Punti di sosta lungo il percorso che approfondiscono sette temi significativi della storia della Olivetti, strutturando un percorso di visita flessibile.

Sebbene non sia consentito visitare in autonomia gli interni degli edifici industriali e non, sia per motivi di sicurezza sia perché molti di questi sono ad oggi proprietà privata, vengono organizzate su prenotazione delle visite guidate della durata di circa due ore che aprono le porte ad alcuni degli edifici più iconici, come ad esempio le Officine ICO ed i Centro Servizi Sociali.

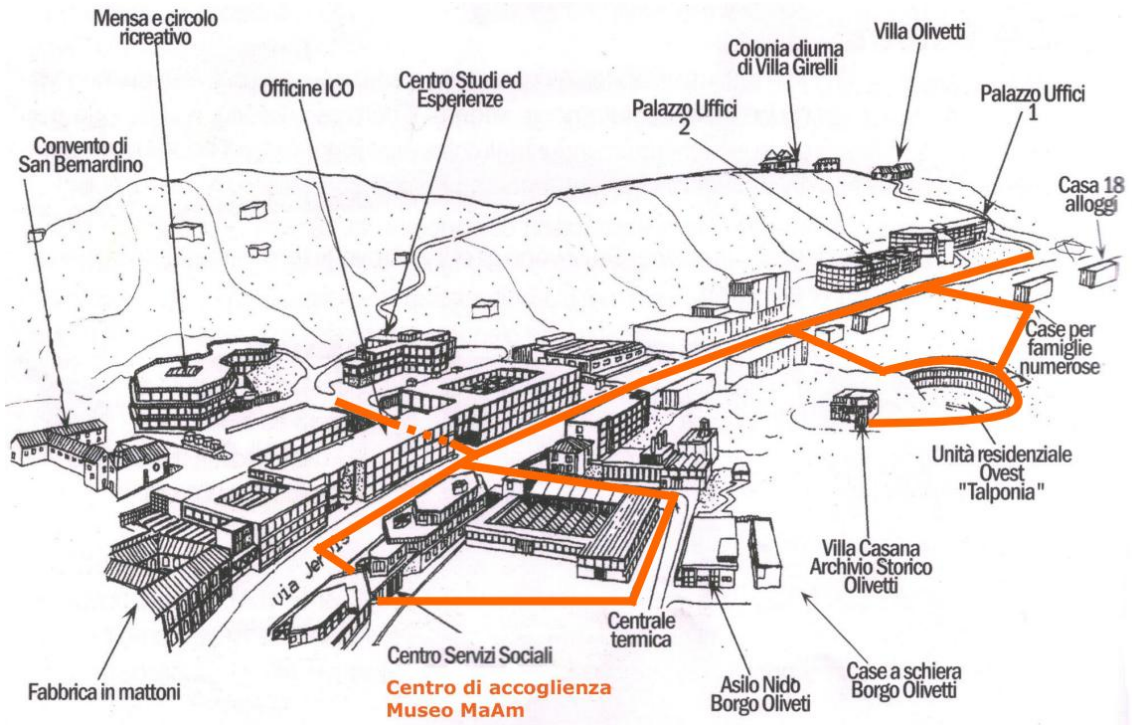


Figura 1.10-6: Rappresentazione del sistema di architetture olivettiane e del percorso del MaAM, oggi sito UNESCO (www.g-studio.biz)

[52] https://www.piemonteoutdoor.it/it/attivita/escursionismo/francigena-morenico-canavesana#

Ad impreziosire la visita del MaAM vi è inoltre la Chiesa quattrocentesca di San Bernardino, acquistata da Camillo Olivetti e diventata abitazione di famiglia, attorno alla quale sono cresciute le fabbriche dell'ingegnere e alcuni dei servizi ricreativi per i dipendenti dell'azienda. La Chiesa conserva al suo interno un affresco di Giovanni Martino Spanzotti con al centro le *Storie della vita e passione di Cristo* ed è stata recentemente ceduta dalla proprietà al Fondo per l'Ambiente italiano (FAI). Questo ha poi programmato dei lavori di messa in sicurezza e valorizzazione dei suoi spazi attraverso un bando per la progettazione di un museo esperienziale, volto alla divulgazione della storia e dei valori della famiglia di Camillo ed Adriano Olivetti[53].

1.10.5 I musei di Ivrea

Spostando il *focus* sul sistema museale eporediese se ne citano i due principali attori: il Museo Civico Garda ed il Laboratorio/Museo Tecnologic@mente. Nel primo di questi trovano spazio reperti archeologici ed opere d'arte orientale, oltre che i quadri facenti parte del lascito Croff ed una sezione dedicata al periodo storico compreso tra il Gotico ed il Rinascimento. Vi sono inoltre locali destinati a mostre temporanee, festival ed incontri. Il secondo invece, ideato e gestito dalla Fondazione Capellaro dal 2005, ha al centro della propria esposizione i prodotti più iconici ed innovativi dell'azienda Olivetti, dalla prima macchina per scrivere al primo personal computer della storia. La Fondazione è inoltre impegnata nel fornire esperienze laboratoriali agli studenti delle scuole di tutti i gradi, anche e soprattutto tramite attività STEAM[54].

Figura 1.10-7: Mostra "Olivetti - GraficArte" presso il Museo Civico Garda (AASO)

Figura 1.10-8: Allestimento del Museo Tecnologic@mente

[53] Notiziario spille d'oro 2023, 2.
[54] Acronimo di «Science Technology Engineering Art Mathematics».

1.10.6 Eventi e manifestazioni

Il Carnevale Storico di Ivrea è il più antico d'Italia e terzo per visite annue solo dopo quelli di Venezia e Viareggio[55]. Affonda le sue radici nella storia e nella leggenda, portando la rievocazione della rivolta popolare contro il Marchese di Monferrato, scatenata dalla ribellione di una giovane, detta "Mugnaia", contro le richieste del marchese. A renderlo unico è il complesso sistema di personaggi e rituali che si sono stabiliti nel corso di oltre quattro secoli di celebrazioni. Elemento caratteristico del Carnevale e che lo rende particolarmente attrattivo è la spettacolare Battaglia delle Arance, dove per tre giorni aranceri a piedi e su carro si sfidano a colpi di arance, mettendo in scena una lotta per la libertà che è il cuore del Carnevale Eporediese[56].

Figura 1.10-9: Aranceri intenti al lancio di arance durante il Carnevale di Ivrea

Le più rilevanti manifestazioni sportive trovano luogo nello stadio della Canoa di Ivrea, un impianto sportivo fluviale che prende parte del tratto cittadino del fiume Dora Baltea, il quale grazie al suo regime nivo-glaciale ne garantisce una fruizione pressoché costante. Una pratica, quella della canoa e del *rafting* ad Ivrea, che trova le sue origini negli anni '50 e che, grazie ad importanti lavori per la modifica del Naviglio, ha conquistato la scena internazionale ospitando nel 2007-2008, 2016-2017 ed infine nel 2024 le Coppe del Mondo di canoa e *kayak*. L'unicità dello stadio data dal contesto cittadino rende questo impianto particolarmente attrattivo per atleti esperti provenienti diversi paesi[57].

[55] https://www.rainews.it/tgr/piemonte/articoli/2023/02/carnevale-ivrea-lindotto-vale-35-milioni-di-euro-27f35648-b62f-4958-a645-a4f93462bd70.html
[56] https://www.storicocarnevaleivrea.it/it/chi-siamo/il-carnevale/storia/
[57] https://www.anfiteatromorenicoivrea.it/stadio-della-canoa-di-ivrea

Figura 1.10-10: Atleti di canoa e rafting nel naviglio di Ivrea

Un altro evento che nel corso delle sue edizioni ha saputo accrescere il suo pubblico è *La Grande invasione*, un festival della lettura che trova luogo nelle piazze di Ivrea ed Aosta dal 2012. Scrittori provenienti da tutto il panorama nazionale animano attraverso incontri, mostre ed anche lezioni di scrittura una quattro giorni che richiama appassionati lettori da tutta la regione, sapendo coinvolgere anche i più piccoli a cui è dedicato il programma *La Piccola Invasione*[58].

[58] https://www.lagrandeinvasione.it/

2 Analisi del comparto

L'obiettivo di questo capitolo è quello di comprendere il significato che vi è dietro la parola Olivetti, ricostruire i momenti chiave dell'azienda, cogliere gli ideali che ne hanno mosso i protagonisti, verificare quale sia l'eredità lasciata alla città di Ivrea.

L'intento è piuttosto quello di cogliere il *genius loci*, maturare quella consapevolezza e sensibilità che sono richieste ad ogni progettista che voglia affrontare il tema del progetto sul costruito, specie in contesti ad alto valore culturale come quello olivettiano.

2.1 Gli anni della Olivetti

2.1.1 Storia dell'Azienda

L'azienda Olivetti fu a Ivrea nel 1908 per mano dell'ingegnere Camillo Olivetti con l'intento di diventare la prima fabbrica nazionale di macchine per scrivere. Questo obiettivo verrà raggiunto nel 1911 con la produzione della Olivetti M1, presentata come gioiello di tecnica e design all'Esposizione Universale di Torino[59]. L'arrivo della Grande Guerra non frena lo sviluppo di nuovi modelli e così avviene, nel 1919, il primo ampliamento degli spazi per la produzione, che avevano trovato luogo fino ad allora nella nota «Fabbrica dei Mattoni Rossi» [60]. Nel frattempo, suo figlio Adriano Olivetti viene prima inserito in azienda con la qualifica di operaio comune, poi parte per un viaggio lungo oltre un anno per gli Stati Uniti, con il compito datogli dal padre di studiare l'organizzazione delle aziende nella loro struttura e nei metodi di lavoro [61]. Al suo rientro avvengono le prime grandi innovazioni, le quali diventeranno sempre più prorompenti con il progressivo passaggio di consegne tra il padre Camillo e il figlio Adriano, avvenuto nel 1932 con la sua nomina a Direttore Generale e nel 1938 con quella a Presidente.

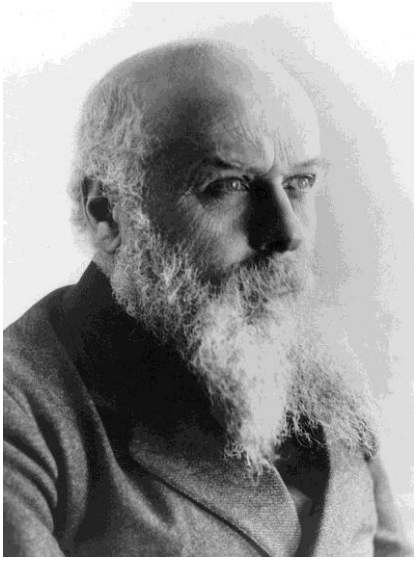


Figura 2.1-1: Camillo Olivetti (https://it.wikipedia.org/wiki/Camillo_Olivetti)

Figura 2.1-2: Olivetti M1, la prima macchina per scrivere italiana F(http://www.museotecnologicamente.it/olivetti-m1-1911/)

[59] RENZI 2013; https://www.storiaolivetti.it/tema/storia-aziendale/
[60] https://www.storiaolivetti.it/articolo/68-cronologia-olivetti-1908-1977/; https://www.storiaolivetti.it/articolo/44-le-officine-olivetti-a-ivrea-1896-1958/
[61] OLIVETTI 2016; https://www.storiaolivetti.it/articolo/64-adriano-olivetti/

Sulle orme di quanto già fatto da Camillo, che morirà nel 1943, Adriano si contraddistingue tra gli industriali italiani (e non solo) per la sua eccezionale capacità di intuire le trasformazioni del mercato e per l'unicità del rapporto che riesce a instaurare tra l'operaio, la fabbrica ed il territorio. I numerosi edifici realizzati nell'arco di trent'anni per mano dei più importanti progettisti italiani del '900 riflettono nelle forme e nelle soluzioni architettoniche la ricerca del benessere per il lavoratore e per la sua realizzazione come uomo e cittadino ancor prima che come dipendente [62]. Questo avveniva effettivamente anche grazie alle numerose iniziative culturali e ad un solido sistema di *welfare* aziendale che consentiva di alleviare la fatica della fabbrica grazie ai numerosi servizi ed agevolazioni offerte ai dipendenti Olivetti. Anche in termini di prodotti e risultati sul mercato gli effetti della gestione Adriano sono altrettanto evidenti: al termine degli anni '40 l'azienda aveva già conquistato una posizione da *leader* mondiale dei prodotti meccanici per ufficio, anche grazie agli investimenti convogliati nella ricerca per lo sviluppo di calcolatori che portarono alla vendita di macchine ad alto valore aggiunto, come la Divisumma 14. Sebbene gli anni '50 fossero iniziati con l'uscita della macchina per scrivere più nota al mondo, la Lettera 22, Adriano intuì le potenzialità dell'elettronica ed investì ingenti risorse per lo sviluppo del primo calcolatore elettronico italiano. Il laboratorio di ricerca coordinato dall'ingegnere e fisico Mario Tchou, in collaborazione con l'Università di Pisa, diede così i natali, nel 1959, alla Elea 9003, il primo calcolatore elettronico a transistor al mondo e precursore dei nostri moderni dispositivi elettronici. L'azienda, che già dominava il mercato della meccanica, si stava così lanciando, in aperta competizione con quelle statunitensi, nella conquista dell'elettronica. Tuttavia, la morte improvvisa nel 1960 di Adriano Olivetti e nel 1961 di Mario Tchou privò la Olivetti rispettivamente della sua figura guida e del visionario progettista [63].

Figura 2.1-3. Adriano Olivetti (https://www.storiaolivetti.it/articolo/64-adriano-olivetti/)

Figura 2.1-4: Olivetti Lettera 22 (https://designindex.it/prodotti/design/lettera-22-olivetti.html)

La forte esposizione economica cui doveva far fronte l'azienda dopo l'acquisizione negli anni passati della Underwood porta, nell'anno del 1964, all'entrata nel capitale Olivetti del cosiddetto Gruppo d'Intervento, formato da due istituti bancari, Fiat e Pirelli. Il nuovo Presidente, Carlo de Benedetti, non condivise la visione che Adriano aveva circa il futuro dell'elettronica e preferì abbandonare la strada dell'innovazione a favore della più rassicurante produzione di prodotti meccanici. Nonostante ciò, l'esperienza maturata dal gruppo di lavoro di Mario Tchou porta alla presentazione nel 1965 al BEMA di New York del primo personal computer della storia, la Programma 101, impiegata anche per le operazioni NASA nella Missione Apollo 13. La grande risonanza mediatica che ebbe questo calcolatore obbligò la dirigenza a rivedere in parte le proprie strategie di pensionamento della ormai ex-Divisione Elettronica, portandola a formare un Gruppo R&S con a capo il

[62] https://www.ivreacittaindustriale.it/i-beni/officine-ico/
[63] https://www.storiaolivetti.it/articolo/24-i-laboratori-della-ricerca-elettronica-da-new-c/

figlio di Adriano, Roberto Olivetti. L'azienda raggiunse così il suo picco d'espansione nel 1971, quando poteva contare su 73.798 dipendenti in tutto il mondo, con undici stabilimenti industriali in Italia e dieci all'estero [64]. Negli anni che seguirono verranno ancora presentati prodotti di grande successo, come la ET 1010, prima macchina per scrivere elettronica, il computer P6040 dotato di microprocessore e, negli anni '80, i fortunati personal computer M20 e M24, che ne renderanno la Olivetti il primo produttore in Europa.

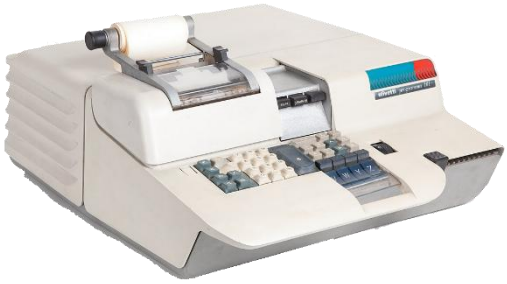


Figura 2.1-5: Olivetti P101 (Museoscienza.org. Museo nazionale della scienza e della tecnologia Leonardo da Vinci, Milano., CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=47910885)

Figura 2.1-6: Olivetti M24 (https://www.vecchicomputer.com/2017/07/olivetti-m24-1984/)

La crisi su scala mondiale del settore dell'informatica, che si manifestò tra il 1990 e il 1991, causò un forte calo di fatturato per l'azienda, la quale vedeva più della metà dei propri proventi legati proprio a tale *business*. Le strategie introdotte dai vertici aziendali prevedevano quindi la cessione di attività considerate secondarie, come il gruppo "Prodotti per ufficio", ma anche un vero e proprio cambio di rotta spostando il suo *core business* dall'informatica alle telecomunicazioni. Da questo momento in avanti avranno luogo una serie di acquisizioni, cessioni e fusioni societarie che faranno mutare non solo l'assetto finanziario e l'organizzazione interna dell'azienda, ma anche il suo oggetto sociale, assumendo il controllo di Telecom Italia nel 2003 e diventando, di fatto, il principale *provider* in ambito ICT sul territorio nazionale. Tale riconversione, oltre a comportare un forte ridimensionamento del suo peso occupazionale sulla città di Ivrea, ha sostanzialmente annullato la produzione manufatturiera dell'azienda, comportando la dismissione di buona parte delle Fabbriche ICO ed i rispettivi edifici di servizio. Dal 2012 la Olivetti opera all'interno del gruppo TIM nel campo dell'*Internet of Things* e dei *Big Data*, occupando al 2022 circa quattrocento dipendenti[65].

[64] https://www.storiaolivetti.it/articolo/69-cronologia-olivetti-1978-2009/; https://www.storiaolivetti.it/articolo/68-cronologia-olivetti-1908-1977/

[65] https://www.esquire.com/it/news/business/a39689085/olivetti-oggi/

2.1.2 Il concetto di Comunità per gli Olivetti

Per comprendere lo sviluppo dell'azienda sul territorio di Ivrea, le sue finalità ed i mezzi di cui nel tempo si è servita per la loro attuazione occorre esplorare il concetto di *società comunitaria* che caratterizzò il pensiero degli Olivetti.

2.1.2.1 Il socialismo di Camillo

Camillo Olivetti gettò per primo le basi per un'impresa innovativa ma che fosse anche e soprattutto socialmente responsabile. Egli seppe guadagnarsi il rispetto e la stima dei suoi dipendenti e collaboratori, tanto per le sue capacità ingegneristiche e di dedizione al lavoro, quanto per la considerazione che egli stesso aveva di chi lavorava in Olivetti, o al contrario di chi il lavoro non lo aveva. Le sue idee socialiste[66], che non esitava a promuovere ed attuare, lo portarono ad avere una indiscussa sensibilità per le problematiche e le necessità dei lavoratori: un esempio è la creazione del Gruppo Ricreativo Olivetti che, dopo essere nato spontaneamente da un gruppo di dipendenti, venne supportato e finanziato dall'azienda per offrire un tempo libero di qualità e creare occasioni di aggregazione[67]. Ma la più forte ambizione e ideale verso il quale tendere era, per Camillo, il miglioramento delle condizioni economiche e sociali di quell'ampia fetta di popolazione che, nei primi decenni del '900, riversava in condizioni di povertà assoluta. L'azienda, pensava Camillo, aveva quindi l'arduo compito di combattere «la malattia mortale della società moderna: la disoccupazione»[68].

Quando oramai il fondatore della Olivetti aveva ceduto il testimone a suo figlio Adriano, si fece promettere che questo, in seguito all'introduzione delle innovazioni studiate negli Stati Uniti, avrebbe dovuto lottare con ogni mezzo affinché gli operai della fabbrica «non abbiano a subire il tragico peso dell'ozio forzato, della miseria avvilente che si accompagna alla perdita del lavoro»[69].

Figura 2.1-7: Camillo Olivetti con i suoi dipendenti, 1920 (https://www.storiaolivetti.it/articolo/62-camillo-olivetti/)

[66] https://www.storiaolivetti.it/articolo/62-camillo-olivetti/
[67] https://www.storiaolivetti.it/articolo/10-gsro-dal-lavoro-al-tempo-libero-sempre-insieme/
[68] OLMO 2001
[69] *Ibidem*

2.1.2.2 La Comunità di Adriano

Adriano prese molto seriamente quell'ammonimento di suo padre e non si limitò semplicemente a mantenere tale promessa. Durante la sua vita a capo dell'azienda sviluppò attorno a quel principio di solidarietà sociale, una precisa visione delle soluzioni per superare l'arretratezza economica e culturale di ampie porzioni del paese, spingendosi ben oltre rispetto ai confini della sua fabbrica.

Adriano riteneva infatti che la divisione amministrativa e dei poteri all'interno dello Stato italiano, a tutti i suoi livelli, fosse inadeguata, e che questo generasse l'allontanamento dalla politica e dalla partecipazione democratica alla cosa pubblica da parte del cittadino. Tale inadeguatezza, associata all'incompetenza della classe dirigente presente all'interno dello stato centrale, portava ad ignorare fenomeni di degrado sociale, lo spopolamento di aree, l'accrescimento talvolta sconsiderato delle metropoli e lo sfruttamento da parte delle grandi fabbriche delle risorse dei territori. Il vero problema della politica moderna era, secondo Adriano, «quello della precisazione di una dimensione "ottima" dell'autorità locale, capace di conciliare, nello stesso tempo, le esigenze di libertà con quelle di funzionalità imposte dai mezzi tecnici del mondo moderno» [70].

Secondo Adriano Olivetti era quindi necessario che si formassero su tutto il territorio nazionale delle comunità «concrete»[71], simili per dimensione geografica e demografica al Canavese degli anni '50 e dotate di grande autonomia rispetto allo Stato centrale. Queste per potersi formare avevano bisogno di quattro condizioni al contorno: (I) l'individuazione di uno spazio geografico definito; (II) la presenza di una struttura amministrativa adeguata; (III) un'organizzazione attraverso un piano formale di carattere urbanistico; (IV) la presenza di valori spirituali a guida del progresso sociale.

La Comunità concreta è quindi, secondo il suo ideatore, un luogo dove esaltare i migliori, proteggere i deboli, sollevare gli ignoranti, scoprire le vocazioni. È una comunità di intenti e di azioni, atta a raggiungere una pace operosa e dinamica fondata sull'amore per la propria terra e per l'amore tra gli uomini, dove il lavoro, che si svolge dentro le fabbriche e nei campi, non ha come unico fine di dare il pane all'operaio e il capitale al padrone, ma si nobilita re-investendo i suoi frutti nell'accrescimento culturale e sociale della comunità e quindi nei suoi figli. La Comunità è quindi una risposta alla crescente necessità di realizzare una più diretta e partecipata democrazia, un luogo dove i problemi sono sentiti come propri e condivisi, un luogo sufficientemente grande dove attuare coraggiose politiche di crescita economica e sociale, ma abbastanza piccolo e decentrato da non portare con sé i problemi di depersonalizzazione cui si va in contro nelle grandi metropoli.

L'attuazione di simili idee doveva necessariamente passare attraverso un'azione politica di carattere nazionale e così Olivetti decise di fondare, nel 1947, un partito dal nome: *Movimento Comunità*. Sebbene il Movimento fallì nei suoi obiettivi politici, essendo riuscito ad eleggere alla Camera solamente Adriano alle elezioni del 1958, il suo fondatore tentò parallelamente di svilupparne i principi e ideali entro i confini dell'area geografica del Canavese.

[70] Olivetti 2015, 18
[71] Olivetti 2015, 32

Figura 2.1-8: logo Movimento Comunità (https://it.wikipedia.org/wiki/Movimento_Comunit%C3%A0)

2.1.3 I mezzi per la Comunità «concreta»

Uno dei mezzi principali attraverso il quale Olivetti cercò di realizzare una «Comunità del Canavese»[72] furono i centri comunitari, cellule pulsanti di una nuova democrazia. Tali centri, che nel 1958 erano ben ottantanove, godevano sì del supporto economico di Adriano, ma si sviluppavano e crescevano in numero solo grazie al vivo desiderio di una moltitudine di comunità locali che avevano compreso il valore del messaggio comunitario ed i suoi ambiziosi fini. E così in tanti paesi del canavese si diffuse la cultura attraverso le ordinate biblioteche, la conoscenza della tecnica attraverso i laboratori didattici, l'esercizio di una viva democrazia attraverso l'elezione dei rappresentanti comunitari, e poi ancora servizi alla persona, osservatori di urbanistica, vivi dibattiti sulla politica italiana ma anche occasioni di svago e manifestazioni sportive.

Figura 2.1-9: Centro comunitario di Palazzo Canavese (https://censimentoarchitetturecontemporanee.cultura.gov.it/scheda-opera?id=3439#gallery-1)

Figura 2.1-10: Donne del centro comunitario di Cuorgnè (https://olivettiana.it/centri-comunitari-e-i-rur/)

L'altra iniziativa di rilievo portata avanti sempre da Adriano per la creazione di una Comunità del Canavese fu la creazione dell'I-RUR, Istituto per il Rinnovamento Urbano e Rurale del Canavese. Tale Istituto, finanziato economicamente e supportato attraverso l'inserimento nel suo organico di dipendenti Olivetti, operava per lo sviluppo economico del Canavese, il cui tessuto industriale era stato fortemente colpito dalle chiusure di importanti stabilimenti tessili durante gli anni '20 e il cui settore primario stentava a fornire produzioni quantitativamente e qualitativamente soddisfacenti. Attraverso la redazione di studi e analisi di mercato, la

[72] OLIVETTI 2015, 21

fornitura di servizi di consulenza per imprese private ed istituzioni pubbliche e l'attività diretta di avviamento di cooperative agricole e di produzioni industriali tale Istituto ha combattuto spesso efficacemente la disoccupazione e la miseria delle aree più povere e isolate.

Adriano usava infine, nei suoi discorsi, rivolgersi agli urbanisti, i quali avevano il difficile compito di definire per ogni Comunità un piano formale che la organizzasse in vista del suo scopo, facendosi loro interpreti e ordinatori piuttosto che dittatori. I grandi piani di edilizia pubblica messi in atto nel dopoguerra avevano avuto sì il pregio di dare una casa dignitosa a chi non l'aveva, ma non erano stati in grado di creare appunto delle Comunità dove l'uomo, anziché insediarvisi come un «ospite provvisorio»[73], sentisse di condividere un ideale e di partecipare democraticamente alla sua emancipazione e liberazione. Essendo fermamente convinto che la decentralizzazione delle produzioni e del lavoro fosse una misura assolutamente necessaria per la «difesa dell'uomo»[74] ed evitare che questo fosse obbligato a trasferirsi nelle poche grandi metropoli dotate di grandi industrie, egli dava anche dei chiari indirizzi ad architetti ed ingegneri. Egli proponeva quindi la realizzazione di quartieri organici unificati adeguatamente collegati alle nuove e vicine aree industriali, un binomio casa-lavoro cui doveva necessariamente essere associato «un massiccio sostanziale ingrandimento degli spazi destinati ai servizi sociali e culturali, sia nella progettazione urbanistica, sia nei bilanci dello Stato, delle province, dei comuni, delle industrie, dei privati»[75].

Sebbene la quasi totalità delle iniziative sopra descritte dipendesse in larga parte dal suo principale promotore e che proprio a causa di questo fattore queste si esaurirono in pochi anni dopo la morte di Adriano, avvenuta nel 1960, esse hanno lasciato un segno indelebile nelle persone e nei luoghi che le hanno vissute. Ad oggi, la testimonianza tangibile e meglio conservata di quella società voluta e ricercata da Olivetti si trova proprio a Ivrea, dove egli ebbe la possibilità di mettere in pratica le sue teorie attraverso l'azione della sua azienda.

[73] OLIVETTI 2015, 50
[74] OLIVETTI 2015, 58
[75] OLIVETTI 2015,62

2.1.4 La «Comunità» ad Ivrea

«Può l'industria darsi dei fini? Si trovano questi semplicemente nell'indice dei profitti? Ma non vi è al di là del ritmo apparente qualcosa di più affascinante, una nuova destinazione, una vocazione anche nella vita di una fabbrica? Possiamo rispondere: c'è un fine nella nostra azione di tutti i giorni a Ivrea come a Pozzuoli.»[76]

Figura 2.1-11: Adriano Olivetti tra i suoi dipendenti
Fonte: https://torino.corriere.it/cultura/22_marzo_31/mia-olivettile-voci-chi-c-era-5fad68d0-b11a-11ec-9b4e-8c5521504f39.shtml

Così parlava Adriano Olivetti ai suoi nuovi dipendenti nel 1955, durante l'inaugurazione dello stabilimento di Pozzuoli. Egli stava per portare nel meridione quell'idea di «creare un'impresa di tipo nuovo, al di là del socialismo e del capitalismo»[77], nata per combattere «i problemi dell'uomo e di una società moderna»[78] e che già aveva trovato applicazione nel capoluogo eporediese. Ad Ivrea, infatti, la fabbrica «pur agendo in un mezzo economico e accettandone le regole ha rivolto i suoi fini e le sue maggiori preoccupazioni all'elevazione materiale, culturale, sociale del luogo ove fu chiamato ad operare avviando quella regione verso un tipo di comunità nuova, […] una vita più degna di essere vissuta.»[79] Un luogo dove si è fatto vivo il disegno di una società che crede «nei valori spirituali, nei valori della scienza, crede nei valori dell'arte, della cultura […]» [80].

Le parole che Adriano rivolse quel giorno ai suoi nuovi dipendenti rispecchiavano effettivamente gli sforzi di un'azienda che, fin dalle origini, riconobbe le proprie responsabilità verso i lavoratori e più in generale nei confronti della società nella quale operava. Le prime misure di *welfare* aziendale introdotte sotto la gestione di Camillo Olivetti vennero notevolmente ampliate sotto la dirigenza di suo figlio Adriano, diventando un complesso ed articolato sistema di servizi sociali che andavano sostanzialmente a colmare le lacune del sistema pubblico sino alla fine degli anni '70 circa.

Una delle principali politiche assistenzialiste che la Olivetti fornì ai suoi dipendenti ed alle loro famiglie fu quella abitativa. Era infatti un tema considerato cruciale per la crescita sostenibile dell'impresa ed ogni piano

[76] OLIVETTI 2015, 78
[77] OLIVETTI 2015, 94
[78] OLIVETTI 2015, 205
[79] OLIVETTI 2015.,94
[80] OLMO 2001.

di sviluppo della fabbrica venne sempre accompagnato dal finanziamento e dalla realizzazione di abitazioni per gli operai che andavano insediandosi a Ivrea, evitando che questi si ritrovassero a dover vivere in locali angusti e poco salubri[81].

Risalgono al 1926 le prime abitazioni realizzate dalla Olivetti: sei case unifamiliari dallo stile tradizionale, dotate di orto per l'autosufficienza alimentare dei dipendenti e delle loro famiglie. Ma il vero impegno dell'azienda avvenne sotto Adriano, il quale coinvolse gli architetti Figini e Pollini, già autori del primo ampliamento della fabbrica, per la costruzione di una stecca residenziale ed un asilo nido nel Borgo Olivetti, commissionandogli anche degli studi per la realizzazione di alcune abitazioni in quello che sarebbe poi diventato il quartiere Castellamonte. A cavallo degli anni '30 -'40 trentuno famiglie possono trovare una nuova casa e un asilo per i loro bambini, realizzate secondo i canoni del linguaggio razionalista che si faceva portatore delle più avanzate teorie sul benessere e sulla qualità della vita. Il quartiere Castellamonte troverà il suo completamento nei primi anni del dopoguerra, con la costruzione sia di case unifamiliari che edifici in linea, ad opera degli architetti Nizzoli e Oliveri [82].

Figura 2.1-12: Abitazioni per famiglie numerose del quartiere Castellamonte (https://www.storiaolivetti.it/articolo/12-le-case-per-i-dipendenti-e-la-politica-edilizia/)

La Olivetti perseguì le sue politiche abitative anche in tempo di guerra, avviando nel 1943 i lavori per la realizzazione di nuovi insediamenti nel quartiere di Canton Vesco e nel contiguo Canton Vigna (in quest'ultimo finanziati da Ina-Casa), situati a sud degli stabilimenti produttivi, lungo l'asse viario di via Torino. I diversi architetti che presero parte ai lavori dotarono i nuovi quartieri di tre diverse tipologie edilizie (case a schiera, in linea, a torre) e curarono la progettazione degli edifici necessari a rendere i quartieri semi-autonomi, costruendo una scuola materna ed una elementare, una chiesa e delle strutture a carattere commerciale.

Al termine degli anni '50 la Olivetti stava ancora espandendo i propri stabilimenti, sia lungo Via Jervis che nella vicina San Bernardo di Ivrea, di fatto attirando sul territorio eporediese nuove famiglie. Venne pertanto prevista la costruzione di due ulteriori insediamenti. Il primo, denominato La Sacca per via della sua depressione orografica, sorgerà tra il 1958 ed il 1962 ad ovest del sopracitato Canton Vesco; caratterizzato da edifici in linea che raggiungono anche i sette piani, darà il via alla realizzazione di altri alloggi da parte di cooperative di dipendenti. Il secondo quartiere, che verrà invece chiamato Bellavista, sarà oggetto di un approfondito studio urbanistico condotto nel 1957 da Luigi Piccinato e individuato in un'area a sud-ovest di Canton Vesco. Le costruzioni, finanziate dal pubblico, saranno caratterizzate da una bassa densità abitativa e

[81] https://www.storiaolivetti.it/articolo/95-lo-stato-sociale-olivettiano-e-la-filosofia-di-/
[82] https://www.storiaolivetti.it/articolo/12-le-case-per-i-dipendenti-e-la-politica-edilizia/

dalla presenza, come in Canton Vesco, di strutture per l'autonomia del quartiere nell'ambito dell'istruzione, del commercio e della religiosità.

Figura 2.1-13: Abitazioni del quartiere Bellavista
Fonte: https://www.storiaolivetti.it/articolo/12-le-case-per-i-dipendenti-e-la-politica-edilizia/

Un ultimo ma non meno importante canale attraverso il quale la Olivetti supportò i suoi dipendenti nella realizzazione delle loro abitazioni fu, come già accennato, la messa a disposizione dell'Ufficio Consulenza Case Dipendenti (UCCD), presieduto dall'architetto Tarpino e attivo dal 1949 sino al 1969. I servizi gratuiti di progettazione e direzione lavori condotti dall'ufficio, oltre a costituire un'agevolazione economica, garantivano ai dipendenti delle abitazioni di indiscussa qualità architettonica e funzionale, garantendo per trent'anni il diffondersi di un gusto architettonico coerente e dignitoso [83].

Sebbene sia stato uno di quelli più impattanti sul territorio, e quindi più facilmente documentabile, l'assistenza sulla questione abitativa non fu certo l'unica area di intervento del sofisticato sistema di *welfare* olivettiano.

Facendo fede ad uno degli obiettivi fondanti di Adriano, ovvero l'elevamento culturale degli operai e in generale delle classi più povere e meno istruite, l'azienda vide crescere nel tempo il suo impegno in tale ambito. Lo fece attraverso la realizzazione di una vasta biblioteca dotata di tre diverse sezioni (culturale, tecnica, divulgativo-ricreativa) e che arrivò a contare più di 70.000 volumi, l'organizzazione di mostre, convegni, dibattiti e concerti, dove i dipendenti (e spesso anche tutta la cittadinanza) avevano l'occasione di interloquire con uomini di cultura dall'assoluto spessore. Nel 1958 tutte queste attività troveranno casa nella fascia del Centro Servizi Sociali, posta di fronte alle fabbriche di via Jervis, a riprova della centralità che la cultura aveva per la Olivetti[84].

[83] https://www.storiaolivetti.it/articolo/12-le-case-per-i-dipendenti-e-la-politica-edilizia/
[84] https://www.storiaolivetti.it/articolo/11-la-biblioteca-aziendale-e-il-centro-culturale-o/

Figura 2.1-14: Centro servizi sociali, a sinistra l'edificio oggi, a destra dei lettori negli anni '60 (https://www.federicocovre.com/project/centro-dei-servizi-sociali-luigi-figini-gino-pollini - https://www.storiaolivetti.it/articolo/11-la-biblioteca-aziendale-e-il-centro-culturale-o/)

Non minore è l'attenzione che la dirigenza volge nei confronti delle donne lavoratrici, offrendo loro un importante supporto durante tutte le fasi della gravidanza, sia economico che consultivo. In anticipo sui tempi rispetto al servizio pubblico, venne assicurato il diritto ad una retribuzione dell'80% dello stipendio per nove mesi e mezzo e l'apertura di un consultorio prenatale. Una volta nato il bambino poi questo godeva di una copertura sanitaria erogata da un ambulatorio pediatrico, mentre poteva crescere e svilupparsi negli asili nido e nelle scuole elementari realizzate dall'azienda, progettate seguendo le più recenti teorie in campo pedagogico e dotate di personale altamente qualificato. La copertura sanitaria di base era gratuita e garantita per i dipendenti e le loro famiglie già dagli anni '30, quando vennero istituiti i Servizi Sanitari di fabbrica e venne estesa nel 1960 per coprire un gran numero di prestazioni ambulatoriali laddove il servizio pubblico fosse carente attraverso dei Fondi di Solidarietà Interna, dove l'azienda contribuiva per ¾ e il lavoratore per la restante parte [85].

A completare il panorama di servizi sociali messi a supporto degli operai vi sono il servizio di trasporto dipendenti e la mensa aziendale. Il servizio di trasporto nacque negli anni '30 per migliorare il collegamento tra il luogo di lavoro e le abitazioni di alcuni operai i quali, abitando fuori dall'area urbanizzata di Ivrea e in assenza di un servizio pubblico, si ritrovavano a compiere lunghi tragitti con grande difficoltà. All'apice del suo utilizzo erano ben cinquecento i dipendenti che, a fronte di un contenuto contributo economico, godevano della copertura territoriale offerta dai pullman della Olivetti, un'offerta che si estese anche ai loro figli attraverso un apposito servizio di scuolabus. Per quanto concerne invece il servizio di mensa aziendale, questo venne inizialmente attivato nel 1936, arrivando ad occupare con il suo innovativo sistema *self-service* il piano sotterraneo di un'intera ala della fabbrica al fine agevolare quei lavoratori che non potevano pranzare a casa per via delle distanze. Il rapido incremento dei dipendenti rese necessaria la progettazione di una struttura appositamente adibita alla ristorazione ma che fosse al contempo un luogo dove poter risollevarsi dal lavoro. L'edificio disegnato da Ignazio Gardella e realizzato nel 1961 sul retro delle fabbriche ICO tiene conto di tali necessità, offrendo ampie viste sul verde della collina che l'edificio stesso sembra abbracciare, e ricavando al suo interno spazi per la convivialità così come per l'accrescimento culturale, mettendo a disposizione delle postazioni per la lettura [86].

[85] https://www.storiaolivetti.it/articolo/98-i-servizi-sociali-per-linfanzia/;https://www.storiaolivetti.it/articolo/8-i servizi-sanitari-aziendali/

[86] https://www.storiaolivetti.it/articolo/9-i-servizi-di-mensa-e-trasporto/

Figura 2.1-15: La mensa per dipendenti, progettata da Ignazio Gardella, immagine del 2017 (https://censimentoarchitetturecontemporanee.cultura.gov.it/scheda-opera?id=2896)

L'ampia offerta di servizi sociali che la Olivetti ha introdotto per la cura e la tutela dei propri lavoratori, delle loro famiglie e anche della cittadinanza di Ivrea, sono l'espressione di quel rapporto mutuale che, secondo Adriano Olivetti, deve intercorrere tra la fabbrica e il territorio entro cui questa si inserisce. Poiché non «deve sfuggire un solo istante che non è possibile creare un'isola di civiltà più elevata e trovarsi [a noi] tutt'intorno e ignoranza e miseria e disoccupazione.»[87]

2.1.5 Quale Architettura per la «Comunità»?

Il processo di concreta attuazione degli ideali comunitari ha sempre sottinteso, per Adriano, lo sviluppo del territorio mediante l'attuazione di piani urbanistici, dalla scala comunale a quella regionale. A testimonianza del ruolo centrale che la pianificazione urbanistica ha avuto durante tutta la sua attività di promozione e sviluppo del territorio vi sono i numerosi studi che egli finanziò – e talvolta coordinò – nell'area del canavese.

Già nel 1934, a due anni dalla sua investitura a direttore generale, affida a Figini e Pollini lo studio per un *Piano di un nuovo quartiere ad Ivrea*. La soluzione dei candidi blocchi parallelepipedi ordinati da misure a rapporti armonici di scuola razionalista verrà successivamente ripresa da un altro studio: quello per il *Piano Regolatore di Ivrea* del 1938[88]. Adriano offrì al Comune la copertura delle spese di progettazione e propose di affidare l'incarico a Luigi Piccinato, Luigi Figini ed Egisippo Devoti. Gli architetti che definirono le strategie per la riqualificazione della città storica, la localizzazione di nuovi complessi pubblici e residenziali così come il tracciato della nuova viabilità, non operarono tuttavia su un terreno sconosciuto. Risaliva infatti all'anno precedente il piano regolatore per la Valle d'Aosta, sempre coordinato da Adriano, regione all'epoca comprendente il canavese. Il piano si contraddistinse per un'ampia analisi preliminare condotta mediante la raccolta di numerose informazioni ed il coinvolgimento di diversi esperti, e comprendeva delle tavole di progetti architettonici per la città di Aosta e, non a caso, per quella di Ivrea. Fu forse anche a causa dell'adesione alle più recenti teorie dell'urbanistica razionalista e lo sviluppo di soluzioni dalle geometrie rigorose, se sia il piano a scala regionale che quello a scala comunale si arenarono di fronte alle reticenze dei poteri locali e centrali, complici anche le incertezze portate dalla Seconda Guerra Mondiale [89].

[87] OLIVETTI 2015, 104.
[88] CONTE 2016.
[89] OLMO 2001.

Al termine del conflitto Adriano tentò nuovamente di dotare il comune di Ivrea di un Piano Regolatore, sostenendone le spese di redazione e mettendo assieme un gruppo di architetti che prenderà il nome di Gruppo Tecnico per il Coordinamento Urbanistico del Canavese, costituito dagli architetti Nello Renacco, Ludovico Quaroni, Annibale Fiocchi, ed Enrico Ranieri. Ottenuto il via libera da parte delle autorità, il gruppo impostò il metodo per le indagini preliminari sulla falsa riga di quanto già fatto per il piano della Valle d'Aosta, aprendo tuttavia i confini degli studi ad altri ambiti di ricerca, come quello delle scienze sociali. Il piano si sviluppò ancora una volta su due scale differenti, una comunale ed una intercomunale, arrivando ad ipotizzare un'espansione a *cluster* degli insediamenti abitativi, i quali avrebbero seguito l'andamento di una espansione industriale estensiva e discontinua, raccordati tra di loro e con la città storica da una nuova rete di viabilità. Superati alcuni attriti interni, nel 1955 il Piano viene presentato alla giunta comunale, andando tuttavia incontro ad una netta bocciatura sostenuta da alcuni influenti gruppi di interesse. Dopo numerose modifiche e quattro anni di ulteriore compromissione del territorio, verrà finalmente adottato nel 1959.

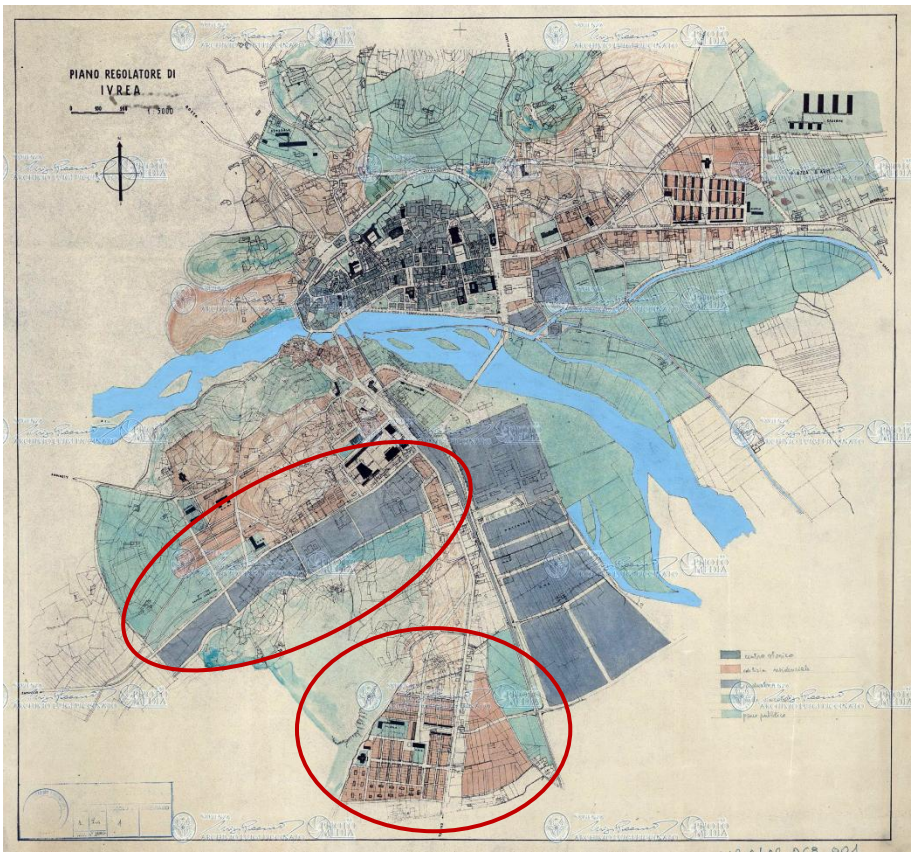


Figura 2.1-16: Prima versione del piano regolatore di Ivrea del 1938, sono già chiare le direttrici di espansione lungo via Jervis e i nuovi quartieri residenziali in località Canton Vesco

Sebbene furono molte le difficoltà che Olivetti incontrò nel far adottare tali strumenti di pianificazione, la libera iniziativa che l'azienda portò avanti nel progettare e far realizzare edilizia per l'abitare, per la didattica, per i servizi sociali e commerciali, impiegando numerosi e affermati architetti, le consentì di compensare tali resistenze, anticipando e di fatto condizionando molti di quelli che saranno gli esiti del Piano Regolatore di Ivrea del 1959.

Se si passa invece ad osservare i caratteri formali e compositivi delle architetture che Adriano commissionò nell'arco di oltre venticinque anni, è difficile, se non impossibile, riconoscere un linguaggio architettonico che espliciti da solo le sue teorie ed ambizioni per la Comunità. Il grande numero di progettisti, differenti per formazione e provenienza, che egli chiamò a lavorare sulle architetture comunitarie mette piuttosto in

evidenza quali fossero le sue priorità: funzionalità e qualità del lavoro all'interno della fabbrica, la quale doveva relazionarsi e impattare positivamente sul territorio circostante. Il come rispettare tali obiettivi sarà quindi, per Adriano, una tematica avulsa da soluzioni e ideologie precostituite, pur rimanendo possibile individuare due fasi principali della sua architettura, inevitabilmente influenzata dalle dinamiche nazionali ed internazionali.

Durante il primo periodo della sua presidenza a capo della Olivetti, Adriano vide nelle geometrie elementari e nelle grandi vetrate del razionalismo la possibile risposta all'esigenza di un'architettura trasparente, che si facesse veicolo di un pensiero illuminista fondato sul progresso della condizione umana. Fu così che commissionò le principali opere degli anni '30 -'40 a Luigi Figini e Gino Pollini i quali, sebbene avessero poca esperienza in ambito industriale, abbracciavano tale scuola di pensiero. La collaborazione, che fu duratura e prolifica, offrì loro la rara occasione di applicare ed affinare le teorie del razionalismo nei tre ampliamenti della fabbrica che si susseguirono lungo Via Jervis. Poterono esaltare i pregi formali e funzionali del *pan de verre*, che oltre ad essere espressione del grande progresso tecnologico dell'epoca si faceva liberatore dell'operaio, illuminandolo e riavvicinandolo al territorio durante le ore di duro lavoro. Tuttavia, Figini e Pollini, in collaborazione con l'architetto Annibale Fiocchi, iniziarono loro stessi un processo di superamento delle soluzioni Bauhahusiane fino ad allora adottate nell'ultimo intervento per il terzo ampliamento delle ICO avvenuto nel 1949, implementando sul lato sud della fabbrica dei *brise soleil* che nella loro plasticità rimandavano alle opere di Le Corbusier.

Figura 2.1-17: Il terzo ampliamento delle ICO, dove il "pan de verre" raggiunge la sua massima espressione tecnico-formale (https://atlantearchitetturacontemporanea.cultura.gov.it/)

Figura 2.1-18: Lato sud del terzo ampliamento delle ICO, dove il "brise soleil" assume un ruolo centrale nel linguaggio architettonico della facciata e nel suo funzionamento tecnico, progetto di Luigi Figini Gino Pollini e Annibale Fiocchi, 1949 (https://atlantearchitetturacontemporanea.cultura.gov.it/)

Gli anni del dopoguerra saranno infatti segnati da una profonda riflessione sui successi ma soprattutto sui fallimenti dell'architettura razionalista e del suo rigore funzionalista, iniziando a prendere spazio nella ricerca architettonica una mutata sensibilità sulle tematiche sociali e psicologiche, oltre che il rifiuto di dogmi e ideologie. La «olivettiana repubblica dell'intelletto»[90] sarà effettivamente in grado di rinnovarsi e aprirsi a nuove sperimentazioni grazie all'innesto di nuove menti progettanti, accomunate non dai mezzi ma dalle finalità: la definizione di nuovi spazi che potessero curare tanto il benessere dei suoi utenti quanto il rapporto con l'esterno.

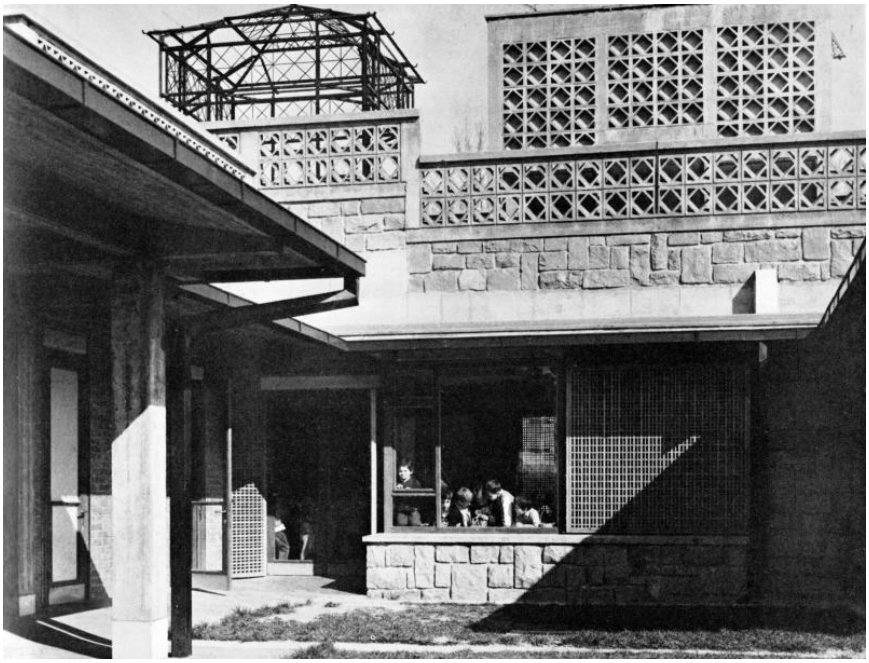


Figura 2.1-19: L'asilo di Canton Vesco, progetto di Mario Ridolfi e Wolfgang Frankl, 1954 – 1963 (https://www.storiaolivetti.it/)

Il primo vero edificio di rottura col passato fu il Centro Studi ed Esperienze Olivetti, realizzato nel 1955 dall'architetto partenopeo Eduardo Vittoria, il quale introdurrà tre elementi che diventeranno poi ricorrenti nelle architetture olivettiane del dopoguerra: l'elemento decorativo, la composizione spaziale di ispirazione wrightiana e la ricerca sul modulo. Nel giro di pochissimi anni numerosi architetti si susseguirono nella progettazione delle architetture industriali, residenziali e sociali: Vittoria e Zanuso applicavano efficacemente la sperimentazione modulare per una nuova fabbrica più flessibile, Gardella pensava una nuova mensa in stretto contatto con il paesaggio, Quaroni e Ridolfi si occupavano con differenti soluzioni delle scuole in Canton Vesco, mentre la celebre coppia Figini e Pollini abbandonava efficacemente la rigidità del reticolo ortogonale nella definizione dei servizi sociali lungo Via Jervis[91].

[90] OLMO 2001

[91] https://censimentoarchitetturecontemporanee.cultura.gov.it/ricercaopere?denominazione=&autore=&regione=Piemonte&provincia=Torino&comune=Ivrea&inizio-progetto=&fine-esecuzione=

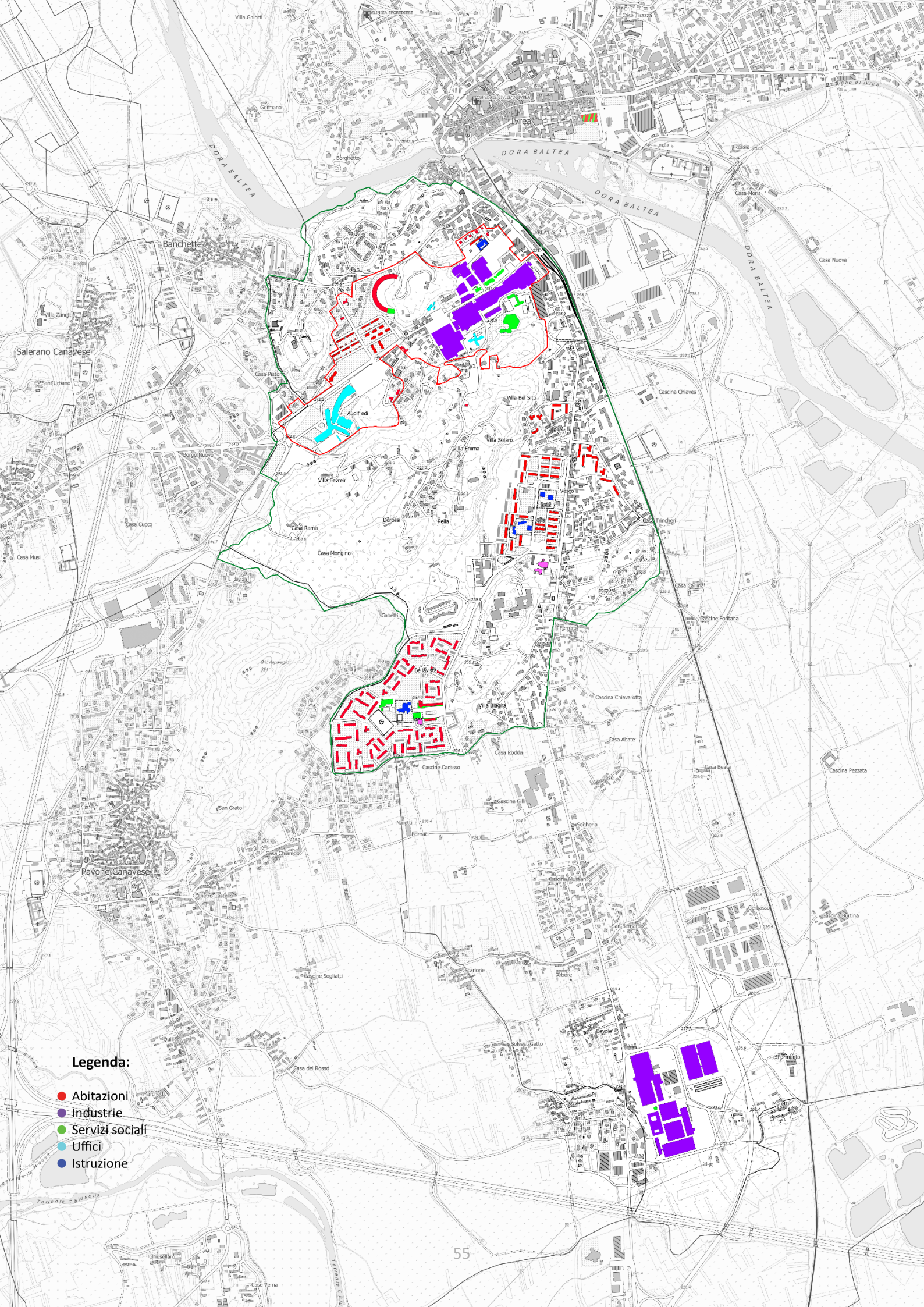
Figura 2.1-20: Centro servizi sociali Olivetti, progetto di Luigi Figini e Gino Pollini, 1955 – 1959 (https://www.federicocovre.com/project/centro-dei-servizi-sociali-luigi-figini-gino-pollini)

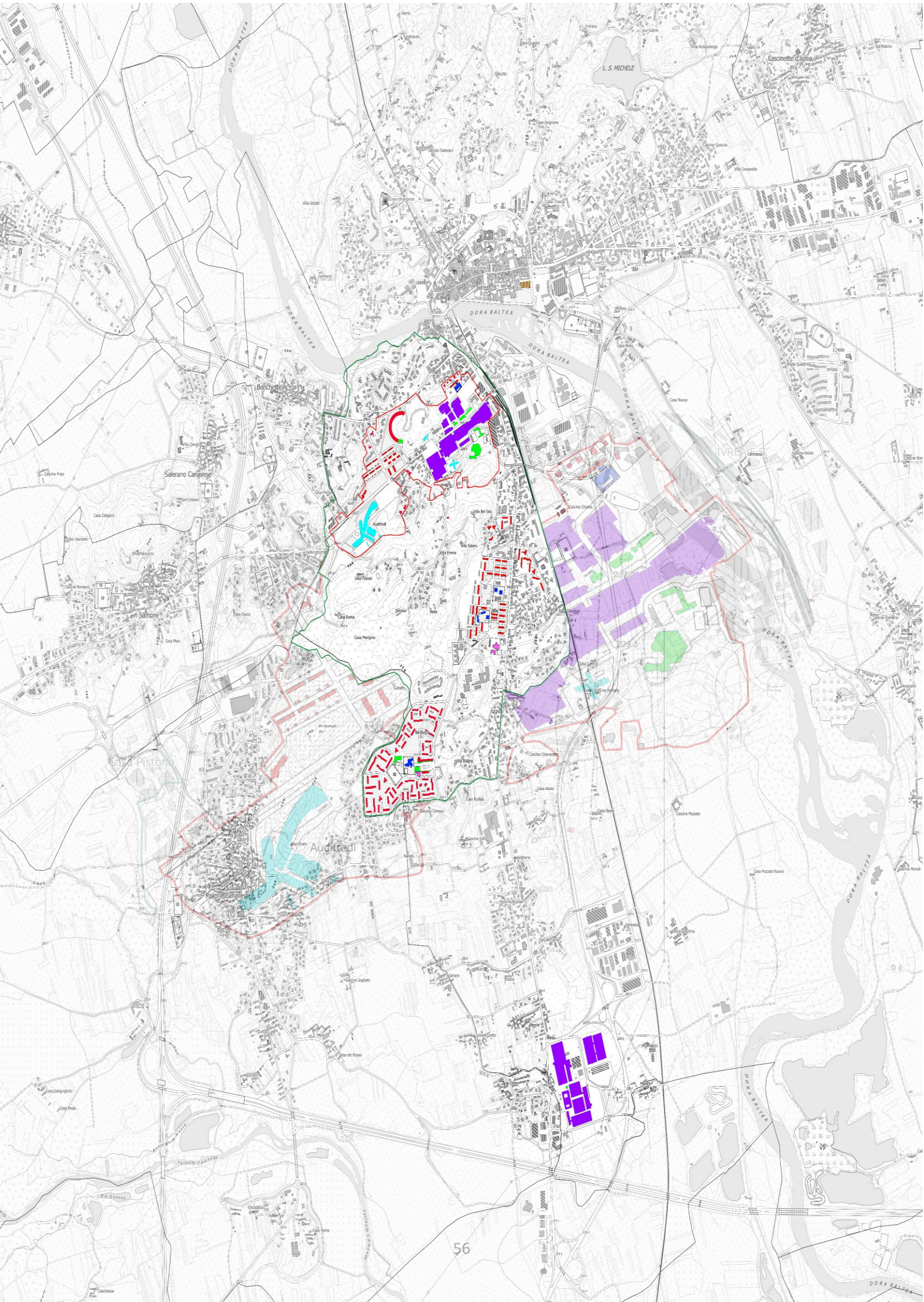
Il grande fervore intellettuale degli anni ’50 vide, tuttavia, nei due decenni successivi il ridursi dei suoi slanci creativi, a causa della prematura scomparsa del suo principale promotore, avvenuta nel 1960. Dopo questa data, infatti, gli interventi sul territorio eporediese diminuirono e spesso si limitarono all’attuazione di progetti nati ancora sotto la presidenza di Adriano, come la realizzazione del Palazzo Uffici (Bernasconi, Fiocchi, Nizzoli) e gli ampliamenti del comprensorio di San Bernardo di Ivrea, avvenuti all’inizio degli anni ‘60. Gli ultimi interventi di grande rilievo architettonico e che sono diventati nel tempo dei simboli del complesso olivettiano riguardarono un progetto per residenze temporanee, ovvero la celebre Unità Residenziale Ovest di Gabetti ed Isola del 1971 anche conosciuta come Talponia, così come il tentativo di rinnovare i servizi della città storica attraverso la costruzione del Centro di Servizi Sociali e Residenziali, una costruzione di Cappai e Mainardis che sembra richiamare le forme di una macchina da scrivere e che fu ultimata nel 1975.

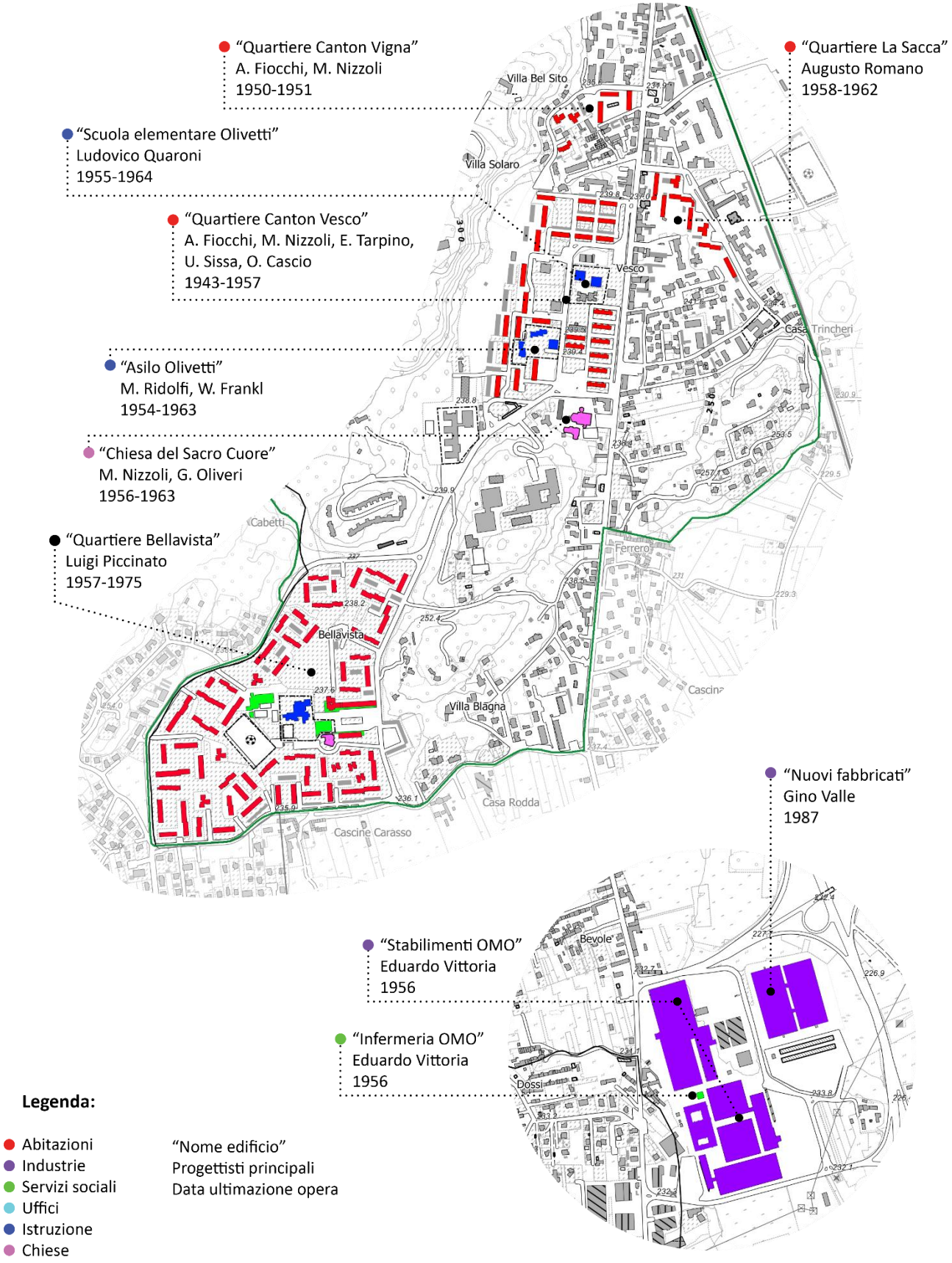
Oggi, gli edifici che hanno trasformato per oltre settant’anni l’assetto produttivo, sociale e territoriale di Ivrea, sono Patrimonio dell’Umanità[92].

Figura 2.1-21: Unità residenziale Ovest, progetto di Roberto Gabetti e Aimaro Isola, 1968 – 1971 (https://censimentoarchitetturecontemporanee.cultura.gov.it/scheda-opera?id=4562)

[92] https://www.unesco.it/it/unesco-vicino-a-te/siti-patrimonio-mondiale/ivrea-citta-industriale-del-xx-secolo/


Legenda:
Abitazioni
Industrie
Servizi sociali
Uffici
Istruzione
Ivrea
DORA BALTEA
Banchette
Salerano Canavese
Pavone Canavese
Audifredi
Villa Bel Sito
Villa Solaro
Villa Emma
Villa Fevrer
Casa Rama
Casa Mongino
Bella
Cabetti
Bellavista
Villa Biagna
Cascine Carasso
Casa Rodda
Cascina Chiavarotta
Casa Abate
Casa Beata
Cascina Pezzata
Cascine Gilli
Cascine Fontana
Cascina Frincheri
Cascina Chiaves
Casa Nuova
Casa Moris
Cascine Sogliatti
Torrente Chiusella


DORA BALTEA
Cascinette d'Ivrea
L. S. MICHELE
Banchette
Salerano Canavese
Samone
Lago Pistono
Auditodi
Pavone Canavese
Ivrea


"Quartiere Canton Vigna"
A. Fiocchi, M. Nizzoli
1950-1951
"Quartiere La Sacca"
Augusto Romano
1958-1962
"Scuola elementare Olivetti"
Ludovico Quaroni
1955-1964
"Quartiere Canton Vesco"
A. Fiocchi, M. Nizzoli, E. Tarpino,
U. Sissa, O. Cascio
1943-1957
"Asilo Olivetti"
M. Ridolfi, W. Frankl
1954-1963
"Chiesa del Sacro Cuore"
M. Nizzoli, G. Oliveri
1956-1963
"Quartiere Bellavista"
Luigi Piccinato
1957-1975
"Nuovi fabbricati"
Gino Valle
1987
"Stabilimenti OMO"
Eduardo Vittoria
1956
"Infermeria OMO"
Eduardo Vittoria
1956
Villa Bel Sito
Villa Solaro
Vesco
Casa Trincheri
Cabetti
Ferrero
Bellavista
Villa Blagna
Casa Rodda
Cascine Carasso
Bevole'
Dossi
Legenda:
Abitazioni
Industrie
Servizi sociali
Uffici
Istruzione
Chiese
"Nome edificio"
Progettisti principali
Data ultimazione opera

2.2 Dopo la Olivetti

2.2.1 La dismissione del patrimonio costruito

Il patrimonio costruito della città moderna Olivettiana, fatta eccezione per le abitazioni ed alcuni edifici di servizio alla comunità, in seguito al declino economico dell'azienda, andò incontro ad una dismissione generalizzata. Sebbene questo venne successivamente acquisito nel 2003 dalla Società di investimenti immobiliare PIRELLI RE, l'operazione di reimpiego degli ampi spazi delle Officine Olivetti e dei suoi edifici di servizio apparve fin da subito molto complessa, sia a causa della frammentazione delle proprietà degli immobili, sia per la saturazione del mercato di immobili per il terziario avvenuta in seguito alla costruzione di alcuni capannoni industriali e alla riqualificazione dell'area Ex-Montefibre, proprio in coincidenza con la chiusura della Olivetti. Oltre, quindi, al rischio di andare incontro a importanti manomissioni delle forme architettoniche per adeguamenti a funzioni improprie, era anche concreto il rischio che un sistema di immobili non remunerativi cadesse in uno stato di progressivo abbandono e deterioramento.

Spinte da un profondo legame storico, culturale ed affettivo che li legava a quegli edifici, la cittadinanza e il governo locale si adoperarono fin da subito in operazioni di tutela, comunicazione e promozione del loro patrimonio industriale.

2.2.2 Le prime iniziative di valorizzazione e tutela

Nel 1998 parte così il progetto pilota denominato *Officine Culturali ICO*, studiato per promuovere l'insediamento di attività produttive sul solco dell'innovazione condotta nel tempo dalla Olivetti, in un modello di impresa che coinvolgesse anche i peculiari aspetti sociali, culturali ed architettonici di quegli spazi. Il progetto avrà il merito di catalizzare l'insediamento di un corso di studi dell'Università di Torino all'interno delle Fabbriche ICO, della riapertura delle Officine H come spazi espositivi – congressuali, aprirà un dibattito scientifico tessendo relazioni con importanti istituti internazionali e farà partire gli studi per il censimento degli edifici olivettiani ed il dibattito sulle azioni normative da intraprendere per la loro tutela. Queste ultime attività costituiranno, infine, le basi per la realizzazione del MaAM: il Museo a cielo aperto dell'Architettura Moderna di Ivrea.

Inaugurato nel 2001 ed entrato subito a far parte della rete degli Ecomusei della Provincia di Torino, esso si sostanzia come un percorso tra le architetture olivettiane più significative, dove dei pannelli situati in postazioni strategiche guidano il visitatore lungo i suoi 2.3 Km di estensione, attraverso una scoperta autonoma dei caratteri architettonici, economici e culturali della storia olivettiana.

Il MaAM non nasce tuttavia solo sotto forma di museo, ma anche e soprattutto come laboratorio sperimentale per un nuovo approccio alla conservazione, restauro e specialmente riconversione del patrimonio industriale del XX secolo. Esso si è posto nel contesto culturale e normativo dell'Italia dei primi anni 2000 come avanguardia nel tentativo di offrire un approccio unitario, coerente e rispettoso dei caratteri originali del patrimonio costruito in un contesto dove l'idea di preservare l'integrità dell'edificio è comunemente accettata prevalentemente per il patrimonio preindustriale.

Le strategie chiave impiegate da questo *urban center* sono state tre: conoscere, conservare, divulgare e promuovere. Prima della sua instaurazione, la **conoscenza** del patrimonio costruito olivettiano era infatti scarsa e non era mai stata realizzata una esaustiva ricognizione degli edifici, rendendo impossibile sul nascere qualsiasi strategia di intervento. La seconda strategia, quella della **conservazione**, si è attuata nella definizione di norme apposite per gli edifici MaAM ed inserite nel PRG2000 che definissero le linee guida sul restauro e sul recupero/riuso, trovando concreta applicazione e riscontri positivi almeno due casi. Infine, la **divulgazione** e **promozione**, attuata proprio attraverso l'infrastruttura del museo a cielo aperto

precedentemente esposta, oltre che i convegni e seminari sulle tematiche affini alla Olivetti in luoghi simbolo come il Salone dei 2000 e le Officine H[93].

Nel gennaio 2013 è stato inoltre costituito l'Osservatorio MaAM Ivrea, con l'obiettivo di monitorare e coordinare gli interventi edilizi sul patrimonio, diffondendo indirizzi metodologici condivisi al fine ridurre il rischio di trasformazioni e riusi impropri, concreta possibilità anche a causa dell'alta frammentazione della proprietà[94].

Figura 2.2-1. Sulla sinistra lo schema del MaAM, sulla destra esempi di stazioni informative, disseminate lungo il tragitto (https://www.mamivrea.it/museo/visita.php)

[93] BONIFAZIO, GIACOPELLI 2006
[94] Dossier candidatura UNESCO

2.2.3 Il riconoscimento UNESCO

Anche grazie a queste iniziative, che ebbero il merito di attuare una diffusa riflessione sui valori rappresentati dalle architetture olivettiane, la comunità di Ivrea maturò nel tempo l'idea di candidare a Patrimonio Mondiale dell'UNESCO tale sistema di edifici. Il Comune di Ivrea, sostenuto da altri enti come la Fondazione Adriano Olivetti, la Fondazione Guelpa e diversi altri di natura pubblica, ottenne nel 2016 l'inserimento di *Ivrea, Città Industriale del XX secolo* nella *tentative list* italiana.

A due anni di distanza, nel 2018, il quarantaduesimo comitato del Patrimonio Mondiale ha iscritto la città industriale di Ivrea nella lista del Patrimonio Mondiale, in quanto eccezionale esempio di un insieme architettonico che illustra una fase significativa della storia umana (criterio IV)[95]. Tra le motivazioni del comitato vi è il riconoscimento di un'eccezionale qualità architettonica delle opere progettate dai designer e architetti modernisti italiani, le quali costituiscono un eccezionale esempio degli sviluppi del XX secolo nella progettazione della produzione, oltre che un riuscito tentativo di integrazione tra questa e le nuove istanze sociali dell'epoca.

L'area individuata per la candidatura, denominata *nominated property,* coincide sostanzialmente con le architetture che si sono sviluppate lungo l'asse stradale di Via Jervis, considerando il rilievo che questo ha avuto nello sviluppo urbanistico della Olivetti, la ravvicinata presenza di ventisette edifici e complessi architettonici comprendenti differenti destinazioni d'uso e le opere più rappresentative, come le Fabbriche ICO. Intorno ai 70.000 ettari della *nominated property* è stato tracciato l'ampio perimetro della *buffer zone*, uno "spazio cuscinetto" a completamento e salvaguardia dell'area UNESCO, il quale comprende anche gli insediamenti abitativi di Canton Vesco e Bellavista.

Quello UNESCO è uno dei riconoscimenti culturali più importanti al mondo e, oltre a favorire la divulgazione e conoscenza della storia olivettiana, rafforza e legittima gli strumenti normativi messi in atto a salvaguardia delle sue architetture.

Figura 2.2-2: L'area della Nominated Property (in rosso) e quella della Buffer zone (in verde)

[95] https://www.unesco.it/it/unesco-vicino-a-te/siti-patrimonio-mondiale/ivrea-citta-industriale-del-xx-secolo/

2.3 La «Comunità» oggi

2.3.1 I principali attori

La fine dell'era Olivetti non ha lasciato solo un grande vuoto occupazionale ad Ivrea, è venuta a meno anche l'importante attività di promozione culturale e di istruzione che la fabbrica svolgeva, figlia del principio secondo il quale essa doveva ricompensare il territorio che la ospitava ed essere un elemento positivo per esso.

Nel tempo, tuttavia, sono andate formandosi diverse realtà che hanno come principali obiettivi quelli di conservare la memoria dell'Azienda, valorizzarne la storia, diffonderne i valori e investire sul futuro del territorio eporediese e non solo. Si approfondiscono di seguito le più importanti, oltre il già citato MaAM.

Fondazione Adriano Olivetti [96]

La Fondazione nasce a due anni dalla morte di Adriano, nel 1962, e si pone come finalità quella di proseguirne l'opera di studio e di sperimentazione negli aspetti della teoria e della pratica. Inizialmente situata esclusivamente a Roma, aprirà una nuova sede a Ivrea nel 2007, in prospettiva della candidatura della città olivettiana a Patrimonio dell'Umanità. Ad oggi finanzia e realizza direttamente studi, seminari, convegni e conferenze nelle aree di: (I) Istituzioni e società; (II) Economia e società; (III) Comunità e società; (IV) Arte, architettura e urbanistica. Ha attivamente preso parte al tavolo di lavoro per la candidatura UNESCO e dal 2012 collabora con le nuove Edizioni di Comunità.

Fondazione Natale Capellaro e Laboratorio - Museo Tecnologic@mente [97]

La Fondazione nasce dalla volontà di far vivere l'esempio di una delle figure chiave della Olivetti, quella di Natale Capellaro, un semplice operaio che grazie alla sua tenacia ed ingegno progettò alcune tra le più avanzate macchine da calcolo, arrivando a ricoprire incarichi dirigenziali al termine della carriera. Nel 2005 viene inaugurato il Laboratorio – Museo Tecnologic@mente, dove al percorso espositivo sulle macchine Olivetti viene affiancata una didattica di tipo *learning by doing* rivolta a bambini e ragazzi, con lo scopo di sviluppare in loro la cultura tecnico-scientifica e creativa ereditata dall'esperienza olivettiana. Ad oggi risulta essere uno degli enti promotori più importanti per il sito della Città Industriale del XX secolo, considerando le oltre 10.000 presenze tra visite al museo e partecipanti ai laboratori registrate nel 2024.

Associazione Archivio Storico Olivetti (AASO) [98]

Già nato nel 1986 dall'iniziativa della Olivetti e della Fondazione Adriano Olivetti, l'Archivio diventa Associazione e quindi soggetto indipendente nel 1998. Esso custodisce i principali fondi e depositi legati alla vicenda olivettiana: quelli della Società, della famiglia Olivetti ed i lasciti di ex-dipendenti. Il suo vasto patrimonio documentale, oggetto di un costante lavoro di schedatura elettronica e digitalizzazione, è costituito non solo da libri, riviste, giornali, manifesti, fotografie e film, ma anche dai disegni tecnici e dai plastici degli edifici realizzati dall'azienda in tutto il globo. Oltre, quindi, all'attività di supporto a ricercatori e professionisti, l'Associazione si è impegnata nella promozione di diverse iniziative culturali a tema Olivetti, su tutte la realizzazione di un ciclo di sei mostre presso il Museo Civico Garda per riportare al pubblico le opere d'arte commissionate dalla Società e oggi di proprietà di TIM.

[96] https://www.fondazioneadrianolivetti.it/la-fondazione/cosa-facciamo/;FICHERA 2008; Dossier Candidatura UNESCO
[97] http://www.museotecnologicamente.it/ ; Dossier Candidatura UNESCO
[98] https://www.archiviostoricolivetti.it/associazione/storia-scopi-attivita/; https://www.museogardaivrea.it/lacollezione-olivetti

Associazione Spille d'Oro Olivetti [99]

Costituitasi nel 1946 dall'iniziativa di un gruppo di dipendenti, l'Associazione venne strutturata e finanziata dall'azienda per favorire occasioni ricreative, di solidarietà e scambio culturale tra i dipendenti. Sebbene la chiusura dell'azienda abbia portato, nel tempo, alla fisiologica riduzione dei suoi associati, l'Associazione è ad oggi la testimonianza umana più diretta dell'epoca olivettiana ed ha saputo reagire e rinnovare le proprie finalità a seguito di essa. Tra le iniziative più rilevanti nell'ambito della promozione dei valori olivettiani troviamo, oltre all'istituzione del *Premio Camillo e Adriano Olivetti all'Impresa Innovativa e Responsabile*, la realizzazione di dibattiti sulle tematiche di innovazione, diritti e comunità negli istituiti e licei della città di Ivrea.

Progetto ICONA e C.NEXT[100]

Nella tutela e valorizzazione dei beni materiali e immateriali della Città Industriale troviamo non solo enti a carattere culturale, ma anche una coalizione di imprese locali nata nel 2018 sotto il nome di *Progetto ICONA*. Lo scopo del progetto è quello di creare un ambiente di innovazione e collaborazione dove imprese locali e non possano crescere in sinergia le une con le altre. La rilevanza del progetto, a cui hanno aderito già venti imprese, è data soprattutto dal luogo scelto per il loro insediamento: la Fabbrica di Mattoni Rossi, primo nucleo delle Officine ICO. Nel 2022 coopera per la nascita di C.NEXT, un *hub* di innovazione che punta a mettere a sistema le competenze di imprese locali diverse per farle scalare. Al centro del progetto rimane il recupero delle Officine ICO.

Archivio Nazionale Cinema d'Impresa[101]

Inaugurato nel 2006 anche grazie al supporto del Comune di Ivrea e Telecom Italia S.p.A., custodisce e conserva circa 82.000 rulli di film realizzati da importanti imprese del secolo scorso, tra le quali vi è naturalmente anche la Olivetti. Impegnata anche nella diffusione di questa nobile forma di cinema, trova la sua sede nell'ex Asilo Olivetti del quartiere operaio di Canton Vesco.

2.3.2 Le interviste

Dalla volontà di fondare una proposta progettuale che fosse basata sul contesto sociologico della Ivrea post-olivettiana nasce l'idea di intervistare alcune delle realtà precedentemente individuate, per capirne la missione, gli intenti per il futuro e – punto centrale – la loro dotazione infrastrutturale.

Nell'estate del 2024 è stato quindi aperto un confronto con l'Associazione Spille d'Oro Olivetti tramite Franco Ferlito (socio), con l'Associazione Archivio Storico Olivetti grazie alla disponibilità del suo presidente Enrico Bandiera e con la Fondazione Natale Capellaro, dove ho avuto la possibilità di interloquire con il presidente Andrea Tendola.

Le domande fatte a queste realtà hanno avuto la finalità di indagarne la natura dell'istituzione, i suoi progetti attivi, il pubblico al quale si rivolge, che impatto ha avuto la nomina UNESCO sulla loro attività, quali sono le loro prospettive di sviluppo, quali dotazioni in termini di spazi fisici sono per loro necessari oggi e in prospettiva futura.

[99] https://spilledorolivetti.it/chi-siamo
[100] https://www.icona.srl/ ; PREVIATI 2024; MOLTENI 2024; https://ivrea.cnexthub.com/chi-siamo/
[101] https://www.fondazionecsc.it/archivio-nazionale-cinema-impresa/

	Associazione Spille d'Oro Olivetti	Associazione Archivio Storico Olivetti	Fondazione Natale Capellaro
Obiettivi	Conservare, testimoniare e trasmettere alle nuove generazioni la cultura industriale e sociale Olivetti. Promuovere attività ricreative, culturali e di solidarietà, sia verso i suoi associati che verso l'esterno.	Conservare e rendere disponibili alla divulgazione i fondi archivistici dell'Azienda, della famiglia Olivetti, dei documenti donati da ex-dipendenti.	Promozione della conoscenza del genio innovatore di Natale Capellaro, dei valori olivettiani e più in generale della cultura tecnico scientifica.
Attività principali	Premiazione delle imprese responsabili del canavese attraverso il premio a cadenza biennale *Premio Camillo e Adriano Olivetti*. Laboratori didattici con gli studenti dei licei di Ivrea sulle tematiche olivettiane: • rapporto uomo-territorio-fabbrica • formazione-crescita culturale-senso di comunità	Conservazione e divulgazione dei fondi archivistici in possesso, con assistenza ai ricercatori Schedatura elettronica del patrimonio archivistico e digitalizzazione dei microfilm raffiguranti i disegni tecnici delle architetture Olivetti di tutto il mondo. Assistenza a ricercatori (2 per settimana). Pubblicazioni e divulgazione sociali.	Esposizione delle macchine Olivetti con organizzazione di visite guidate. Realizzazione di laboratori tecnologici e creativi per ragazzi e studenti, dalle elementari alle superiori. Servizio/Laboratorio di riparazione macchine Olivetti. Organizzazione di conferenze sulle tematiche olivettiane.
Effetti nomina UNESCO	Il riconoscimento UNESCO non ha avuto particolari impatti per l'Associazione, probabilmente perché il pubblico al quale si rivolgono è già di base informato e formato sulle vicende olivettiane.	L'interesse e le attività attorno all'Archivio sono decisamente aumentate, sia lato ricercatori sia lato professionisti. Il riconoscimento UNESCO, infatti, ha aumentato l'interesse attorno al patrimonio edilizio, rendendo fondamentali i disegni tecnici originali per i progetti di recupero.	In corrispondenza con la candidatura e nomina UNESCO il Museo ha visto crescere costantemente (a parte durante il periodo Covid) i propri visitatori, raggiungendo la cifra record di 10.000 presenze durante il 2024.
Quali spazi necessari?	Emerge la necessità di avere uno spazio attrezzato dove poter tenere le attività di *Laboratorio del pensiero*, che sia attrattivo e stimolante per i ragazzi.	Il patrimonio documentale e di macchine Olivetti conservate dall'Archivio è distribuito su più sedi (anche a Novara), alcune delle quali non presentano i requisiti ideali per la conservazione dei materiali. Sarebbe auspicabile dunque realizzare un unico archivio di tutti i fondi Olivetti, possibilmente a Ivrea, in grado di ospitare i 7800 metri lineari di documentazione storica e tecnica, le oltre 1000 macchine Olivetti e i disegni originali delle architetture olivettiane, plastici compresi.	Il laboratorio/museo Tecnologic@mente ha bisogno di aumentare i propri spazi laboratoriali, visto l'incremento di interesse da parte delle scuole eporediesi per le attività da esso proposte. Il presidente invita a immaginare questi spazi proprio all'interno della Centrale Termica Olivetti. Sebbene l'attuale esposizione di opere e prodotti Olivetti non sia carente dal punto di vista della collezione, essa presenta ampi margini di miglioramento dal punto di vista dotazione espositiva.
A chi si rivolge?	Studenti dei licei di Ivrea, con un potenziale allargamento a quelli delle medie se dovesse nascere una collaborazione con il laboratorio /museo Tecnologic@mente.	Studenti della scuola superiore di secondo grado, ricercatori, turisti.	Studenti delle scuole di ogni ordine e grado, ricercatori, turisti.
Note e Osservazioni	Si auspica la creazione di un museo sull'Azienda. Si suggerisce la collaborazione con la Fondazione Natale Capellaro per allargare la platea di studenti.	Parere positivo circa la realizzazione di un nuovo Museo Olivetti, in collaborazione con Tecnologic@mente, il quale dovrà essere straordinariamente bello e che potrà contare anche sulla collezione di macchine conservata dall'Archivio.	Il Presidente ha espresso la volontà dell'Associazione di espandersi proprio dentro la Centrale Termica, mirando ai laboratori e sostenendo che il museo ha già trovato una sua collocazione e che deve essere solo migliorato. Dalla mia visita appare invece urgente garantire uno spazio più ampio, attrezzato e "scenico" alla parte espositiva, vera attrazione per turisti e residenti.

3 Analisi del Sito

3.1 Individuazione geografica

La Centrale Termica Olivetti fa parte del diffuso sistema di edifici industriali, direzionali, residenziali e relativi servizi realizzato dall'Azienda Olivetti nel corso della sua decennale attività. Sita a Ivrea in Via Giuseppe di Vittorio, essa si pone baricentrica all'interno del quartiere olivettiano sviluppatosi lungo Via Jervis, oggi *core zone* UNESCO.

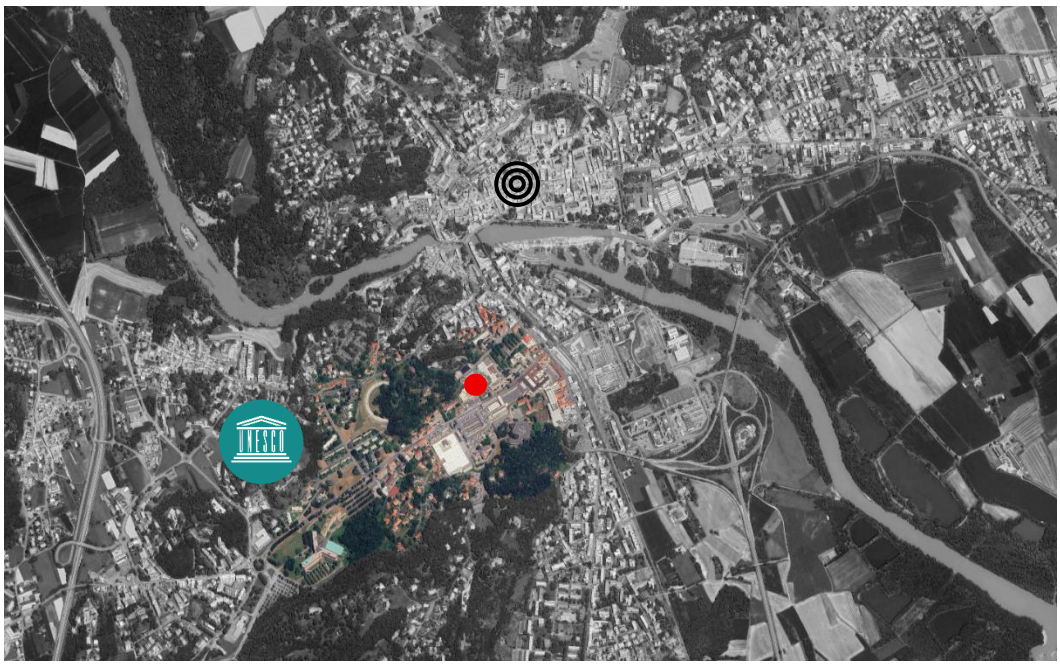


Figura 3.1-2: ortofoto Città di Ivrea con individuazione area UNESCO

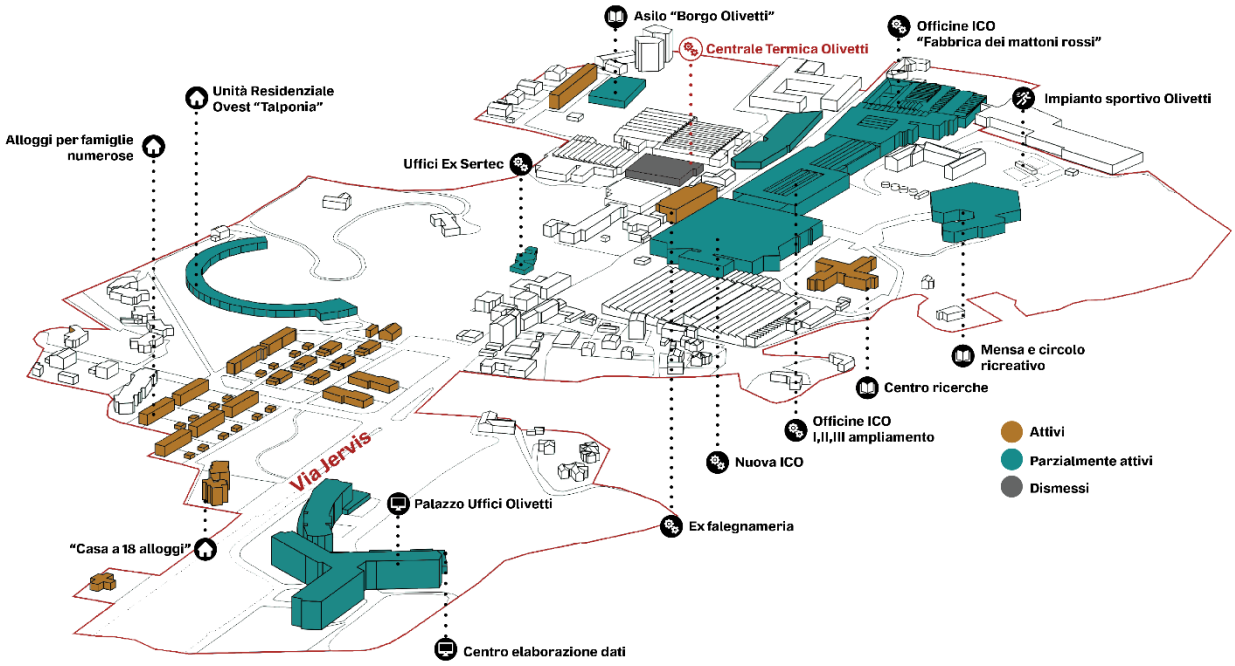


Figura 3.1-1: Area UNESCO con stato di utilizzo degli edifici

3.2 Schedatura della Centrale Termica Olivetti

La Centrale Termica venne commissionata e realizzata tra il 1956 e il 1959 a Ivrea da parte dell'Azienda Olivetti, su progetto dell'architetto Eduardo Vittoria. Questa nasceva per far fronte alla crescente domanda di energia degli stabilimenti olivettiani, offrendo al contempo l'occasione di riorganizzarne la distribuzione attraverso un collocamento baricentrico rispetto alle produzioni. I requisiti della nuova Centrale erano chiari: avrebbe dovuto ospitare tre caldaie di tipo "marina" per la produzione di calore, dei compressori d'aria e degli alternatori per la generazione di energia elettrica [102].

Figura 3.2-1: La Centrale Termica Olivetti vista da Via di Vittorio (https://www.ivreacittaindustriale.it/i-beni/centrale-termica/)

L'architetto progettò a tavolino con i tecnici il *layout* dell'edificio. Ne uscì una struttura in calcestruzzo armato a pianta libera articolato su due livelli: un Piano Terra di circa 1800 m^2 dove trovavano spazio le macchine per la produzione di energia ed un Piano Seminterrato di 1450 m^2 per la distribuzione delle tubazioni e l'alloggio di cisterne. Il basamento dalle geometrie "neoclassiche", oltre che risolvere il tema del sito in pendenza, si offre a elegante supporto per i tre volumi del Piano Terra. Il volume a doppia altezza situato a nord-ovest ospitava le caldaie, quello ad est i compressori e quello a sud-ovest gli alternatori, tutti disposti a "C" attorno ad una corte centrale che fungeva da sala di controllo e coperta con un sistema a *shed* [103].

Le superfici esterne della Centrale Termica sono costituite da ampie superfici trasparenti, realizzate tramite delle soluzioni modulari: il modulo-infisso del Piano Terra è tripartito, con due fasce orizzontali opache di uguale dimensione che delimitano una porzione centrale trasparente di altezza maggiore, a sua volta ripartita in cinque elementi mobili; un modulo a scansione verticale dotato di elementi mobili a vasistas, venne invece impiegato per il volume a doppia altezza. L'importante area trasparente permetteva così di illuminare adeguatamente i profondi locali macchine e allo stesso tempo, anche grazie all'effetto camino del locale a doppio volume, una adeguata dissipazione del calore [104].

[102] https://censimentoarchitetturecontemporanee.cultura.gov.it/scheda-opera?id=2749
[103] BOLTRI, MAGGIA, PAPA 1998
[104] GIACOPELLI 2008

Per quanto concerne i rivestimenti degli elementi opachi, Vittoria procede in continuità rispetto al caso del Centro Studi, facendo largo uso di piastrelle in clinker (realizzate artigianalmente in un laboratorio di Vietri) e tesserine in ceramica. Queste ultime, di colore bianco, sono usate per il rivestimento degli elementi aggettanti (il cordolo-fioriera che corre lungo tutto l'edificio, la pensilina ed il cordolo di sommità delle due coperture inferiori), mentre piastrelle in clinker rosso vengono usate al Piano Terra e in clinker blu per le pareti esterne del doppio-volume caldaie. Unica eccezione è data dal basamento, rivestito con un intonaco in graniglia, lavorato per ottenere una geometria a cassettoni.

Sebbene la concezione originale dell'edificio sia stata rispettata ed i suoi elementi principali mantenuti, è bene parlare di alcune modifiche che sono state apportate in corso alla progettazione. Nella prima versione del 1956 i tre volumi erano nettamente compartimentati da dei setti murari che si aprivano quasi esclusivamente verso l'esterno, per fare spazio alle ampie e luminose vetrate. Inoltre, la corte centrale, che in seguito venne coperta per ospitare la centrale di controllo, era previsto fosse sistemata a verde per garantire agli operai che lavoravano al suo interno un contatto con la natura, una funzione in seguito ridimensionata ed affidata alla fioriera perimetrale. Ultimo ma non per importanza l'impiego del colore: l'idea iniziale di Vittoria era quella di impiegare tre colori primari (giallo, rosso, blu) per rivestire le superfici dei tre volumi.

Il rigore dell'impostazione planimetrica affiancato all'utilizzo di elementi architettonici come il basamento rimanda piuttosto chiaramente alle opere dell'architetto Mies Van der Rohe, con riferimenti ancora più espliciti nelle prime versioni del progetto, dove i volumi meglio definiti da setti murari a tutt'altezza. Il largo uso che Vittoria fa della luce, oltre che risolvere delle necessità contingenti, sembra rispondere al concetto olivettiano che vede la fabbrica aprirsi verso l'esterno nell'intento pedagogico di mostrare alla città il progresso tecnologico; allo stesso tempo introduce nel sistema dei moduli uno dei materiali impalpabili largamente impiegati da Le Corbusier nella definizione dell'architettura e che saranno protagonisti nella futura attività didattica di Vittoria stesso. Come già sperimentato in altri edifici olivettiani Vittoria si serve del colore con due finalità differenti: nel caso del modulo-infisso attua una scomposizione dell'architettura, scegliendo una pittura blu per il telaio principale ed una bianca per le componenti mobili; rivestendo invece l'edificio con piastrelle di colore blu e rosso (colori identificativi nell'impiantistica idraulica) sembra voler dichiarare la funzione dell'edificio, un intento ancora più evidente e specifico se si osserva l'idea originaria dove prevedeva di identificare ciascun volume – e quindi ciascuna funzione - con tre colori primari (giallo, blu, rosso).

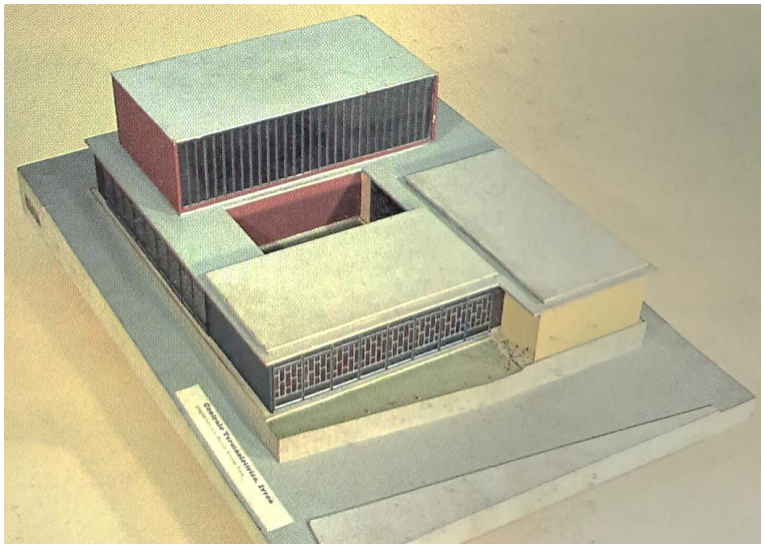


Figura 3.2-3: Plastico della Centrale Termica secondo una prima ipotesi progettuale (BOLTRI, MAGGIA, PAPA 1998)

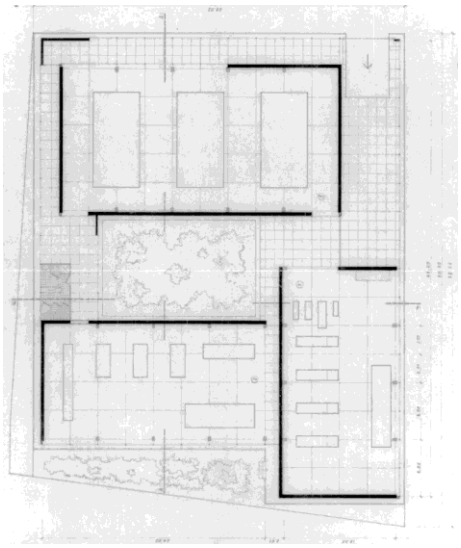


Figura 3.2-3: Pianta del Piano Terra, 1956 (AASO doc. 0231)

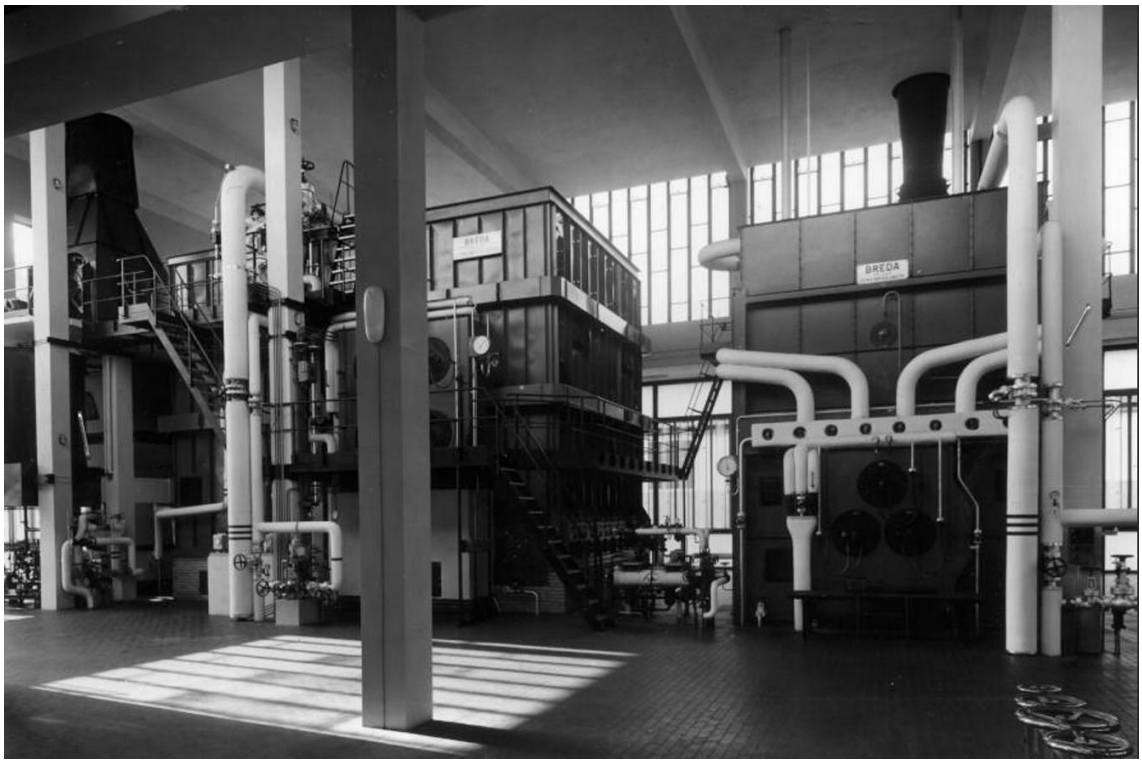


Figura 3.2-5: Centrale Termica Olivetti, Volume Caldaie (riproduzione AASO)

Figura 3.2-4: Centrale Termica Olivetti, Corte centrale - Sala di comando (riproduzione AASO)

3.3 Fasi della costruzione

L'analisi eseguita sull'edificio, condotta attraverso indagini sul campo ma anche mediante una ricerca archivistica sui fondi custoditi dall'Associazione Archivio Storico Olivetti, ha rivelato come la Centrale Termica sia stata costruita in due fasi principali.

Risalgono infatti al maggio del 1956 alcuni disegni tecnici[105] che ritraggono con piante e prospetti il volume disposto su Via di Vittorio, trattandolo come un edificio a sé stante rispetto all'opera complessiva. Se questo poteva già essere sufficiente per ipotizzare che la Sala Compressori venne effettivamente realizzata per prima e resa immediatamente funzionante, a rafforzare questa tesi ci sono delle immagini d'epoca del cantiere. La Figura 3.3-1 mostra, infatti, che durante i lavori di sbancamento del terreno per la realizzazione del piano seminterrato, il Volume Compressori era già stato realizzato nei suoi due piani ed in quella fase era interessato da dei lavori sul suo lato ovest, con la rimozione degli infissi esterni e la demolizione parziale del setto ad angolo effettivamente previsto nelle piante di progetto.

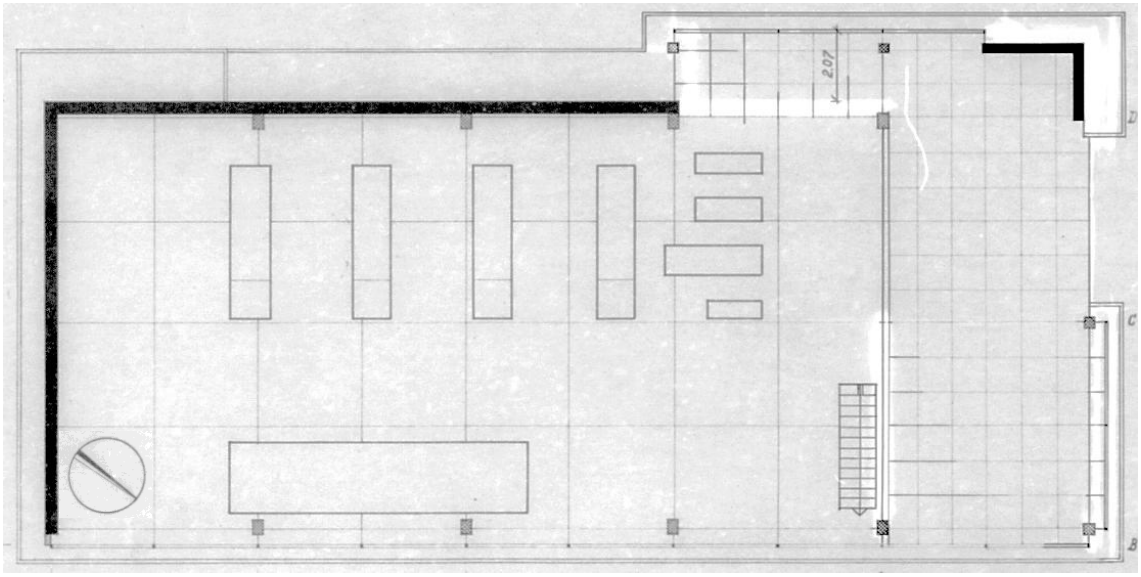


Figura 3.3-2: Pianta del Volume Compressori (maggio 1956) ***(AASO doc. 0073)***

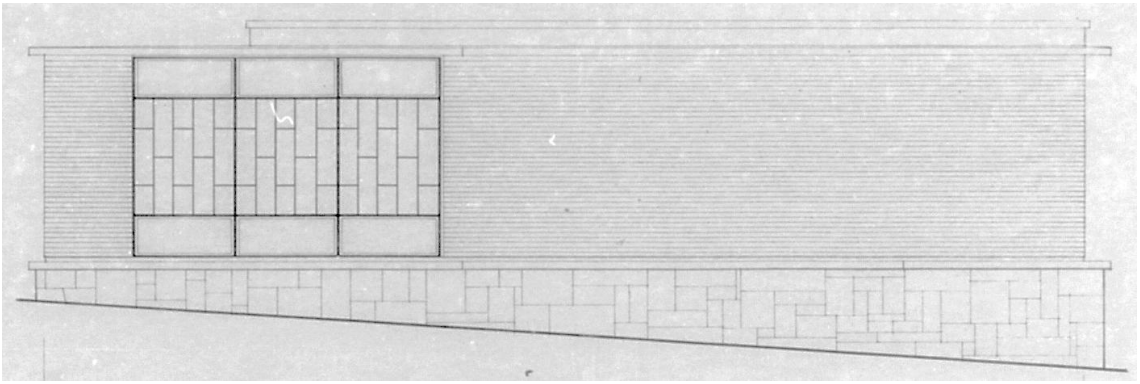


Figura 3.3-1: Prospetto ovest del Volume Compressori (maggio 1956) ***(AASO doc. 0099)***

[105] Riferimento documento d'archivio 0073 e 0099

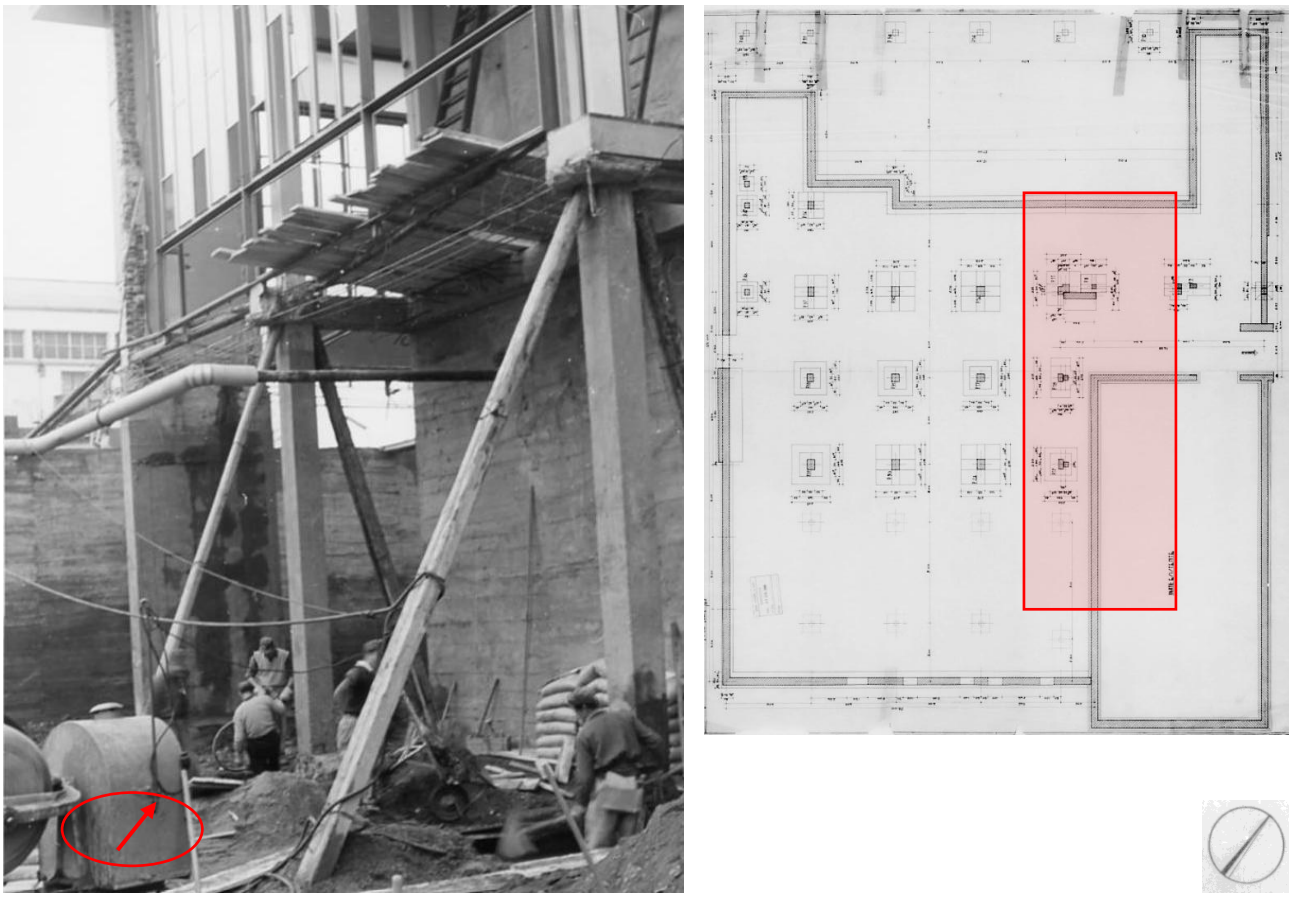


Figura 3.3-4: Nell'immagine si vedono i lavori di demolizione che hanno interessato parzialmente il Volume Compressori per la realizzazione delle nuove fondazioni dei restanti due blocchi dell'edificio (AASO)

A distanza di pochi mesi dalla realizzazione e messa in servizio della Sala Compressori ripresero i lavori per il completamento della Centrale Termica. Sfruttando la documentazione fotografica del cantiere è possibile dedurre che, a seguito dello sbancamento e realizzazione delle opere di contenimento per il piano seminterrato, i lavori proseguirono per lotti con la costruzione del Volume Caldaie, lasciando per ultima la realizzazione del blocco destinato ad ospitare gli alternatori.

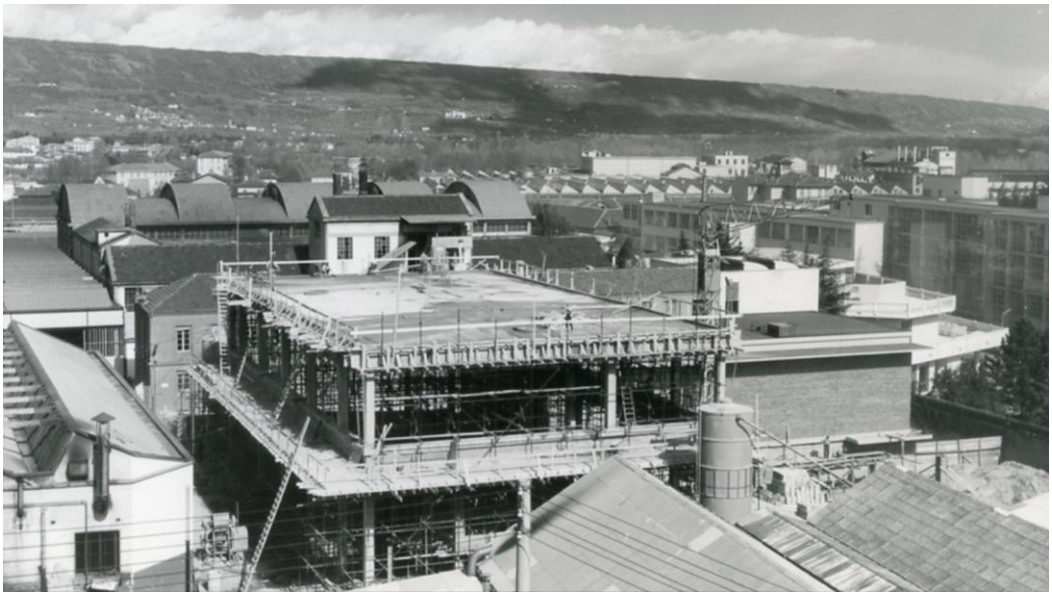


Figura 3.3-3: Cantiere della Centrale Termica, realizzazione del Volume Caldaie ((AASO)

La traccia della costruzione in serie dei volumi è rintracciabile naturalmente anche nella struttura stessa: la parete che divide il Volume Compressori» da quello Alternatori è rivestita sul lato ovest con piastrelle in clinker - analogamente a tutte le superfici esterne – indicandone la passata funzione di tamponamento esterno, mentre sul prospetto ovest dell'edificio è rintracciabile il giunto tra i volumi Caldaie e Alternatori, a testimonianza della loro realizzazione diacronica.

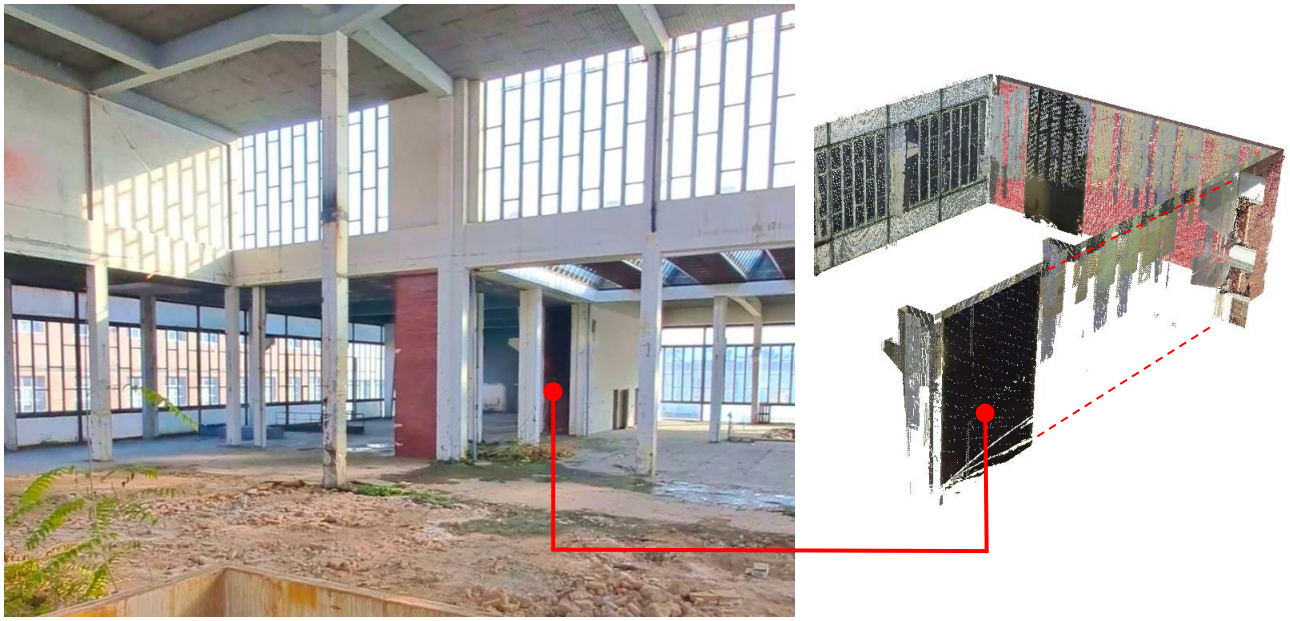


Figura 3.3-6: Evidenze del rivestimento in clinker rosso della parete divisoria tra Sala Compressori e Alternatori, sulla sinistra immagine da sopralluogo mentre sulla destra restituzione della nuvola di punti

Figura 3.3-5: Prospetto Ovest, giunto strutturale tra Volume Caldaie e Volume Alternatori

3.4 Indagini su forme di alterazioni macroscopiche e di degrado

La Centrale Termica Olivetti presenta tutti i problemi che possono colpire un edificio realizzato con materiali innovativi, sottoposto a oltre trent'anni di utilizzo industriale, al quale ne sono seguiti altrettanti di abbandono e incuria. Un progetto di recupero e rifunzionalizzazione di questo edificio deve porsi anzitutto il tema della conservazione della sua immagine, fortemente minacciata da diversi processi di degrado in atto da tempo. Per questo motivo si è deciso di condurre un'analisi dei degradi e delle alterazioni in essere, seguendo una metodologia condivisa dalla letteratura scientifica, cercando di stabilirne la natura e le cause, arrivando infine a formulare delle strategie di intervento coerenti con l'approccio al recupero del moderno visto al cap. 3.8.

Data la centralità del progetto architettonico all'interno di questa tesi, si è ritenuto accettabile ridurre il campo di analisi ad una sola delle quattro facciate dell'edificio, dando priorità all'applicazione di una metodologia di analisi e intervento rispetto alla completezza quantitativa dello studio. Il prospetto che verrà presso in esame è quello sud, una scelta motivata dall'estesa presenza di tutti i materiali di rivestimento, una maggiore qualità degli elaborati fotogrammetrici e l'eterogeneità dei fenomeni di degrado e alterazione in essere.

3.4.1 Metodologia

L'analisi si è basata sulla classificazione della Normativa UNI 11182:2006 (ex NorMal 1/88), un testo di riferimento per gli interventi di conservazione degli elementi lapidei. Essa fornisce infatti un lessico unificato finalizzato alla ricognizione e rappresentazione delle varie forme di degrado e alterazione che possono essere visibili macroscopicamente.

L'analisi visiva si è basata sulle informazioni raccolte durante due rilievi: il primo rilievo dove sono state impiegate attrezzature per il rilievo geometrico e fotografico generale; un secondo rilievo finalizzato all'indagine dei fenomeni in essere sui prospetti dell'edificio. La restituzione fotogrammetrica della facciata è stata, anche grazie all'elevata risoluzione, una valida base informativa per l'individuazione di degradi e alterazioni, consentendo anche di mantenere una visione d'insieme utile per la comprensione delle cause scatenanti. Le immagini di dettaglio ottenute dal secondo sopralluogo hanno consentito invece di studiare ogni singola patologia individuata e ipotizzarne le cause.

Le conclusioni cui si è arrivati non possono tuttavia che rappresentare delle ipotesi, necessariamente da verificare attraverso una campagna di indagini *in situ* o in laboratorio, atte ad aumentare il grado di conoscenza circa la composizione dei materiali che quella delle patologie in essere.

3.4.2 Analisi del prospetto Sud

LEGENDA DEI DEGRADI E DELLE ALTERAZIONI

NorMal UNI 11182/2006

Fessurazione | Colonizzazione Biologica | Macchia | Macchia da ossidi | Mancanza | Ossidazione | Fronte di risalita | Sostituzione impropria | Degrado antropico: graffito vandalico | Erosione per abrasione | Pittura incoerente (su graniglia) | Pittura incoerente (su mosaico)

MATERIALE	DEGRADO (UNI 11182:2006)	CAUSE
Graniglia	**Degrado antropico: applicazione di pittura incoerente.**	Approccio manutentivo errato dal punto di vista della conservazione verificatosi probabilmente nel tentativo di restituire vivacità al rivestimento.
	Esfoliazione* Degradazione che si manifesta con distacco, spesso seguito da caduta, di uno o più strati superficiali subparalleli tra loro (sfoglie).	Scarsa adesione agli inerti che caratterizzano la graniglia. Dilavamento. Indebolimento dovuto a cicli di evaporazione dell'umidità, anche coadiuvati dalla formazione di efflorescenze.
	Degrado antropico: graffito vandalico.	Apposizione indesiderata sulla superficie di vernici colorate.
	Fessurazione Degradazione che si manifesta con la formazione di soluzioni di continuità nel materiale e che può implicare lo spostamento reciproco delle parti.	Principalmente dovuta all'esposizione a sud e all'assenza di aggetti in grado di proiettare ombre, portando alla dilatazione termica del supporto in muratura e della stessa graniglia, con la formazione di giunti termici "naturali" con un passo regolare di circa 2 m. Tra le cause secondarie vi sono: (I) ipotetico fenomeno di dissesto del paramento murario non strutturale (evidente sull'angolo ad est); (II) cicli di gelo/disgelo favoriti da una scarsa protezione alle piogge; (III) vibrazioni da traffico veicolare pesante su Via di Vittorio.
	Colonizzazione biologica. Presenza riscontrabile macroscopicamente di micro e/o macrorganismi (alghe, funghi, licheni, muschi, piante superiori).	Si concentra nell'angolo ovest della facciata, dove è evidente la presenza di una forte infiltrazione d'acqua nella muratura. Poiché essa coincide anche con il posizionamento di uno dei pluviali annegati nei pilastri, si ipotizza una rottura dell'elemento con conseguente dispersione dell'acqua meteorica nella muratura sottostante.
	Macchia (I) Alterazione che si manifesta con pigmentazione accidentale e localizzata della superficie; è correlata alla presenza di materiale estraneo al substrato (per esempio ruggine, sali di rame, sostanze organiche, vernici).	Macchie da depositi di ossidi di ferro: fenomeno causato dalla presenza di elementi in ferro, quali tubazioni e scossaline, i cui prodotti dell'ossidazione vengono depositati per dilavamento sul rivestimento in graniglia sottostante.

	Macchia (II)	Macchie dovute all'azione di dilavamento concentratasi nei punti dove la pensilina in aggetto risulta maggiormente danneggiata o in corrispondenza dei canali di scolo della pensilina/fioriera. Si ipotizza che l'azione di dilavamento abbia portato a un degrado differenziale la pittura incoerente applicata sulla graniglia. Altresì non si può escludere anche che la pittura incoerente applicata sulle tesserine in clinker della pensilina, degradata a sua volta, si sia depositata dopo processi di alterazione chimico-fisica ai bordi dell'area dilavata, contribuendo alla formazione di macchie dall'aspetto frastagliato.
	Mancanza. Caduta e perdita di parti.	Le mancanze nel rivestimento in graniglia sono principalmente ascrivibili alla perdita di adesione tra lo strato di rivestimento e quello di supporto. Nei primi centimetri da terra la risalita di umidità e la sua evaporazione hanno compromesso nel tempo la tenuta chimico-fisica dell'impasto cementizio, anche a causa di piccoli fenomeni di efflorescenza. Alla sinistra dell'ingresso al seminterrato è ben evidente un'importante mancanza di graniglia, determinata con ogni probabilità da sollecitazioni meccaniche dovute all'utilizzo della porta così come al tipo di substrato, in questo caso cementizio, in grado di offrire una minore adesione meccanica.
	Fronte di risalita umidità. Limite di mitigazione dell'acqua che si manifesta con la formazione di efflorescenze e/o perdita di materiale. È generalmente accompagnato da variazioni della saturazione del colore nella zona sottostante.	Si manifesta entro il primo metro da terra ed è naturalmente causato dal contatto della muratura con il terreno e dalla sua continuità fisica, favorendo la risalita per capillarità. Favorito anche dalla natura porosa dei materiali soggetti al fenomeno, con un substrato realizzato in mattoni semi-forati e una finitura a base cementizia. Si rendono necessari approfondimenti in loco con saggi della muratura per determinare il fenomeno da un punto di vista quantitativo.

	Erosione per abrasione. Asportazione di materiale dalla superficie dovuta a processi di natura diversa.	Data la conformazione delle abrasioni e il loro concentrarsi in prossimità dell'accesso al seminterrato, si ritiene che le cause siano di natura meccanica, dovute ad azioni abrasive verificatesi durante fasi di lavorazione o stoccaggio materiali.
Tesserine mosaico	**Degrado antropico: applicazione di pittura incoerente.**	Intervento manutentivo errato caratterizzato dall'applicazione di finiture incongrue. L'elevato stato di degrado potrebbe essere dovuto alla forte esposizione ai raggi UV data dall'orientamento a sud della facciata, fenomeno che colpisce le pitture a base polimerica.
	Fessurazione. Degradazione che si manifesta con la formazione di soluzioni di continuità nel materiale e che può implicare lo spostamento reciproco delle parti.	L'ossidazione delle armature e la loro espansione in termini volumetrici causa deformazioni del copriferro in calcestruzzo fino alla sua espulsione, determinando dapprima la formazione di fessurazioni nel rivestimento mosaicato e successivamente la sua espulsione. Alternativamente si verifica in corrispondenza di grandi sporgenze della pensilina cementizia, la quale è andata incontro a deformazioni plastiche che hanno causato la formazione di fessure nel rivestimento in mosaico, in corrispondenza della cerniera plastica. L'ultima dinamica vede il degrado della malta di posa delle tesserine, tendenzialmente ascrivibile a infiltrazioni d'acqua.
	Macchia. Alterazione che si manifesta con pigmentazione accidentale e localizzata della superficie; è correlata alla presenza di materiale estraneo al substrato (per esempio ruggine, sali di rame, sostanze organiche, vernici).	Macchie da depositi di ossidi di ferro: fenomeno causato dalla presenza di elementi in ferro, quali tubazioni e scossaline, i cui prodotti dell'ossidazione vengono depositati per dilavamento sul rivestimento in mosaico.
	Mancanza. Caduta e perdita di parti.	Fenomeno causato prevalentemente dal degrado del cordolo cementizio di supporto, con il distacco di intere porzioni di esso, comprese porzioni di rivestimento mosaicato.

		Ad esso si aggiunge l'azione di infiltrazione dell'acqua meteorica tra il substrato di supporto e il rivestimento, che attraverso cicli di gelo/disgelo, compromette l'adesione delle tesserine al cordolo cementizio, causandone nel tempo il distacco.
Piastrelle in clinker	**Mancanza.** Caduta e perdita di parti.	Perdita di adesione della piastrella in clinker, attribuibile principalmente al degrado della malta di posa causato dall'esposizione agli agenti atmosferici. Nei punti angolari dei paramenti murari è attribuibile anche a fenomeni di espansione termica che hanno portato alla formazione di tensioni tali da compromettere la tenuta della piastrella al supporto murario.
	Sostituzione impropria. Sostituzione dei materiali originali con nuovi materiali incoerenti in termini di composizione chimico-fisica distinguibili macroscopicamente.	In seguito alla caduta di alcune piastrelle in clinker, al fine di ripristinare il rivestimento, sono state impiegate piastrelle di formato e pigmentazione diverse, probabilmente provenienti dal vicino Edificio dei Servizi Sociali.
Ferro	**Ossidazione.** Creazione della patina di ossido di ferro.	Dovuta al degrado della pittura di rivestimento e alla conseguente esposizione dei componenti metallici agli agenti atmosferici.
Calcestruzzo armato	**Mancanza** Caduta e perdita di parti.	La progressiva de-passivazione del calcestruzzo ne indebolisce la protezione nei confronti dell'ossidazione, portando nel tempo alla formazione di ossidi di ferro sulla superficie esterna delle barre in ferro, con un conseguente aumento di volume e l'espulsione del copriferro in calcestruzzo. Il fenomeno può essere facilitato da errori progettuali o in fase di esecuzione, che potrebbero aver portato a spessori di copriferro insufficienti.

3.5 Normativa vigente e interventi ammessi

La Centrale Termica Olivetti – sita in Via di Vittorio - è uno degli edifici identitari della *core zone* UNESCO *Ivrea, Città industriale del XX secolo*. Esso rientra nella lista del PRGC 2030 dei *Beni architettonici vincolati* sottoposti a tutela ai sensi della Parte Seconda del DLGS 42/2004 e assoggettati a tutela monumentale da parte della Soprintendenza Archeologia Belle Arti e Paesaggio della Città Metropolitana di Torino (Codice R0044399).

Le Norme Tecniche Attuative (NTA) del PRGC trattano degli Immobili appartenenti al patrimonio UNESCO all'articolo 107:

- Comma 3, destinazioni d'uso: «[…] devono restare quelle originariamente previste o tuttalpiù evolvere verso funzioni coerenti, che consentano di riusare i contenitori edilizi senza smentirne l'identità storica, costituita dal rapporto coessenziale, e perciò inscindibile, tra forma (architettonica) e sostanza (funzionale)».
- Comma 5, interventi edilizi ammessi:

5 INTERVENTI EDILIZI AMMESSI [art.6] salvi eventuali limiti disposti ai commi 7, 8, 9 e 10

		INC	PCC	SUE
MO	manutenzione ordinaria		● (1)	
MS	manutenzione straordinaria		● (1)	
RC	restauro e risanamento conservativo		● (1)	
RE	ristrutturazione edilizia		● (1) (2)	
AF	ampliamento funzionale		● (1) (2)	
IP	integrazione pertinenziale		● (2) (3)	
NC	nuova costruzione		● (2)	
RU	ristrutturazione urbanistica		-	

Note:

(1) Gli interventi sono subordinati alle autorizzazioni di cui al DLGS 42/2004, oltre che ai pareri degli organi competenti per la tutela del patrimonio UNESCO; devono conformarsi ai contenuti del Piano di Gestione del Sito ed essere finalizzati a mantenere l'integrità e l'autenticità del Patrimonio, tanto nella conservazione dei caratteri formali, quanto nella congruenza delle funzioni insediabili rispetto alle originarie destinazioni d'uso.

(2) Gli interventi che incidano sui caratteri tipologico formali e sull'immagine architettonica degli edifici vincolati o alterino i connotati ambientali delle aree ad esse pertinenti, ancorché non vietati in senso assoluto dal PRG, costituiscono modifiche significative (*major modifications*), potenzialmente incompatibili con la tutela dell'integrità e dell'autenticità, e perciò da sottoporre all'approvazione del Comitato del Patrimonio Mondiale previa Valutazione di Impatto sul Patrimonio (cfr. Raccomandazione 5.b Decisione WHC/18/42.COM e Par.118 bis e 172 Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention – ed. 2021).

(3) Sono eventualmente ammissibili esclusivamente le strutture di arredo dei giardini e delle aree pertinenziali, oltre che quelle connesse a impianti tecnologici necessari all'esercizio delle attività produttive; a prescindere dalla loro entità tali interventi non sono mai attuabili come edilizia libera, ma necessitano delle autorizzazioni di cui alla nota (1) precedente.

- Comma 7, prescrizioni attuative particolari: è consentito il frazionamento degli edifici per le "unità produttive e uffici" (UP), categoria entro la quale ricade la Centrale Termica (UP5). Aggiunge inoltre che, per quanto concerne i cambi di destinazione d'uso, «**l'uso museale è sempre consentito**, con tutto il corredo di funzioni connesse e necessarie per la promozione del sito e l'organizzazione di eventi culturali».

Sempre all'interno delle NTA, l'articolo 35 comma 4 stabilisce che: «gli edifici censiti nel repertorio del MaAM in categoria A e B, sono soggetti alla "Normativa per gli interventi sugli edifici MAAM e loro pertinenze" (Regolamento MaAM), oltre a eventuali prescrizioni particolari dettate dalle norme di area; tutti gli interventi edilizi e urbanistici relativi a tali ambiti sono sottoposti al parere obbligatorio e vincolante della CLP».

Tale Normativa intende definire dei Criteri Generali di Salvaguardia e le tipologie di intervento ammesse in base alla categoria dell'edificio. La Centrale termica rientra nell'elenco degli edifici soggetti alla normativa in questione, in particolare all'interno degli edifici di categoria "A".

Sono edifici di categoria "A" del MaAM tutti quegli «Edifici di elevata qualità formale, realizzati su progetto di architetti italiani di chiara fama, la cui importanza nella storia dell'architettura italiana del '900 è universalmente riconosciuta dalla critica nazionale ed internazionale». Per questi «[…] sono consentite - anche in presenza di mutamenti di destinazione d'uso - esclusivamente azioni volte alla integrale tutela e salvaguardia dell'immagine, dell'assetto compositivo e distributivo originali.»

La Normativa specifica, inoltre, per la categoria "A", i tipi di intervento ammessi:

- Generalità: è consentito il solo restauro conservativo di tutti gli elementi che caratterizzano l'**immagine** del volume degli edifici, sostituendoli con riproduzioni fedeli se necessario
- Modifiche alle facciate: sono ammesse limitate modificazioni per **adeguamenti a norme** in materia di sicurezza, contenimento consumi energetici, eliminazione delle barriere architettoniche
- Incrementi volumetrici: se ammessi dal PRGC, potranno riguardare il pian terreno su fronti secondari, senza compromettere l'integrità compositiva originale dell'edificio
- Insegne e pubblicità: è ammessa **una sola insegna da collocarsi in cornice della copertura** e comunque in armonioso rapporto con la composizione delle facciate
- Verde progettato: al fine di preservare tali aree di pregio, sono consentite tutte le operazioni di manutenzione ordinaria e straordinaria volte a conservare la composizione vegetale esistente e gli elementi di arredo urbano presenti.

Inoltre, la Normativa indica, per gli edifici di categoria "A", come prescrizioni generali di minima le norme indicate per gli edifici di categoria "B", di cui si riportano brevemente i punti che maggiormente interessano la Centrale Termica ed il presente progetto:

- Copertura – Tetto: l'assetto delle falde, la loro pendenza e gli sporti non possono essere variati rispetto all'origine; l'eventuale ricorso a una nuova coperture a falde è consentito solo nel caso in cui questa sia contenuta entro il profilo del cornicione o risulti comunque completamente invisibile da tutti i punti di osservazione dell'edificio.
- Murature – Intonaci: Tutte le parti in mattoni a vista devono essere conservate con interventi di sostituzione delle parti ammalorate o deteriorate, protezione delle superfici con trattamenti che non ne alterino le caratteristiche di colore, trama, opacità (quindi a base di silossani o prodotti equivalenti). Sono ammessi rifacimenti che risultino uguali alle parti esistenti. Non sono ammesse modifiche alle campiture, tinteggiature di alcun tipo o trattamenti che conferiscano aspetto lucido.
- Infissi esterni: Sono ammesse sostituzioni degli infissi esterni e degli avvolgibili anche con materiali diversi dal legno (alluminio preverniciato, ferro, PVC) purché non venga alterato il ruolo originale dei serramenti 8 nella composizione della facciata né modificato in modo sensibile il rapporto tra la superficie totale delle forature e la parte vetrata.

3.6 Biografia di Eduardo Vittoria

Eduardo Vittoria nacque nel 1923 a Napoli e fu un architetto ed accademico contraddistinto dalla costante ricerca di linguaggi e tecnologie innovativi. Laureatosi nel 1947 alla Facoltà di Architettura di Napoli, la prima fase della sua carriera si articolò attraverso l'esperienza professionale nello studio del suo relatore, Luigi Cosenza, così come nella partecipazione attiva in organismi come l'Associazione per l'Architettura Organica, l'Istituto Nazionale per l'Urbanistica, e la Associazione per lo Sviluppo del Mezzogiorno[106].

Attivo culturalmente e politicamente, viene chiamato dagli Olivetti ad Ivrea nel 1951 per la realizzazione del Centro Studi, segnando l'inizio di una proficua collaborazione che durerà per circa vent'anni, alternando l'attività professionale a quella didattica nelle Facoltà di Venezia e Milano. Si ricorda la sua partecipazione alla triennale di Milano del 1973 dove curerà l'allestimento della sezione italiana portando il tema «Lo spazio vuoto dell'habitat».

Una delle più rilevanti partecipazioni politiche arriva nel 1975, quando viene chiamato a ricoprire l'incarico di assessore al Centro Storico nella sua città natale, Napoli. Gli anni che seguiranno saranno contraddistinti da un impegno accademico sempre maggiore, con la formazione e direzione di innovativi dipartimenti di architettura sulle tematiche della tecnologia architettonica e della produzione edilizia, nelle Facoltà di Roma, Pescara e Napoli. Nel 1993 sarà presidente del Comitato Tecnico Ordinatore della facoltà di Architettura di Camerino (AP). Muore a Roma nel 2009.

3.6.1 L'Architettura per Eduardo Vittoria

Il Secolo dei Lumi ed i suoi principali protagonisti hanno esercitato un'influenza sull'approccio al progetto di Eduardo Vittoria. Egli infatti ricercava, sia nella professione che nell'insegnamento, l'integrazione del sapere umanistico con quello scientifico per mantenere ampia la prospettiva sulle tematiche da cui il progetto deve prendere forma: l'innovazione tecnologica, il rapporto uomo-natura e il rapporto tra progetto ed *environment*. Inoltre, la tensione costante data dal rifiuto di teorie architettoniche precostituite e l'adozione del principio di falsificabilità di Popper guidarono a lungo la sua attività, alla ricerca di una sintesi tra soggettività e razionalità, inventiva e rigore, logica creativa e cultura industriale. La pratica sperimentale sarà il suo tratto distintivo [107].

Eduardo Vittoria, nella sua esperienza presso gli Olivetti, portò nell'Ivrea del dopoguerra un'architettura carica dei suoi elementi mediterranei, ma rimase a sua volta condizionato dal lungo rapporto che ebbe con tale ambiente industriale. Qui ebbe, per circa vent'anni, l'occasione di lavorare a stretto contatto con meccanici, designer, unità di montaggio e artisti, in un ambiente fecondo per quelle idee che vedevano cultura tecnica e umanistica intrecciarsi ed arricchirsi in una stretta simbiosi. È certamente in questo ambiente che sviluppa la sua grande sensibilità sulla tecnologia, intesa come strumento per modificare lo spazio in cui viviamo. La tecnologia è per Vittoria la componente oggettiva del progetto di architettura ed è attraverso la sua sperimentazione incessante che possono essere concepite le nuove forme dell'abitare; tramite essa l'uomo può instaurare nuove relazioni con l'ambiente tese al miglioramento della qualità della vita, la componente soggettiva. Eduardo condurrà tale ricerca tecnologica sul modulo-oggetto, di cui egli affina la componente di flessibilità che tali moduli devono garantire affinché il progetto di architettura tenga conto delle istanze mutevoli dell'uomo e delle condizioni ambientali. Una Tecnologia vista come uno dei punti di partenza del progetto, da cui trarre ispirazione per la definizione, assieme agli altri fattori, dello spazio. I

[106] https://www.architettiroma.it/50_anni_professione/vittoria-eduardo/ ; NUNZIANTE, PERRICCIOLI 2018.

[107] NUNZIANTE, PERRICCIOLI 2018; CONTE 2016.

Cubi di Nuoro (1965) ne sono la sua espressione residenziale, mentre il sistema costruttivo ideato per Scarmagno (1971) uno dei tanti in ambito industriale.

Il modulo-oggetto in grado di generare varianti plurime verrà tuttavia messo in discussione da Vittoria stesso alla XV Triennale di Milano, nel 1973, dove coordinerà la sezione italiana dal titolo *Lo spazio vuoto dell'habitat*. In tale occasione impiegò pareti, scocche e tende per definire uno spazio attraverso gli elementi intangibili della natura (luce, acqua, aria, suono…) per indicare il valore del rapporto con l'ambiente e l'adattabilità dello spazio alle mutevoli esigenze di utilizzo. Eduardo Vittoria attua così un ribaltamento concettuale spostando l'attenzione dagli strumenti materiali a quelli immateriali evitando volutamente di tracciare una via univoca nella definizione dell'habitat: la sperimentazione dovrà sempre essere anteposta a rigide teorie. Da qui in avanti i materiali impalpabili di Le Corbusier diventano i principali parametri sui quali costruire l'opera architettonica per il raggiungimento di una utopica integrazione totale con la natura. La tecnologia diventa fantastica e viene così utilizzata per trasformare il paesaggio in architettura, e non viceversa.

Eduardo Vittoria fu infine uno dei primi in Italia a considerare la sostenibilità ambientale come uno dei requisiti fondanti del progetto, in un periodo durante il quale l'architettura brutalista e la realizzazione di edifici-oggetto avulsi dal contesto proliferavano. L'architettura, per essere leggera ed in simbiosi con l'ambiente doveva quindi rispondere di una corretta gestione delle risorse e considerare le specifiche condizioni sociali-culturali-tecniche-economiche del sito. Vittoria immaginava così che ogni intervento dovesse necessariamente relazionarsi con l'ambiente, poiché solo le connessioni tra gli elementi di un paesaggio possono concorrere alla definizione dello stesso.

Il segno lasciato da Eduardo Vittoria non è rappresentato come per altri grandi architetti da una teoria, quanto piuttosto da un metodo, quello sperimentale. La sperimentazione della tecnologia come strumento per la continua scoperta di nuove forme dell'abitare, alla ricerca di un equilibrio instabile per definizione tra manufatto-uomo-natura, è certamente il suo lascito più prezioso.

3.7 Eduardo Vittoria: lavori per la Olivetti

3.7.1 Centro studi ed esperienze Olivetti | 1954 – 1955 | E. Vittoria

Architettura organica che si costituisce di quattro bracci, liberamente disposti, generati da un corpo centrale distributivo e di servizi. Lo stesso Vittoria dice che «la mia ricerca architettonica si basa su questi filoni: l'invenzione spaziale di Wright, il rigore linguistico di Mies, la tradizione italiana del settecento da Vanvitelli a Valadier»[108]. La tecnologia costruttiva e la progettazione per moduli viene sottolineata da un'articolazione ottenuta mediante l'uso dei colori (ogni elemento costruttivo ne ha uno diverso) e dalla separazione fisica degli elementi, come nel caso dei tamponamenti arretrati rispetto al filo dei pilastri e delle travi. Il Centro Studi ed Esperienze Olivetti, grazie alle sue piastrelle in clinker blu smaltate, inaugura la stagione del colore delle architetture olivettiane [109].

Figura 3.7-1: Il Centro Studi ed Esperienze in un'immagine degli anni 2000 (https://www.storiaolivetti.it/)

3.7.2 **Stabilimenti OMO di San Bernardo | 1955 - 1956 | E. Vittoria**

Il programma di ampliamento e decentramento degli stabilimenti eporediesi fa sì che vengano realizzati tre nuovi edifici in località San Bernardo di Ivrea per la produzione di macchine da lavoro: la divisione macchine utensili, nel quale fabbricato vengono situati i nuovi uffici, la struttura di attrezzaggio e l'infermeria [110].

Le necessità di rapidità di esecuzione determinano qui la tecnologia costruttiva impiegata per l'espansione dello stabilimento OMO, dove Eduardo Vittoria opta per l'acciaio. La composizione architettonica delle facciate esterne si caratterizza, in tutti gli edifici, per una forte modularità degli elementi costruttivi e un alternarsi di pieni e vuoti. Anche in questo caso viene esplicitata la natura della struttura con la separazione degli elementi quali pilastri, travature ed infissi mediante l'utilizzo di cromie differenti [111].

La pavimentazione interna è costituita, per i due uffici produttivi, dal semplice calcestruzzo vibrato della platea di fondazione, mentre invece la copertura presenta in entrambi i casi degli elementi a shed. I due

[108] NUNZIANTE, PERRICCIOLI 2018.
[109] https://censimentoarchitetturecontemporanee.cultura.gov.it/scheda-opera?id=3261
[110] https://censimentoarchitetturecontemporanee.cultura.gov.it/scheda-opera?id=4176
[111] https://censimentoarchitetturecontemporanee.cultura.gov.it/scheda-opera?id=381

stabilimenti, sebbene siano di scale diverse, sono raccordati dagli elementi modulari in facciata e dalla condivisione di alcune cromie, come quella blu per i pilastri ed il bianco per gli elementi opachi.

Figura 3.7-3: Officine OMO del comprensorio di San Bernardo, divisione macchine utensili, consistenza al 2019 (https://www.storiaolivetti.it/)

Figura 3.7-2: Stabilimento Nuovo Attrezzaggio del comprensorio di San Bernardo (https://www.storiaolivetti.it/)

Diverso è il trattamento che Vittoria riserva per il piccolo edificio dove si colloca l'infermeria il quale, sebbene sia sempre costituito da elementi modulari ed una struttura portante in acciaio, si discosta dai due edifici principali per alcune caratteristiche. La planimetria a base quadrata e gli elementi di articolazione che vengono adottati, come l'attacco al terreno realizzato con un cordolo in c.a. rivestito in piastrelle, la rientranza dei quattro angoli della struttura e l'elemento aggettante della copertura contribuiscono al suo isolamento rispetto alle altre strutture presenti all'interno del campus. L'autonomia dell'edificio viene inoltre rafforzata dalla scelta di rivestire tutte le strutture opache con del clinker giallo smaltato, in modo tale da esaltare la specifica funzione cui è destinato l'edificio stesso [112].

[112] https://censimentoarchitetturecontemporanee.cultura.gov.it/scheda-opera?id=4569

Figura 3.7-4: Infermeria del comprensorio di San Bernardo (https://www.storiaolivetti.it/)

3.7.3 Officina H – Copertura del cortile della «Nuova ICO.» | 1956 – 1957 | E. Vittoria

All'inizio degli anni '50 ci fu per la Olivetti la necessità di aggiornare degli schemi di montaggio e di integrare all'interno della Nuova ICO., disegnata da Figini e Pollini, la produzione delle componenti per le macchine da scrivere [113].

Viene quindi affidata a Vittoria il progetto per la copertura della corte interna dell'edificio, una superficie di circa 6000 m^2 che l'architetto napoletano risolse con una struttura portante in pilastri d'acciaio compositi e travi reticolari a sostegno di una copertura a cassettoni contornata da fasce perimetrali realizzate in elementi modulari di vetro atermico.

Figura 3.7-5: Interno delle Officine H in funzione (https://www.storiaolivetti.it/)

[113] https://censimentoarchitetturecontemporanee.cultura.gov.it/scheda-opera?id=2847

Il rispetto del requisito di grande libertà di movimenti e ampi spazi richiesti per l'installazione e la lavorazione con torni porta qui Vittoria a realizzare un ambiente unico che fosse il più possibile flessibile, mentre i requisiti illuminotecnici e più in generale il benessere del lavoratore vengono garantiti dalla luce che penetra in grandi quantità dalla copertura.

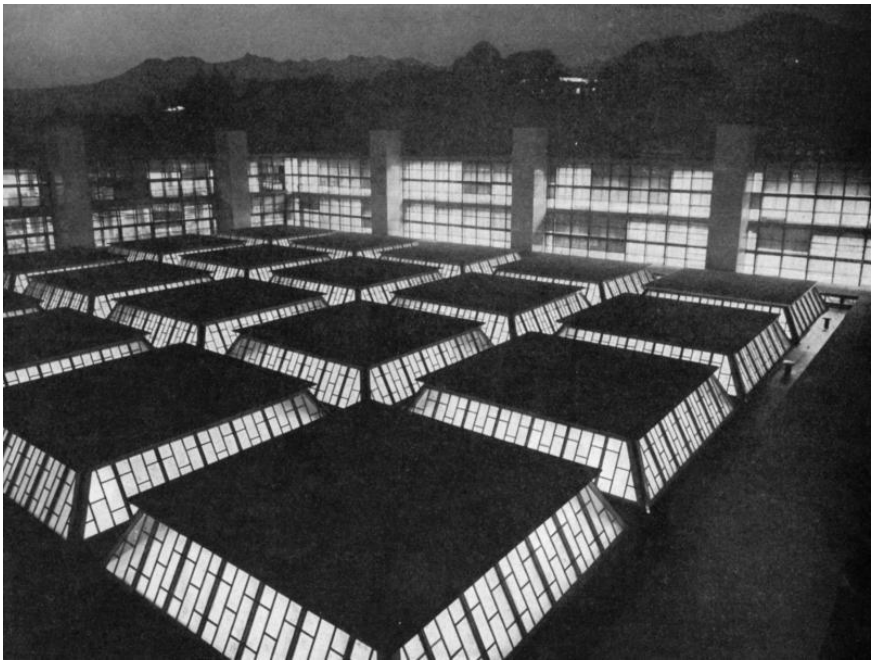


Figura 3.7-6: La copertura delle Officine H vista dall'alto, immagine notturna (https://www.storiaolivetti.it/)

3.7.4 Stabilimenti «B», «C», «D» Olivetti a Scarmagno | 1968 -1971 | E. Vittoria – M. Zanuso – R. Guiducci

La grande crescita di Olivetti portò l'azienda a decentralizzare la propria espansione nella vicina Scarmagno, da realizzarsi sempre in tempi brevi e pensata in modo tale da consentirne eventuali ampliamenti. La struttura venne concepita sulla base di una maglia strutturale 12x18 m da realizzarsi con elementi prefabbricati in calcestruzzo armato secondo il seguente schema: i possenti pilastri sorreggono una travatura principale caratterizzata dalla peculiare forma ad Y rovescia, sulla quale poggiano le travi a V della travatura secondaria, completata da lunotti schermati che forniscono una illuminazione zenitale diffusa [114].

Le necessità impiantistiche hanno certamente contribuito alla definizione di tale sistema: nella parte cava della travatura a V trovano infatti facilmente alloggio la distribuzione dell'energia, alimentata dai condotti impiantistici di dimensioni pari a 3x3 m disposti in copertura.

Anche in questo caso, seppur in misura meno pronunciata rispetto al caso studio delle OMO, vi è la presenza di due colori primari che hanno come funzione quella di dichiarare l'articolazione architettonica mettendone in evidenza le parti che la costituiscono: il giallo viene impiegato per gli elementi di tamponamento ed i tendaggi, mentre i condotti impiantistici, ivi compresa la torre di raffreddamento, sono caratterizzati dal colore rosso.

Stabilimenti basati sulla stessa tecnologia verranno realizzati anche a Crema e a Marcianise.

[114] https://www.storiaolivetti.it/articolo/109-il-polo-produttivo-di-scarmagno-negli-anni-del/#collapseExample

Figura 3.7-8: Stabilimento di Scarmagno in costruzione, vista degli elementi portanti (INARCH Piemonte)

Figura 3.7-7: Stabilimento di Scarmagno, composizione – scomposizione dell'architettura mediante l'utilizzo del colore (storiaolivetti.it)

3.8 Il Progetto sul costruito: recupero del moderno

Il patrimonio costruito partecipa attivamente alla definizione dell'identità di una comunità. Lo fa in quanto luogo fisico all'interno o all'esterno del quale l'uomo spende gran parte delle sue giornate, lavorando, studiando, socializzando, riposando. Quando questo sopravvive alla sua epoca, si fa portatore della storia di quella società che lo ha realizzato e vissuto. In base poi al valore che la società gli attribuisce, che si tratti di un valore intrinseco al manufatto stesso, oppure legato alla funzione e alle vicende che si sono realizzate al suo interno o che ancora oggi lo vedono protagonista, può accadere che attorno ad esso si sviluppino degli sforzi per la sua salvaguardia.

Questo è particolarmente vero in un paese come l'Italia, che sancisce nella sua Costituzione la tutela del paesaggio e del patrimonio storico e artistico della Nazione[115]. Tuttavia, il processo di salvaguardia che si concretizza nella subordinazione di interventi di manutenzione, recupero, restauro dello stesso a Normative e indirizzi volti alla conservazione, passa necessariamente attraverso una prima fase di riconoscimento del valore del manufatto. Una decisione non ovvia che, essendo legata per lo più alla natura storica dell'edificio, diventa sempre più difficile da prendere man mano che la sua data di costruzione si avvicina al presente.

La legge italiana identifica ad esempio come Beni Culturali sottoposti a disposizioni di tutela tutti quei manufatti di proprietà pubblica che siano stati realizzati da più di settant'anni e il cui autore non sia più vivente[116]. La soglia dei settant'anni porta al 1956 l'anno discrimine tra ciò che può essere di interesse culturale e ciò che ancora non lo è. Sebbene questa sia una forte semplificazione per definire ciò che merita o non merita delle particolari attenzioni di salvaguardia, rimane comunque una concreta manifestazione del tentativo di stabilire una soglia temporale.

Non è poi solo una questione di età: quando sono stati dismessi i grandi impianti manufatturieri del XIX e XX secolo, sono emersi interrogativi circa il valore culturale dell'edilizia industriale e la necessità o meno di garantirne la sopravvivenza materiale. Solo tra gli anni '80 e '90 si è raggiunta una diffusa attribuzione di rilevanza storica a quella che viene definita archeologia industriale, in seguito al riconoscimento del valore di questi luoghi nel testimoniare la storia produttiva di un territorio, la vita e il lavoro della classe operaia, il tentativo - in qualche caso - di organizzare attorno alla fabbrica un nuovo modello di società.

Una sorte per certi versi simile a quella della più ampia categoria di architetture moderne e contemporanee che ha visto nell'edilizia industriale alcune delle sue massime espressioni. Sulle modalità con le quali operare la conservazione del patrimonio industriale realizzato secondo i canoni dell'architettura moderna e contemporanea è da tempo aperto un dibattito accademico.

Uno dei quesiti fondamentali posti da queste architetture è relativo alle loro possibilità di essere vere e proprie infrastrutture vive e attive all'interno del tessuto urbano. Data infatti la progressiva deindustrializzazione delle cosiddette economie avanzate (con l'Italia a fare da capofila) e lo spostamento delle stesse verso un modello di servizi, raramente si rende possibile una ripresa delle funzioni originarie dell'edificio con l'insediamento di nuove attività industriali. La valorizzazione dell'architettura industriale non può che passare pertanto attraverso dei cambi di destinazione d'uso, richiedendo un approccio al recupero che non sia rigidamente volto a un restauro filologico, quanto più alla comprensione e rispetto delle caratteristiche compositive e formali dell'esistente sul quale impostare un progetto sul costruito che dovrà comunque tener conto delle necessità funzionali e prestazionali delle nuove destinazioni d'uso.[117]

[115] Art. 9 della Costituzione Italiana.
[116] D.lgs. 42/2004.
[117] BONIFAZIO, GIACOPELLI 2006.

Un altro aspetto fondamentale dell'approccio alla conservazione dell'architettura moderna e contemporanea è legato agli innovativi materiali e tecnologie costruttive impiegati nella loro costruzione, strumenti per un'espressione formale rigorosa e di grande rottura rispetto al passato. Il rapido sviluppo di nuove tecnologie e materiali in ambito edilizio ha determinato per l'architettura moderna una intrinseca fragilità, causata dalla scarsa conoscenza del loro comportamento sul lungo periodo e gli inevitabili errori progettuali commessi da chi si poneva all'avanguardia della sperimentazione. Solette in cemento armato dal ridotto spessore, rivestimenti in clinker dalle peculiari cromie e luminosi *curtain wall* dagli esili telai sono solo alcuni degli elementi caratterizzanti queste architetture e che ne rendono oggi complessa la loro conservazione o riproduzione, vuoi per un impianto normativo più stringente o per gli alti costi da sostenere nel riprodurre finiture uscite dalla produzione industriale.

Infine, si può affermare che, per via del grande rigore compositivo e della "purezza" delle forme delle architetture del moderno, l'approccio al recupero della loro immagine e dunque delle loro facciate e finiture, necessiti di essere affrontato diversamente rispetto a quanto oggi stabilito per gli edifici di epoca preindustriale. Infatti, l'approccio di natura filologica, che privilegia la conservazione delle stratificazioni, rende riconoscibili le integrazioni necessarie e rifiuta qualsiasi tentativo di ripristino dell'originale, nel caso dell'architettura moderna porterebbe alla conservazione di lacune e alterazioni svalutandone la purezza ricercata da questo stile architettonico. Si preferisce allora dare maggiore rilevanza all'esito formale voluto dal progettista, orientando opere di manutenzione e restauro al ripristino dell'integrità delle superfici dell'architettura[118].

Risulta allora interessante studiare alcuni casi di progetto sul costruito che abbiano dovuto confrontarsi con edifici di natura industriale e/o moderna, valutando strategie d'intervento ed esiti formali di tali interventi al fine di costituire dei riferimenti culturali utili all'intervento sulla Centrale Termica Olivetti.

[118] DE LUCI 2022-2023.

3.8.1 Officine ICO a Ivrea

Inquadramento

Le Officine ICO rappresentano l'espressione più iconica della stagione architettonica olivettiana guidata da Luigi Figini e Gino Pollini tra il 1936 e il 1948. L'edificio si pone all'avanguardia della tecnica edilizia nella ricerca della massima trasparenza, un'esigenza non tanto data da motivazioni di natura estetica, quanto più da esigenze prettamente pragmatiche di comfort e igiene. Da qui la necessità di rompere rispetto ad un passato fatto di mattoni rossi ricorrendo ad un totalizzante *curtain wall* in doppia pelle, capace di mantenere prestazioni termiche adeguate, garantire la massima illuminazione e ventilazione necessaria. Il progetto sul costruito ha riguardato l'insediamento all'interno delle ex Fabbriche Olivetti di un polo formativo e *call center* Vodafone ad opera di G-Studio [119].

Figura 3.8-1: Nuova ICO, prospetto Via Jervis, (https://www.g-studio.biz/wp-content/uploads/2013/01/Ivrea.-Il-restauro-delle-facciate-delle-Officine-Ico.pdf)

La sfida: stato di degrado e vincoli normativi

L'intervento di restauro, avviato tra il 2004 e il 2005, ha visto i progettisti affrontare uno scenario di forte degrado delle facciate, dovuto ad un abbandono ventennale e all'assenza di una manutenzione costante. Tra le sfide tecniche principali vi sono state:

- Degrado materico: telai degli infissi ossidati, carbonatazione dei farri di armatura e corrosione delle solette in calcestruzzo, dovuta alla scarsa impermeabilità offerta dalla compromessa doppia pelle
- Inefficienza energetica: gli infissi erano caratterizzati da telai metallici senza taglio termico e vetri singoli, causando forti dispersioni termiche non più adatte alle normative vigenti e alle nuove destinazioni d'uso
- Vincoli della committenza: un requisito fondamentale del nuovo intervento era, per volontà della committenza (Vodafone), il raggiungimento di elevati standard di comfort termo-igrometrico e acustico

[119] GIACOPELLI 2011.

Figura 3.8-2: L'interno di un piano tipo della ICO centrale in stato di abbandono (https://www.g-studio.biz/wp-content/uploads/2013/01/Ivrea.-Il-restauro-delle-facciate-delle-Officine-Ico.pdf)

Strategie di conservazione dell'immagine

Al fine di preservare la purezza formale dell'edificio sono state adottate strategie di restauro critico:

- Per la pelle esterna, dato il suo ruolo centrale nel determinare l'immagine dell'edificio, si è optato per una conservazione totale attraverso lo smontaggio e restauro di tutti i profili del telaio, posati nuovamente con un vetro stratificato di sicurezza dalle caratteristiche di trasparenza e cromia coerenti con gli originali
- Per la pelle interna si è invece deciso di operare una sostituzione degli infissi originali con dei nuovi serramenti capaci di garantire tutti i requisiti prestazionali; i nuovi telai rispettano le dimensioni degli originali e la loro modularità, con un'attenzione speciale per la loro finitura esterna di colore grigio antracite che consente di annullarne la presenza da una prospettiva esterna

Il progetto del nuovo: funzioni e spazio interno

La nuova destinazione d'uso prevista dal progetto di recupero, ovvero quella di polo formativo e *call center* Vodafone, si è rivelata coerente con la spazialità originaria della ICO. I grandi saloni che ne caratterizzavano i piani sono stati rispettati nella loro integrità, evitando nuove partizioni e prediligendo strutture leggere disposte secondo una configurazione spaziale che mantenesse quel senso di trasparenza anche all'interno dell'edificio. Una strategia progettuale innovativa è stata l'individuazione di linee guida interdisciplinari realizzate dall'architetto Giacopelli al fine di sviluppare una sensibilità al restauro nelle altre professionalità in gioco, come quelle strutturali e impiantistiche.

Sintesi critica ed esito formale

L'intervento sulla ICO centrale rappresenta ancora oggi il punto di riferimento per qualsiasi progettista che debba intervenire su un edificio del patrimonio olivettiano secondo i principi della conservazione. L'abile individuazione degli elementi architettonici fondamentali nel determinare l'immagine dell'edificio ha permesso di introdurre nuovi elementi più performanti senza compromettere l'esito complessivo né ledere all'identità progettuale originaria. Il risultato ottenuto dai progettisti conferma come sia prioritaria la conservazione dell'integrità formale e della percezione cromatica, raggiungendo comunque gli obiettivi prestazionali di natura normativa.

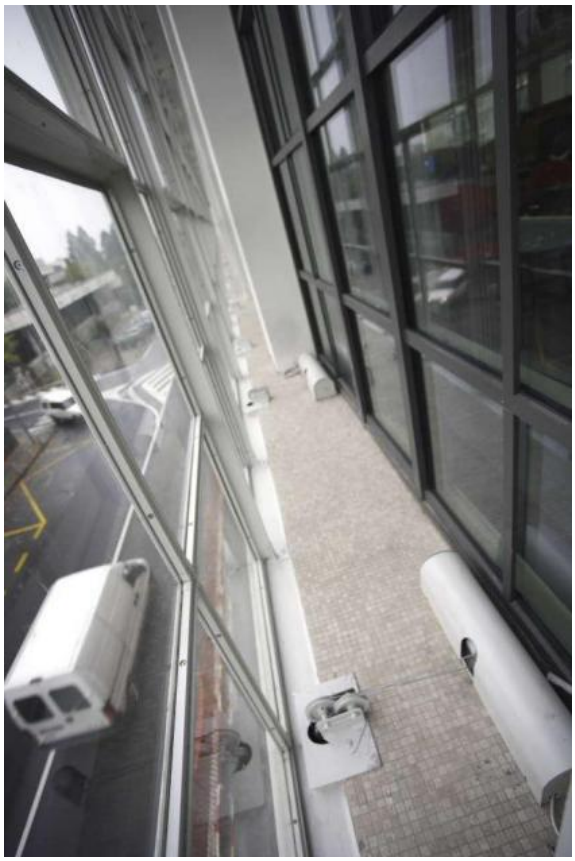


Figura 3.8-4: L'involucro trasparente al termine dell'intervento di recupero (https://www.g-studio.biz/wp-content/uploads/2013/01/Ivrea.-Il-restauro-delle-facciate-delle-Officine-Ico.pdf)

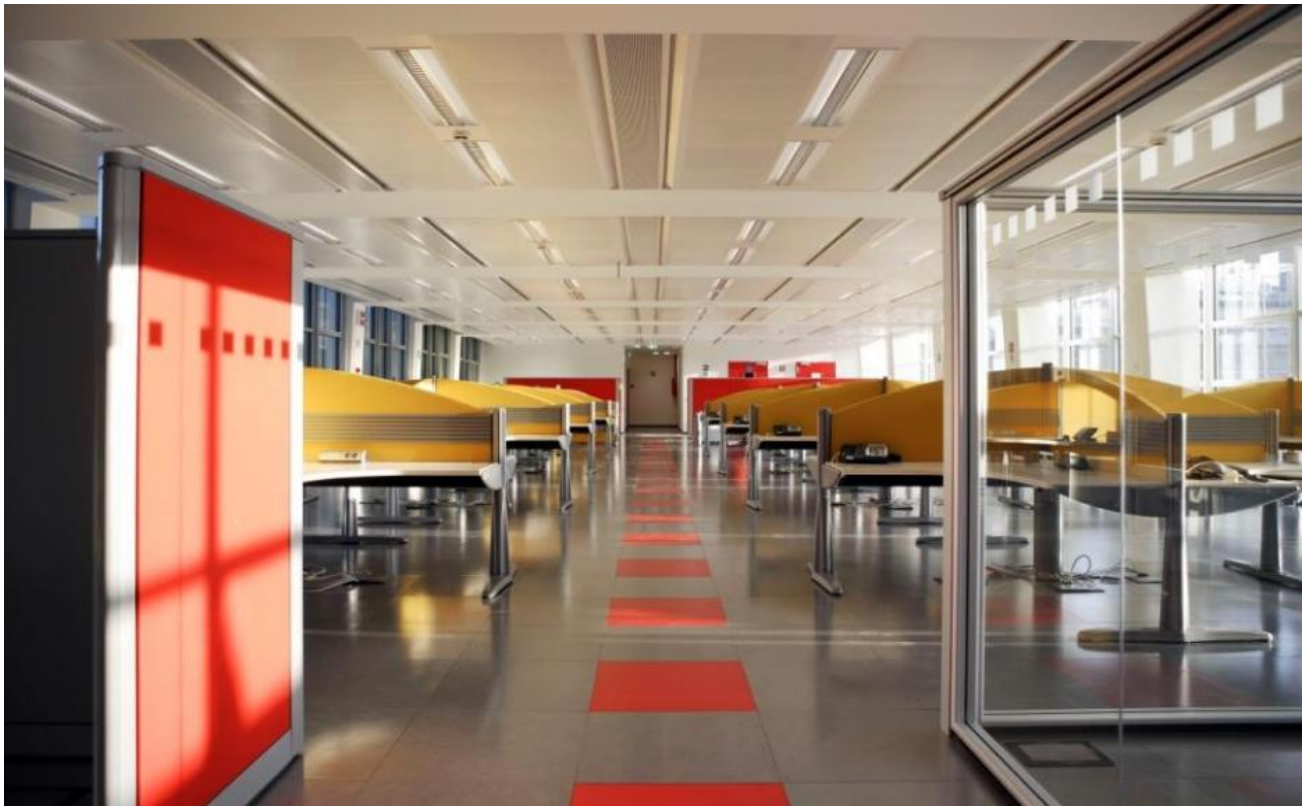


Figura 3.8-3: Il salone delle officine, prima e dopo l'intervento (https://www.g-studio.biz/wp-content/uploads/2013/01/Ivrea.-Il-restauro-delle-facciate-delle-Officine-Ico.pdf)

3.8.2 Fabbrica Van Nelle a Rotterdam

Figura 3.8-5: L'impianto industriale di Van Nelle visto dall'alto (DE JONG 2017)

Inquadramento

Progettata e costruita tra il 1928 e il 1931 dagli architetti Brinkman e Van der Vlugt, la fabbrica di Van Nelle rappresenta un altro celebre esempio di architettura moderna industriale, tanto da essere stata iscritta nel 2014 nella lista del Patrimonio UNESCO. Si ripresenta l'idea di leggerezza e grande trasparenza già vista nella ICO centrale attuata mediante il largo uso di metallo e vetro in facciata. Al fine di garantire la massima flessibilità distributiva e un facile adattamento a nuove esigenze di natura industriale, i progettisti puntarono su dei caratterizzanti pilastri a fungo per sostenere dei solai continui in calcestruzzo con funzionamento a piastra[120].

Figura 3.8-6: Un piano-tipo dell'edificio, si notano i particolari pilastri a fungo (DE JONG 2017)

[120] DE JONGE 2017.

Stato di degrado e vincoli

Nonostante l'alta qualità costruttiva che ne ha caratterizzato la realizzazione, l'edificio presentava alla fine degli anni '90 un degrado dei materiali di facciata non trascurabile e naturalmente una obsolescenza tecnologica del *curtain wall*. A questo si aggiungeva la sfida di trasformare oltre 60.000 m^2 di spazi pensati per la lavorazione del caffè, tè e tabacco in una Design Factory per aziende del settore ICT e creativo. Un cambio di destinazione d'uso che ha chiesto una risposta progettuale avanzata sui temi del comfort termo-igrometrico, dello sviluppo dell'infrastruttura impiantistica e dell'isolamento acustico, reso più problematico dalla vicinanza ad una linea ferroviaria.

Strategie di conservazione dell'immagine

Il gruppo di architetti guidati da Wessel de Jonge ha puntato su soluzioni che consentissero di preservare il più possibile il *curtain wall* originale. È stata creata una doppia pelle interna, completamente vetrata e arretrata di 2-3 metri rispetto agli infissi originali, delegando ad essa la funzione di resistenza termica e abbattimento acustico. Il *curtain wall* originale è stato declassato sostanzialmente a solo elemento formale, consentendone il restauro filologico e garantendo l'integrità formale di un edificio pensato per apparire leggero e trasparente.

Figura 3.8-7: L'arretramento del nuovo involucro che determina nuove logiche distributive e una "fascia di rispetto" dal curtain wall (DE JONG 2017)

Il progetto del nuovo: funzioni e spazio interno

L'inserimento delle nuove funzioni è stato condotto prestando particolare attenzione ai principi di reversibilità e di spazialità aperta. La nuova pelle vetrata interna, grazie al suo netto arretramento rispetto a quella esistente, ha permesso di ricavare un nuovo sistema di distribuzione. Questo spazio di filtro consente sia di implementare delle logiche di efficientamento energetico, sia di rispettare il massimo grado di integrità formale della facciata esterna esistente, evitando che le partizioni dei nuovi spazi possano in alcun modo incontrarne la superficie e alterarne l'aspetto. L'inserimento dei nuovi impianti di riscaldamento e di dati è avvenuto mediante la realizzazione di un nuovo massetto, mentre per la componente aeraulica si è sfruttato lo spazio di filtro.

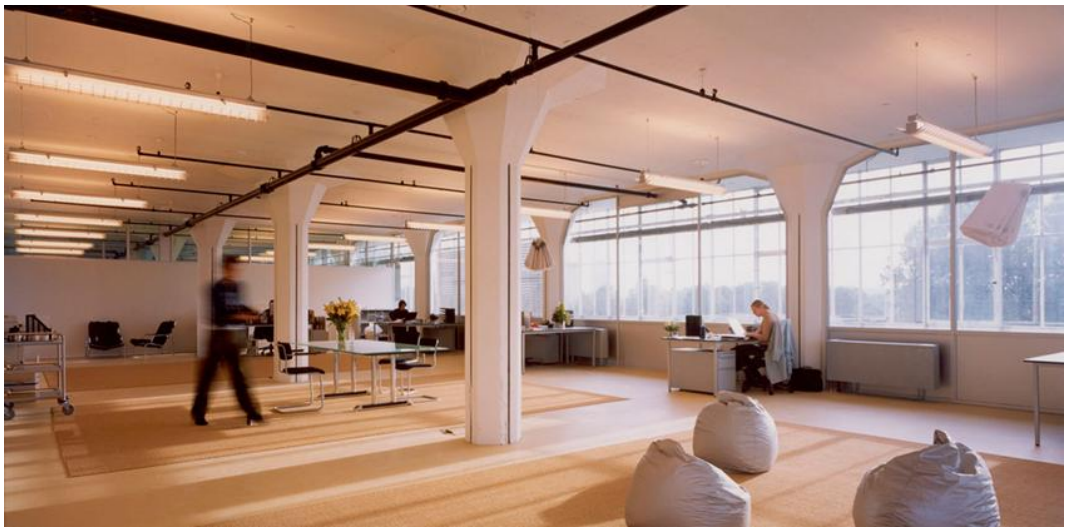


Figura 3.8-8: Vista dall'interno del nuovo intervento, che rispetta la spazialità originale dell'edificio (DE JONG 2017)

Sintesi critica ed esito formale

La fabbrica di Van Nelle ha dimostrato di essere particolarmente adatta ad un progetto di recupero e rifunzionalizzazione, grazie ai suoi solai ad alta capacità e alla profondità dei saloni, pari a 19 metri. Questo ha permesso di realizzare l'importante intuizione di arretramento delle nuove funzioni dalla facciata esistente, ricavando una "area di rispetto" utile sia per la conservazione del *curtain wall*, sia da un punto di vista distributivo e impiantistico. Il risultato finale è quello di un edificio industriale simbolo dell'architettura moderna che ha perfettamente mantenuta la rigorosità e integrità formale, ospitando nuove funzioni ad alta produttività che rispecchiano la mutata struttura dell'economia olandese.

Figura 3.8-9: La fabbrica dopo l'intervento di recupero (DE JONG 2017)

3.8.3 Impianto minerario di Zollverein a Essen

Inquadramento

Situato ad Essen, nella regione del Nord Reno-Westfalia, il complesso minerario del carbone di Zollverein rappresenta uno dei massimi esempi di architettura industriale del XX secolo. Un impianto che ha visto la sua nascita nel 1847 ma che è stato ampliato e ammodernato tra il 1927 e il 1932, con i progetti degli architetti tedeschi Fritz Schupp e Martin Kremmer. Ispirati dai concetti razionalisti del Bauhaus, hanno abbandonato qualsiasi soluzione tradizionale per abbracciare il cubismo e il funzionalismo. Questo ha avuto come esito un ciclopico complesso industriale caratterizzato da un forte rigore geometrico: i prospetti sono scanditi da una maglia ortogonale di telai in acciaio verniciati di rosso, completati da un alternarsi di mattoni rossi e ampie finestre a nastro dai telai in ferro. Le dimensioni dell'impianto, la sua rilevanza nella storia industriale della Germania così come l'alto valore architettonico dato dall'applicazione dei principi dell'architettura moderna hanno fatto sì che diventasse Patrimonio UNESCO nel 2001. Il suo recupero è stato condotto tra il 1992 e il 1997, principalmente per mano degli architetti Heinrich Böll e Hans Krabel [121].

Figura 3.8-10: L'impianto di estrazione mineraria di Zollverein (https://whc.UNESCO.org/en/list/975/)

La sfida: stato di degrado e vincoli

La chiusura definitiva dell'impianto avvenuta nel 1993 rischiava di lasciare in eredità un complesso industriale condannato all'abbandono e al degrado, con conseguenze sia in termini di sicurezza che di rischio ambientale. Nonostante fosse stata eseguita una manutenzione costante delle strutture dell'impianto consentendone una ottimale conservazione, la necessità di individuare nuove destinazioni d'uso rischiava di implicare interventi architettonici pesanti e lesivi della loro identità formale. Un altro fattore non trascurabile riguardava inoltre il tema della valorizzazione della struttura in quanto "macchina" di estrazione del carbone, una prospettiva resa possibile grazie alla conservazione dei macchinari [122].

[121] PETERSON MENOZZI 2017.
[122] OEVERMANN, MIEG 2012.

Strategie di conservazione dell'immagine

Il caso del recupero dell'impianto di Zollverein è assolutamente unico nel suo genere se si considera la molteplicità delle nuove destinazione d'uso che si sono insediate al suo interno. Data la volontà degli architetti di preservarne al meglio l'identità architettonica di derivazione Bauhaus, si sono rese necessarie strategie di intervento sull'involucro differenziate:

- Per i primi spazi espositivi del 1992, grazie alla possibilità di mantenere una temperatura interna sui 14° C, i progettisti hanno optato per il semplice restauro della facciata, senza alcuna sostituzione o addizione tecnologica; solo per i tamponamenti completamente opachi è stato aggiunto un isolamento interno costituito da laterizi forati rivestiti con malta cementizia
- Il progetto del Red Dot design Museum del 1997 richiedeva invece il raggiungimento di prestazioni termiche superiori, pur mantenendo dei compromessi sulla temperatura interna limitata a 16° C; la soluzione adottata ha visto il restauro completo della facciata esterna, con la sostituzione dei vetri singoli in favore di un sistema a vetrocamera, direttamente sui telai esistenti mediante fissaggio dall'interno
- Sempre del 1997 è la realizzazione del ristorante Zorvellein Casino, la quale richiedeva di raggiungere i massimi standard di comfort termo-igrometrico; si è deciso di preservare gli infissi originali realizzando una seconda pelle trasparente, composta da telai metallici a taglio termico e un sistema a vetrocamera, installati su una controparete isolante di nuova costruzione
- Approccio differente per gli spazi dedicati a *workshop*, attività direzionali e didattiche; è stata preferita in questo caso logica del *box-within-a-box* con la realizzazione di nuovi involucri all'interno della struttura esistente, permettendo il massimo grado di conservazione delle facciate originali e di sfruttare per la distribuzione lo spazio creatosi tra "nuovo" ed "esistente"

Una varietà di soluzioni tecniche differenti che rendono il caso studio di Zollverein particolarmente importante nell'ambito del recupero dell'edilizia industriale [123].

Il progetto del nuovo

L'intervento di recupero ha dato nuova vita all'impianto di Zollverein trasformandolo in un polo culturale polifunzionale tanto da valersi dell'appellativo di "Guggenheim industriale". Tra le principali nuove funzioni si annoverano:

- Il Ruhr Museum, ricavato all'interno del lavatoio del carbone, vede una stretta integrazione tra esistente e nuove funzioni. L'accesso al museo avviene dall'alto mediante l'utilizzo di una imponente scala mobile di 24 metri che richiama i ponti di trasporto del carbone, impreziosita da una illuminazione che "incendia" la struttura e richiama l'attività produttiva passata. All'interno dell'edificio l'imponente apparato di macchinari è stato conservato, diventando l'infrastruttura sulla quale installare le teche e i percorsi museali, creando un ambiente altamente suggestivo che mette in relazione la storia naturale del territorio con quella industriale del sito.
- Il progetto del Red Dot Design Museum firmato dallo studio Foster&Partners ha seguito delle logiche simili, conservando una delle cinque caldaie come testimonianza del passato produttivo. L'intervento ha mirato in particolare allo sfruttamento delle grandi volumetrie realizzando un sistema distributivo a più livelli, il quale funge sia da connettivo per le diverse tappe espositive, sia da punto di vista privilegiato verso l'articolato sistema di ballatoi e infrastrutture meccaniche, un

[123] AYON, POTTGIESSER, RICHARDS 2019.

tempo cuore pulsante dell'attività industriale. La felice integrazione tra le icone del design industriale e le vissute strutture dell'impianto crea una sinergia unica e la reciproca valorizzazione.

Sintesi critica ed esito formale

Il caso di Zollverein dimostra come sia possibile affrontare il tema del progetto sul costruito e la conservazione dell'esistente mediante diverse strategie, ciascuna valida e giustificata dalle diverse necessità funzionali delle nuove destinazioni d'uso. Il risultato finale è la perfetta simbiosi tra l'estetica razionalista degli anni '30 e ponderate addizioni contemporanee, dove il nuovo non sovrasta il passato, bensì lo valorizza come scenario narrativo.

Figura 3.8-12: Una sala del Red Dot Design Museum, dove l'esposizione si unisce alla struttura esistente (https://www.mynewsdesk.com/red-dot-design-award/pressreleases/70-years-of-the-red-dot-design-museum-anniversary-exhibition-70-years-of-design-masterpieces-selected-by-peter-zec-3410470)

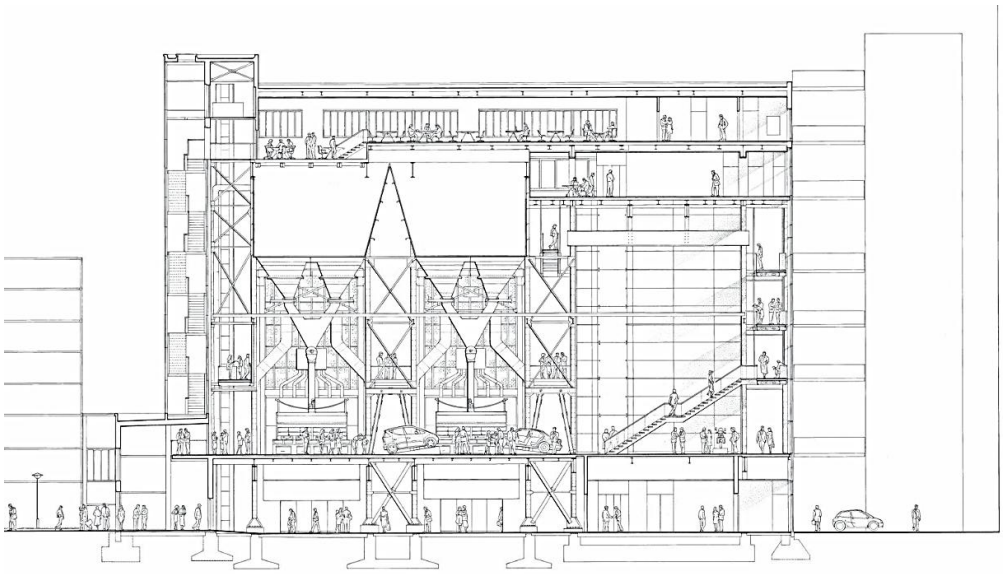


Figura 3.8-11: Sezione del Red Dot Deisgn Museum (https://www.fosterandpartners.com/projects/red-dot-design-museum)

4 Il rilievo geomatico

4.1 La teoria del rilievo

4.1.1 Lo stato dell'arte

4.1.1.1 Introduzione

La geomatica, complessa disciplina che ha l'arduo compito di descrivere la geometria del territorio che abitiamo, si avvale di diversi strumenti ed è in costante evoluzione. Alle discipline primarie (cartografia, geodesia e topografia), si sono aggiunte, con lo sviluppo degli strumenti informatici e digitali, delle tecniche di telerilevamento quali la fotogrammetria e il Lidar.

La fotogrammetria ed il LiDAR sono tecniche estremamente efficaci nella descrizione geometrica di oggetti sulla scala edilizia, in quanto consentono il raggiungimento di precisioni e tolleranze elevate, compatibili con le scale di rappresentazione di tali oggetti[124].

4.1.1.2 Topografia tradizionale

La Topografia è «quella disciplina che studia gli strumenti e i metodi atti alla misurazione e alla rappresentazione di parti della superficie fisica della Terra, di dimensioni sufficientemente piccole perché se ne possa trascurare la sfericità; l'insieme dei metodi stessi»[125].

Le sue metodologie vedono oggi largo impiego non solo nella descrizione del territorio, ma anche in cantieri civili e edili. Consente infatti la determinazione geometrica del manufatto da costruire o già costruito, nonché il suo posizionamento all'interno di un sistema di coordinate specifico.

Tramite l'osservazione di angoli e distanze, è possibile infatti determinare la posizione di un punto all'interno di un sistema di riferimento. Ad oggi sono disponibili strumentazioni quali le stazioni totali che consentono la misura in contemporanea di queste due grandezze geometriche. Facendo quindi stazione in un punto dalle coordinate note è possibile determinare la posizione di punti osservabili, grazie alle misure combinate degli angoli e della distanza tra strumento e punto.

Laddove la presenza di vertici noti (punti dalle coordinate note) non è sufficiente per l'inquadramento della "rete locale", si procede con un raffittimento della stessa mediante la determinazione di nuovi vertici, operazione che ad oggi viene solitamente eseguita mediante strumentazioni GPS, oppure mediante stazione totale seguendo schemi di raffittimento a poligonale aperta o chiusa.

[124] FEA M., GOMARASCA A.M. 2010.
[125] *Topografia,* Treccani.

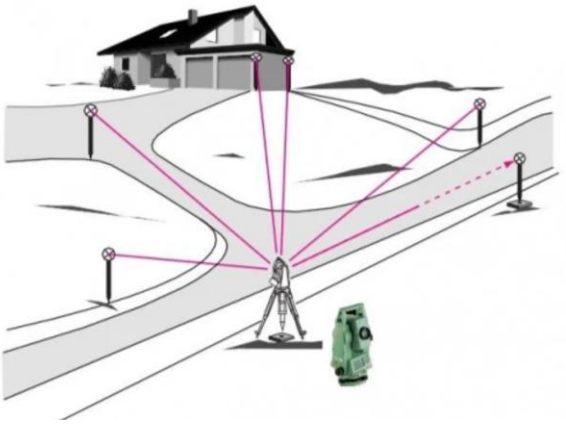


Figura 4.1-2: Schematizzazione di rilievo mediante stazione totale (dispense del Corso di Geomatica A.A. 2021-2022)

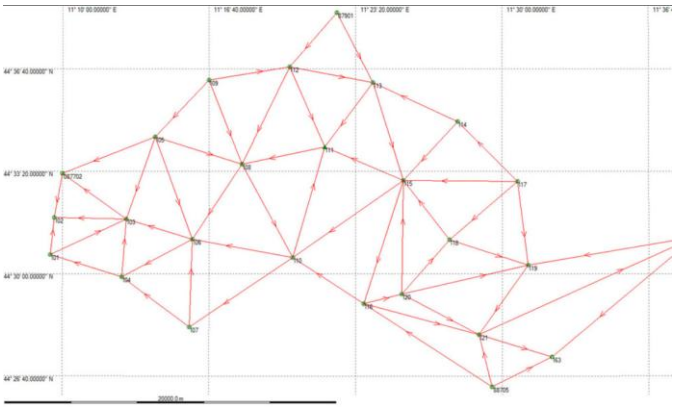


Figura 4.1-1: Esempio di rete di raffittimento per l'inserimento della rete locale ottenuta da stazione totale (dispense del Corso di Geomatica A.A. 2021-2022)

La tecnologia del GPS statico necessita, per la determinazione delle coordinate del punto, che la costellazione dei satelliti sia ben visibile dal punto di presa e che il segnale sia il meno disturbato possibile dall'eventuale presenza di masse o segnali radio esterni che ne possono compromettere la qualità. Il problema della definizione della posizione viene quindi risolto mediante la tecnica della trilaterazione e richiede che la misura della distanza dal punto incognito venga effettuata da quattro satelliti: tre satelliti ne risolvono le incognite spaziali, il quarto invece risolve l'incognita temporale, consentendo la sincronizzazione degli orologi.

Uno dei DATUM tridimensionali più diffusi al mondo e impiegato nelle misurazioni GPS è il WGS84. Esso utilizza come superficie di riferimento per descrivere la Terra l'ellissoide ed è un sistema di tipo geocentrico, solidale con la Terra e che impiega per la definizione dei suoi assi degli elementi geografici convenzionali quali il Polo medio e Greenwich.

Tale metodologia di rilievo è particolarmente impiegata oggigiorno durante i processi fotogrammetrici e la georeferenziazione di dati descrittivi del manufatto oggetto di rilievo, come ad esempio le nuvole di punti.

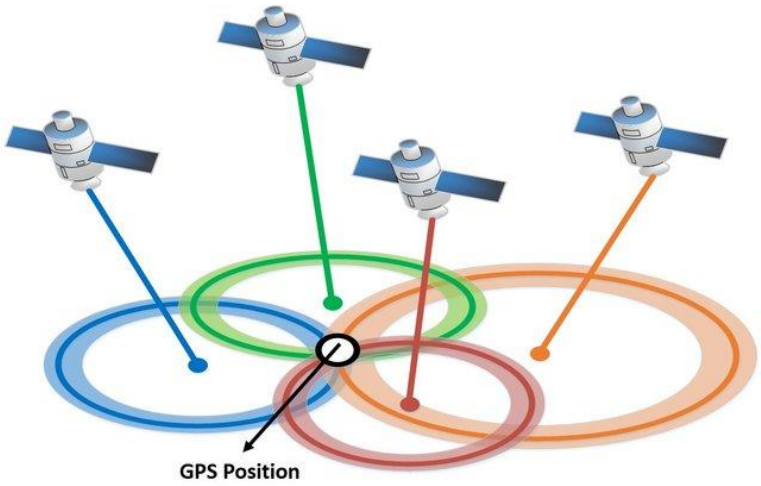


Figura 4.1-3: Schematizzazione del sistema di rilievo mediante costellazione di satelliti (ELEZAB 2015, 8)

4.1.1.3 Fotogrammetria

La fotogrammetria è una tecnica di rilievo che consente la ricostruzione tridimensionale dell'edificio oggetto di rilievo. Essa fa uso della teoria della prospettiva centrale, che permette la rappresentazione 2D di un oggetto 3D. Adottando, dunque, un procedimento inverso teoricamente diventa possibile ricostruire la posizione nelle tre dimensioni di un dato punto date due immagini che lo raffigurano.

Nella realtà sono diverse le incognite da risolvere per poter determinare la posizione spaziale di un punto a partire da un set di immagini che lo descrivono. In particolare, la fotogrammetria richiede di determinare i sei parametri dell'**orientamento esterno** delle camere (x,y,z,ω,ϕ,κ), i tre parametri dell'**orientamento interno** (la distanza focale e le coordinate pixel), la **correzione delle distorsioni** che aggiunge altre otto incognite (due per le distorsioni del sensore, tre per le distorsioni radiali e tre per le distorsioni tangenziali)[126].

Il problema dell'orientamento esterno viene risolto tramite la definizione di equazioni, dette di collinearità, in grado di attuare la trasformazione dalle coordinate immagine (coordinate del punto sul reticolo di pixel) e quelle oggetto (coordinate spaziali reali del punto in esame). Tale procedimento consente pertanto la definizione della posizione spaziale della fotocamera nello spazio.

$$\xi = \xi_0 - c\frac{r_{11}(X-X_0)+r_{21}(Y-Y_0)+r_{31}(Z-Z_0)}{r_{13}(X-X_0)+r_{23}(Y-Y_0)+r_{33}(Z-Z_0)}$$

$$\eta = \eta_0 - c\frac{r_{12}(X-X_0)+r_{22}(Y-Y_0)+r_{32}(Z-Z_0)}{r_{13}(X-X_0)+r_{23}(Y-Y_0)+r_{33}(Z-Z_0)}$$

Figura 4.1-4:Equazioni di collinearità dalle dispense del Corso di Geomatica A.A. 2021-2022

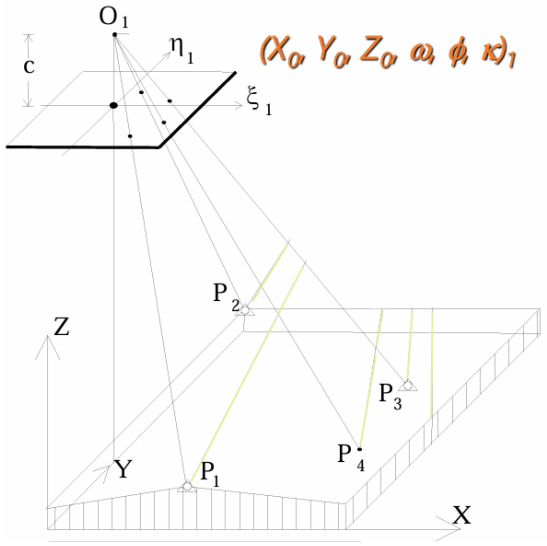


Figura 4.1-5: Sistema immagine e oggetto; immagini tratte dalle dispense del Corso di Geomatica A.A. 2021-2022

L'utilizzo dei *Ground Control Point*, punti dalle coordinate note ricavate da apposito rilievo diretto, consente la risoluzione dell'orientamento esterno: ogni GCP consente infatti la scrittura di due equazioni, portando a tre il numero di GCP necessari per l'orientamento esterno di un singolo fotogramma.

[126] Dispense del prof. Lingue e la dott.ssa Matrone del corso di Geomatica di Ingegneria Edile, A.A. 2021/2022.

La compensazione a stelle proiettive (*Bundle Block Adjustment*) è una tecnica di triangolazione fotogrammetrica dove ogni fotogramma definisce una stella di raggi nello spazio, con i parametri di orientamento esterno del blocco che vengono calcolati all'unisono. Questi vengono stimati in modo tale da consentire l'intersecazione il più precisa possibile dei raggi nei punti di legame e nei GCP. Tale tecnica è resa possibile solo da un'attenta pianificazione del rilievo fotografico che prevede una certa sovrapposizione tra un'immagine e l'altra. In tal modo è possibile, infatti, l'individuazione di punti di legame (ovvero punti identificabili in due o più fotogrammi che non hanno coordinate oggetto note), i quali consentono il miglioramento della stima dei parametri incogniti mantenendo al minimo il numero di GCP, dispendiosi da rilevare sia in termini di tempo che in termini economici.

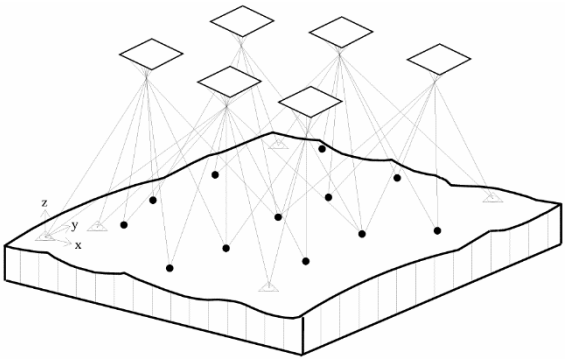


Figura 4.1-7: Rappresentazione del Bundle Block Adjustment; immagini tratte (dispense del Corso di Geomatica A.A. 2021-2022)

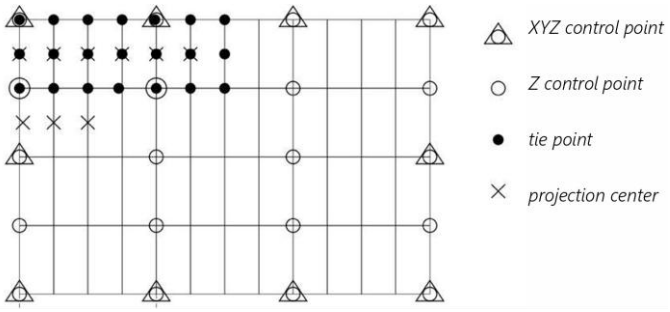


Figura 4.1-6: Schema di pianificazione del rilievo fotografico (dispense del Corso di Geomatica A.A. 2021-2022)

Il problema dell'orientamento interno è invece quello di individuare la posizione in coordinate pixel (x_p;y_p) del centro di presa, oltre che la sua distanza focale *p*. Tali dimensioni geometriche necessitano infatti di una correzione rispetto a quelli che possono essere i dati forniti dall'azienda produttrice del sensore di acquisizione, in quanto soggetti ad imprecisioni in fase di costruzione. Un processo di auto calibrazione consente dunque nelle fotocamere professionali e amatoriali di definire tali parametri, consentendo la ricostruzione della stella proiettiva descritta in precedenza[127].

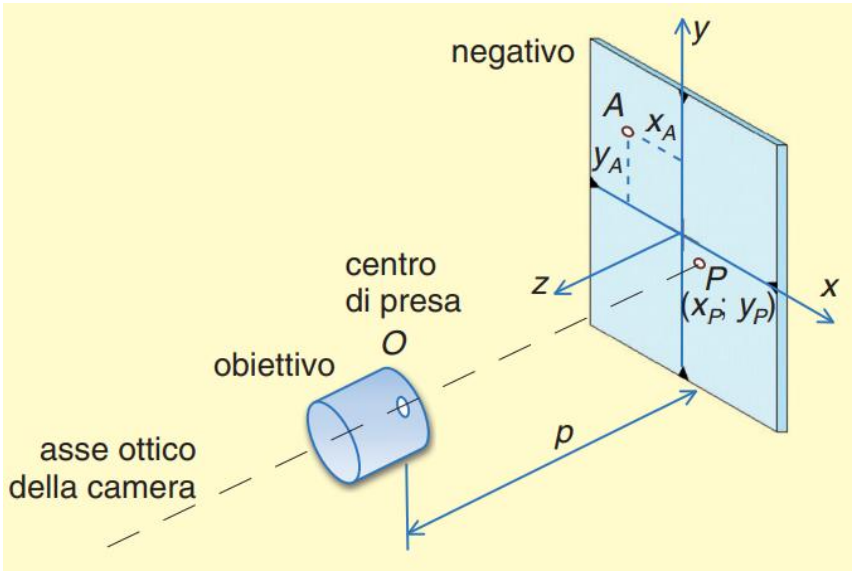


Figura 4.1-8: Geometria dell'orientamento interno (CANNAROZZO, CUCCHIARINI, MASCHIERI 2012)

[127] CANNAROZZO, CUCCHIARINI, MASCHIERI 2012.

La risoluzione completa dell'orientamento interno si ha infine solamente con la correzione delle distorsioni da cui ogni sensore è affetto. È infatti impossibile fabbricare un sensore che abbia le maglie del reticolo di pixel perfettamente perpendicolari, causando dunque dei minimi errori nella fase di cattura dell'immagine che però sono di rilevanza in ambito fotogrammetrico.

Allo stesso modo vi sono altre due tipologie di deformazioni che compromettono la fedeltà geometrica di un'immagine rispetto allo spazio oggetto, ovvero le distorsioni tangenziali e quelle radiali. Se nel primo caso l'errore è dovuto alle fasi di montaggio delle ottiche, nel caso delle distorsioni radiali, queste sono una conseguenza della complessità del sistema ottico che comporta una deviazione della direzione del raggio tra lo spazio oggetto e quello immagine. Tali deformazioni possono essere stimate tramite procedimenti analitici di autocalibrazione al fine di ridurre al minimo l'errore nella restituzione fotogrammetrica.

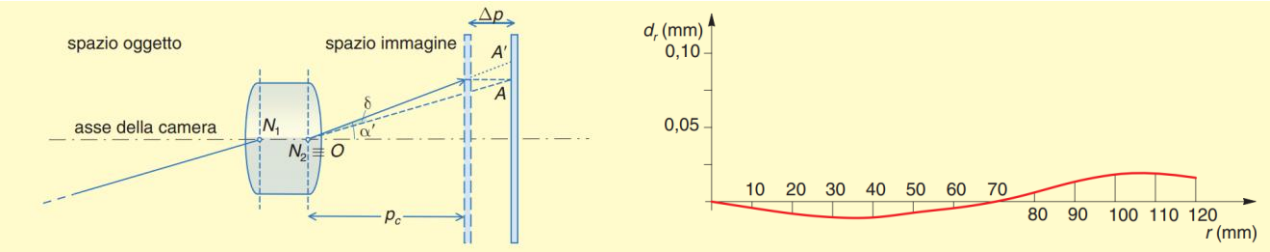


Figura 4.1-9: Effetti della correzione della distorsione radiali tramite la modifica del centro di presa "p" (CANNAROZZO, CUCCHIARINI, MASCHIERI 2012)

La stima dei parametri di orientamento interno e delle deformazioni precedentemente descritte consente dunque la riscrittura delle equazioni di collinearità, definendo una più accurata correlazione tra le coordinate immagine e quelle oggetto.

Il processo fotogrammetrico si conclude con la fase di restituzione, che prevede la definizione delle coordinate oggetto di un punto attraverso l'utilizzo del modello stereoscopico. A partire da due immagini che contengono al loro interno un "punto omologo" è possibile, infatti, scrivere quattro equazioni di collinearità e determinare empiricamente le coordinate oggetto X, Y, Z.

Essendo però impossibile determinare con esattezza tali dimensioni, il tema viene risolto da un punto di vista statistico, attraverso la linearizzazione nelle tre incognite delle equazioni di collinearità e mediante l'uso del metodo dei minimi quadrati. Solo in questo modo è possibile definire una stima delle tre coordinate.

$$\xi = \xi_0 + \Delta\xi_1 + \Delta\xi_2 - c\frac{r_{11}(X-X_0)+r_{21}(Y-Y_0)+r_{31}(Z-Z_0)}{r_{13}(X-X_0)+r_{23}(Y-Y_0)+r_{33}(Z-Z_0)} = \xi_0 + \Delta\xi_1 + \Delta\xi_2 - c\frac{Z_x}{N}$$

$$\eta = \eta_0 + \Delta\eta_1 + \Delta\eta_2 - c\frac{r_{12}(X-X_0)+r_{22}(Y-Y_0)+r_{32}(Z-Z_0)}{r_{13}(X-X_0)+r_{23}(Y-Y_0)+r_{33}(Z-Z_0)} = \eta_0 + \Delta\eta_1 + \Delta\eta_2 - c\frac{Z_y}{N}$$

Figura 4.1-10: Equazioni di collinearità riscritte; tratto dalle dispense del Corso di Geomatica A.A. 2021-2022

I moderni software di restituzione fotogrammetrica fanno uso delle basi precedentemente esplicate e consentono una parziale automatizzazione del processo mediante la tecnica dell'*Image matching*. Grazie ad algoritmi di riconoscimento dei punti omologhi (detti anche *Feature extractor*), che sono in grado di individuarne una grande quantità tra le varie coppie di fotogrammi, è possibile infatti automatizzare le fasi di allineamento relativo delle camere e contribuire allo stesso tempo ad una migliore stima delle coordinate oggetto.

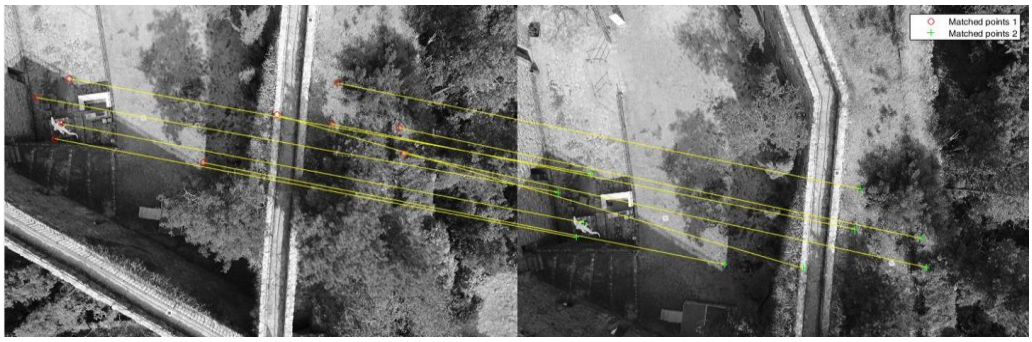


Figura 4.1-11: Image matching; immagine tratta dalle dispense del Corso di Geomatica A.A. 2021-2022

Le prescrizioni operative per ottenere un *Image matching* valido e una restituzione fotogrammetrica ottimale riguardano il problema della ricostruzione tridimensionale (*Structure from motion*) e la riproiezione delle immagini. In fase di acquisizione delle immagini occorre infatti porre grande attenzione sul ricoprimento longitudinale (sovrapposizione) tra fotogramma e fotogramma, al fine di avere un alto numero di *Tie points* tra fotogramma e fotogramma, migliorando la stima dei parametri per l'orientamento esterno.

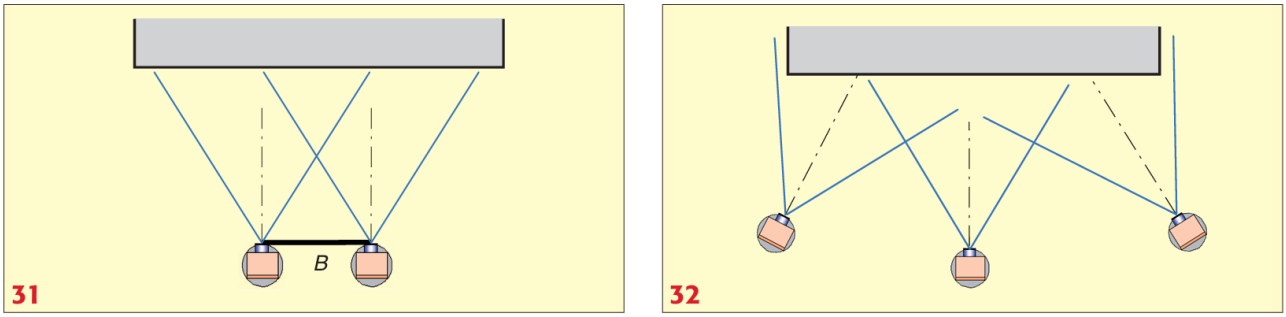


Figura 4.1-12: L'importanza della sovrapposizione e della presa da angoli diversi nella fotogrammetria (CANNAROZZO, CUCCHIARINI, MASCHIERI 2012)

4.1.1.4 Sistemi di rilievo LiDAR

I sistemi di laser scanner consentono l'acquisizione di dati 3D con un alto livello di dettaglio e precisione, caratteristica che, unitamente all'abbassamento dei loro costi di produzione, ne ha favorito un sempre più ampio impiego in svariati ambiti: da quello ingegneristico-architettonico a quello industriale, dall'ambito archeologico a quello medico.

Questi sistemi consentono di effettuare la misura dei punti senza un contatto diretto con l'oggetto del rilievo sfruttando dei principi fisici che riguardano le proprietà e caratteristiche della luce. Ed è proprio l'utilizzo che si fa della radiazione luminosa che stabilisce una prima classificazione delle tecniche di rilievo 3D. È possibile, infatti, eseguire un'osservazione della luce seguendo due strategie differenti: la prima si basa sui principi della triangolazione, mentre la seconda si basa velocità della luce. Si tratterà in seguito dei principi alla base della seconda strategia, che risulta essere quella più adatta alla scala del rilievo architettonico-territoriale.

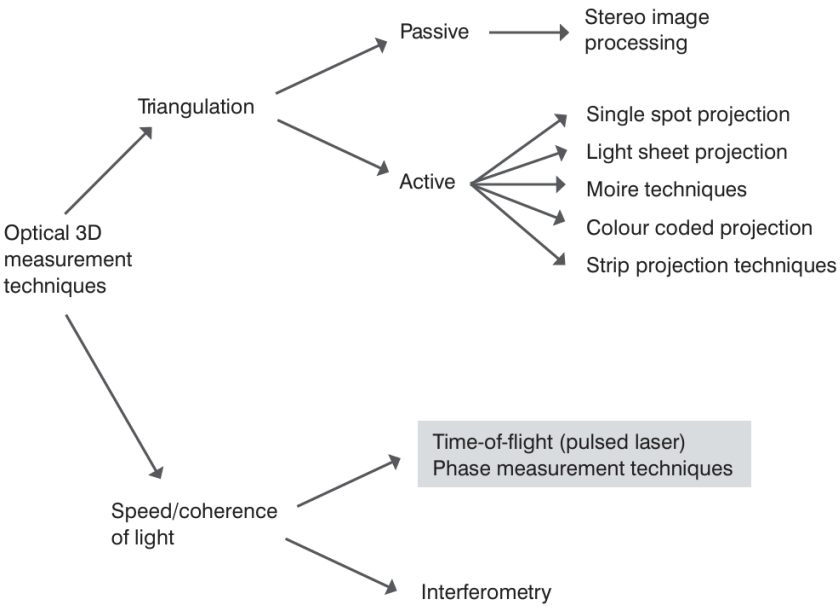


Figura 4.1-13: Tecniche e metodi di rilievo LiDAR (VOSSELMAN, MAAS 2010)

Il sistema LiDAR che sarà poi infatti impiegato durante il rilievo della ex Centrale Termica basa il suo funzionamento sul principio del *Time-of-flight*. Conoscendo infatti la velocità della luce, i coefficienti di correzione per le rifrazioni dovute al mezzo di propagazione (aria) ed il tempo impiegato dal fascio di luce stesso per colpire un punto nello spazio e tornare indietro al ricevitore (il cosiddetto *Time-of-flight*) è possibile determinare la distanza che intercorre tra punto e strumento laser.

Molto importante è dunque la modalità con la quale viene effettuata la misura del *tempo di volo*. Risulta infatti critico stabilire l'istante nel quale si rileva il fascio di luce di ritorno, in quanto questo può risultare frammentato e non univoco a causa delle peculiarità dell'oggetto di rilievo. A tal proposito, il metodo del *Constant fraction detection* è risultato essere un buon compromesso in quanto questo misura il tempo nel momento in cui il fascio di ritorno ha raggiunto il 50% della sua ampiezza massima, restituendo una misura che non dipende dalla presenza eventuale di più picchi nel segnale di ritorno come nel caso del metodo *Peak detection*. Infine, si riporta in fig. 1.1-13 una schematizzazione della catena di rilievo che si trova alla base dei sistemi Lidar.

$$\rho = \frac{c}{n}\frac{\tau}{2}$$

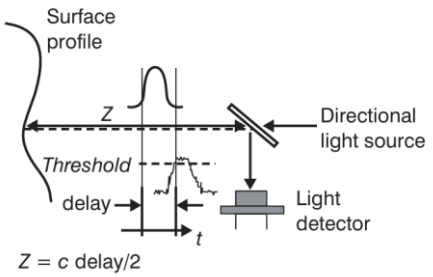


Figura 4.1-14: Dove ρ è la distanza misurata, c la velocità della luce, t il tempo di volo, n il coeff. di correzione (VOSSELMAN, MAAS 2010)

4.1.2 Recenti sviluppi

Lo sviluppo di fotocamere in grado di catturare la radiazione luminosa in altre bande dello spettro elettromagnetico rispetto all'RGB ha consentito il progredire di tecniche per lo studio approfondito di materiali. Sono infatti diversi gli ambiti dove le fotocamere multispettrali e iperspettrali trovano già largo impiego, come quello dei beni culturali o quello dell'agricoltura, consentendo analisi che sarebbero irrealizzabili nel solo campo del visibile.

Tale metodologia di rilievo dei materiali è ancora oggetto di ricerca nell'ambito dell'edilizia. Si intravedono infatti le potenzialità applicative di tale tecnologia, che potrebbe fornire nuove importanti metodologie di rilievo e studio del degrado degli edifici, potenziando gli strumenti non invasivi a disposizione del professionista che si occupa del loro recupero.

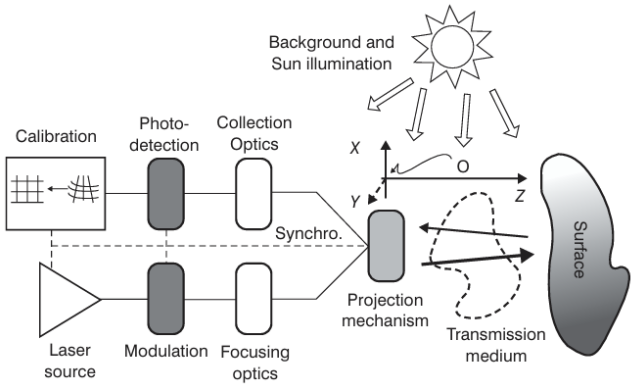


Figura 4.1-15: Schematizzazione del processo di rilievo via Lidar (VOSSELMAN, MAAS 2010)

Verrà inoltre fatto il punto sulla ricerca condotta nel campo della "GeoAI", un ambito in forte fase di sviluppo dove l'intelligenza artificiale viene impiegata per l'analisi di grandi dataset di immagini multi e iperspettrali, al fine di sviluppare algoritmi capaci di analizzare preliminarmente lo stato di degrado e delle alterazioni, in un'ottica di diminuire le importanti risorse richieste durante tali fasi di studio dell'esistente.

4.1.2.1 Impiego di immagini multispettrali

L'analisi e comparazione di immagini catturate in diverse bande della radiazione luminosa consente di andare oltre rispetto a ciò che è visibile, facilitando l'individuazione di determinate patologie che frequentemente si manifestano sulle costruzioni. Ciò è reso possibile grazie a sensori che integrano l'informazione RGB con ulteriori bande della radiazione elettromagnetica, come ad esempio la banda *Red Edge* (RE, Banda 730 nm) e il *Near Infrared* (NIR, Banda 860 nm).

Un esempio di utilizzo è il rilevamento della vegetazione, il cui spettro di riflettanza è caratterizzato da un picco di emissività nelle bande dell'infrarosso, rendendola facilmente individuabile da sensori che catturano tali onde elettromagnetiche. Per questo motivo le prime applicazioni risalgono già agli anni '70 nell'ambito agricolo, per lo studio su vasta scala dell'evoluzione della vegetazione durante le stagioni. La ricerca in tale ambito ha portato a poter determinare lo stato di salute delle piante in base all'intensità della radiazione emessa nell'infrarosso, offrendo un potente strumento di analisi.

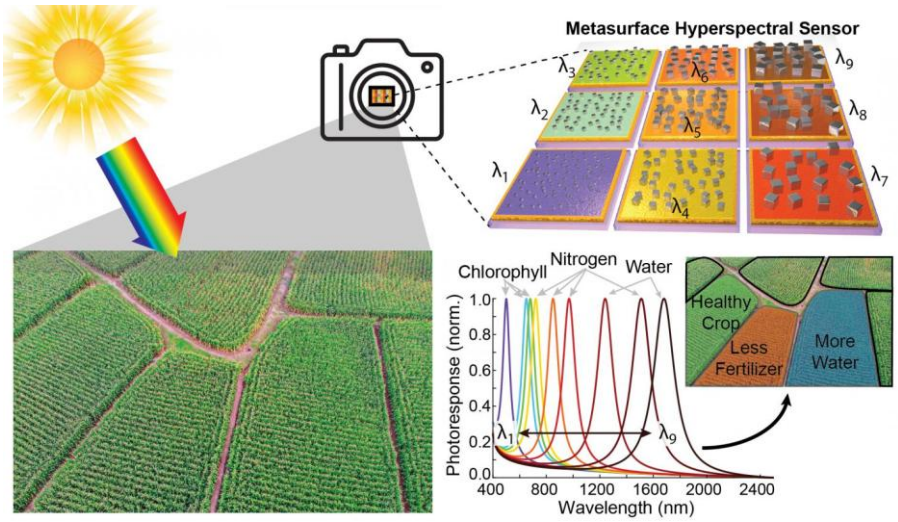


Figura 4.1-16: Esempio di utilizzo di un sensore multi-spettrale per l'analisi del raccolto; in base alle curve spettrali è possibile risalire alle concentrazioni di alcune sostanze nelle piante, utili a comprendere lo stato di salute della pianta

I frutti di questa ricerca possono essere applicati dunque anche nel riconoscimento del degrado e delle alterazioni di natura vegetale, come la formazione di patine biologiche e la presenza di vegetazione. È infatti possibile mettere in risalto questi particolari fenomeni mediante la combinazione di diverse bande di riflettanza e l'impiego dei BRP (*Band Ratio Parameter*), come dimostrato da D. Mader et al. [128] i quali sono stati capaci di definire uno specifico BRP per l'identificazione della vegetazione:

$$BRP_{NIR-red} = \frac{(NIR - red)}{(NIR + red)}$$

Gli stessi ricercatori sono stati inoltre in grado di identificare la presenza d'acqua sulle superfici di una costruzione mediante l'utilizzo di una termocamera. Infatti, poiché le proprietà di capacità termica dell'acqua e dei materiali da costruzione sono differenti, una facciata riscaldata dalla radiazione solare mostrerà delle macchie a temperature inferiori laddove vi è la presenza di acqua, essendo questa più fredda rispetto ai materiali di rivestimento della costruzione.

Un'ultima considerazione che può essere fatta sull'utilizzo delle immagini multispettrali in questo ambito riguarda la quantità di dati da analizzare. Poiché i sensori più comuni consentono di catturare non più di tre bande oltre alle RGB, il numero di fotogrammi da analizzare rimane relativamente basso, consentendo ad un operatore umano di svolgere agevolmente tali operazioni.

4.1.2.2 Immagini iperspettrali e la classificazione supervisionata

Per automatizzare il più possibile il processo di analisi del degrado diventa necessario individuare le curve di riflettanza spettrale caratteristiche di ciascuna tipologia di degrado, una vera e propria firma radiometrica costituita dai suoi valori di riflettanza su decine di frequenze dello spettro elettromagnetico. Per farlo occorre però, dotarsi di una strumentazione ben più sensibile rispetto a quella di una fotocamera multispettrale, che è in grado di rilevare per definizione al massimo dalle cinque alle sette bande dello spettro di riflettanza.

[128] MADER et al. 2016.

Tale strumento è la fotocamera iperspettrale, un sensore ottico capace di registrare l'informazione radiometrica su oltre cento bande della radiazione elettromagnetica, restituendo delle immagini dove ogni pixel contiene gli attributi utili alla definizione di una curva di riflettanza spettrale ad alta risoluzione. Questo offre l'opportunità di creare un database contenente le curve di riflettanza spettrale specifiche delle varie patologie, step fondamentale per il raggiungimento di un'automatizzazione nel riconoscimento delle stesse.

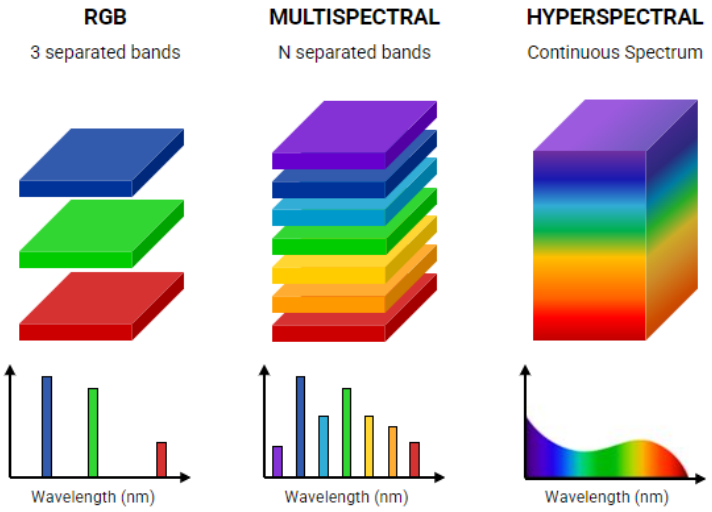


Figura 4.1-17: Le differenti risoluzioni spettrali in grado di offrire i sensori ottici comuni (RGB), quelli multispettrali e infine quelli iperspettrali (https://nireos.com/application/what-is-hyperspectral-imaging/)

Myeong Seong Lee et al. [129] sono stati in grado di applicare tale tecnologia e metodo su monumenti religiosi in pietra tipici della cultura sudcoreana. Dopo aver acquisito delle immagini iperspettrali del caso studio hanno proceduto con una correzione radiometrica (pulizia della rifrazione della superficie terrestre) e una correzione atmosferica (diffusione ed assorbimento delle particelle d'aria che possono alterare il dato). In seguito, dopo aver definito le curve di riflettanza spettrale specifiche per le differenti tipologie di degrado presenti, hanno impiegato una tecnica di classificazione supervisionata delle immagini. Nello specifico, l'algoritmo di catalogazione dei pixel impiegato è stato lo *Spectral Angle Mapper* (SAM) ed ha consentito una rapida classificazione del degrado, consentendo attraverso il conteggio del numero di pixel di definire il tasso di danno provocato da ciascuna patologia.

[129] CHUN et al. 2015.

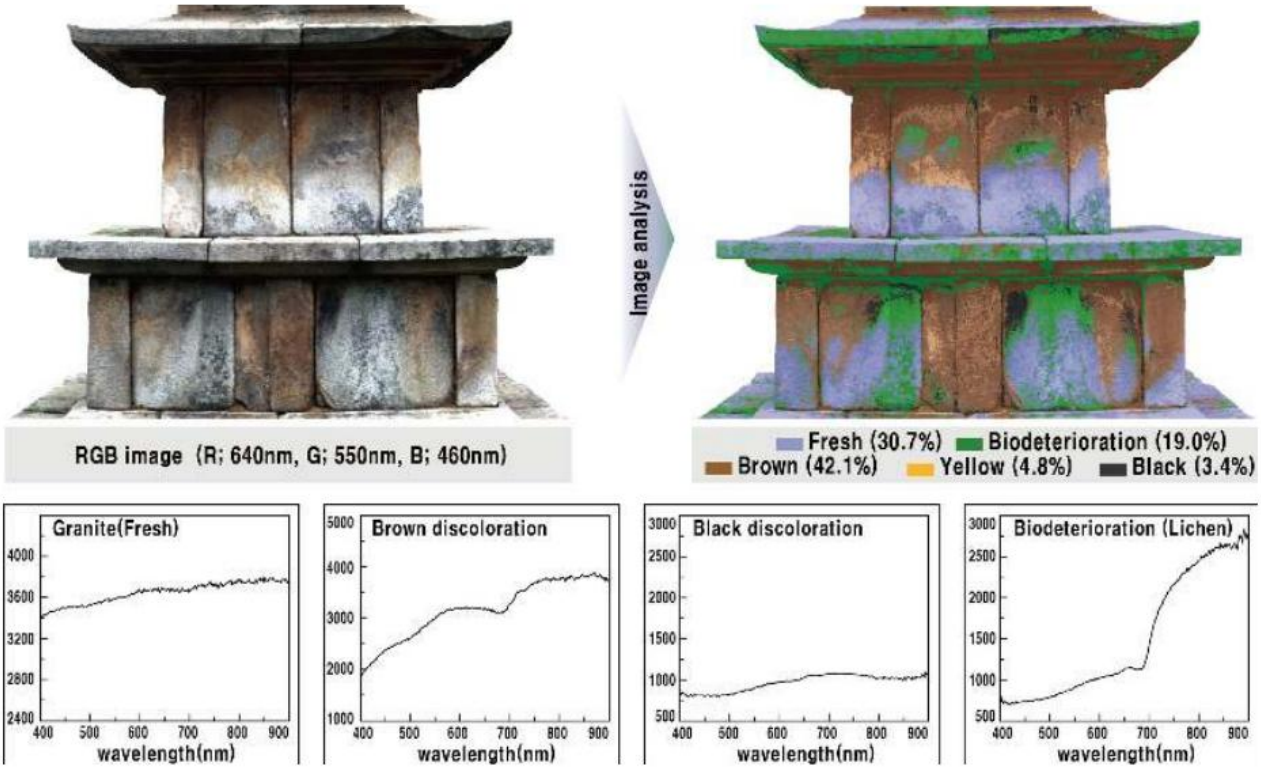


Figura 4.1-18: Classificazione delle immagini della pagoda in pietra a cinque piani del tempio di Muryangsa (CHUN et al. 2015)

4.1.2.3 Artificial Intelligence (AI) e deep learning per la classificazione non supervisionata

Un'altra opportunità nello sviluppo di tecniche di riconoscimento automatizzato del degrado di un edificio è offerta dall'avvento della AI e dall'utilizzo di tecniche di segmentazione delle immagini che sono state sviluppate in particolare nel settore dell'*automotive* e della guida autonoma.

Segmentare un'immagine significa, partendo da un'immagine RGB (o altre bande), definire delle regioni di interesse (ROI) ed attribuirne una "etichetta". L'immagine di output, dunque, avrà le stesse dimensioni di quella originale con la differenza che i pixel, anziché avere l'attributo RGB, avranno il colore associato alla categoria assegnatoli in fare di segmentazione. Questa tecnica, se abbinata alle capacità di *deep learning* offerte dalla AI, consente l'*auto-training* di un algoritmo per la creazione di mappe del danno e del degrado degli edifici.

Efstathios Adamopoulos[130] ha dimostrato che è possibile applicare questa teoria al campo delle costruzioni; nel suo caso studio, mediante un algoritmo di intelligenza artificiale, ha analizzato le mura di cinta di un bastione difensivo saraceno sito in Grecia. A partire da un solido dataset di immagini delle superfici oggetto di analisi, scattate in diverse bande dello spettro di riflettanza e combinate tra di loro, si esegue "manualmente" una prima segmentazione delle patologie su un numero sufficiente di immagini. Tali immagini segmentate dall'uomo diventano dunque il *ground truth*, la base di verità, che verrà impiegata per valutare l'accuratezza della segmentazione effettuata dall'algoritmo. In seguito, quindi, mediante software come MatLab, è possibile allenare al riconoscimento di tali patologie degli algoritmi (reti neurali) già sviluppati per il riconoscimento di *feature* di tipo geometrico, variazioni radiometriche ed altre caratteristiche utili. Questa fase di *training* viene effettuata solitamente sul 60% del dataset di immagini disponibili, con il restante 40% impiegato per la fase di *testing* dell'algoritmo stesso. In particolare, Adamopoulos ha utilizzato algoritmi di segmentazione supervisionata quali Random Tree, Random Forest, Fast Random Forest,

[130] ADAMOPULUS 2021.

ottenendo i risultati migliori proprio con quest'ultimo. L'algoritmo sviluppato ha raggiunto in alcuni casi precisioni dell'ordine dell'85-90% nelle classi di degrado "nessun degrado" "umidità" "incrostazioni nere", dimostrandosi affidabile e solido, mentre ha precisioni inferiori nell'ordine del 40-50% di successo per altre tipologie di degrado come per le "lacune" e la "vegetazione frondosa".

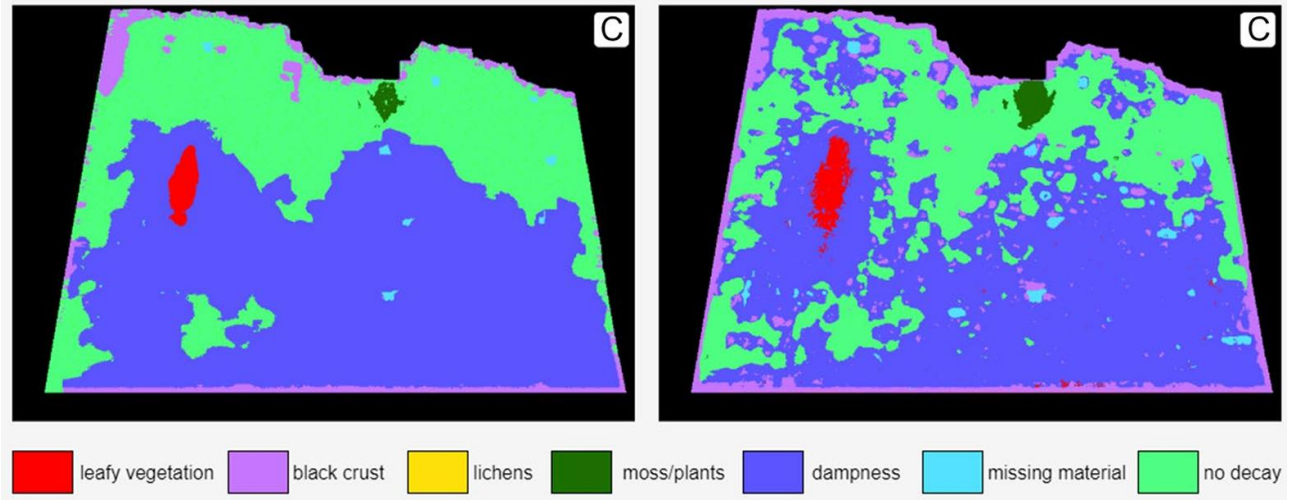


Figura 4.1-19: Mappe di deterioramento di riferimento (a sinistra) e corrispondenti mappe di deterioramento prodotte con un'immagine multispettrale NIR-R-G utilizzando il classificatore Fast Random Forest (a destra) (ADAMOPOULOS 2021)

Al momento, le principali problematiche di tale tecnologia sono la scarsa affidabilità dell'algoritmo nell'analisi di dataset sulle quali non è mai stato fatto allenare (*zero-shot*) e la mancanza di un vasto dataset di immagini da analizzare, prerequisito fondamentale nel campo del *deep learning* per lo sviluppo di un algoritmo efficace e attendibile.

4.1.2.4 Integrazione con il BIM

L'inserimento all'interno di un modello BIM 3D delle informazioni catturate dai sensori multi o iperspettrali diventa dunque uno step fondamentale in un'ottica di gestione e manutenzione dell'edificio. Come illustrato infatti nella ricerca di Kinjiro Amano et al.[131] è possibile, attraverso una riproiezione dell'immagine multi o iperspettrale, applicare tali informazioni alla nuvola di punti dell'edificio. In questa maniera, attraverso campagne di rilievo con apposite strumentazioni, si può tenere traccia anche nel tempo dell'evoluzione del degrado, consentendo accurate analisi volte alla progettazione degli interventi di restauro, recupero e consolidamento.

[131] AMANO, LOU, EDWARDS 2019.

4.2 Acquisizione dati

Il rilievo della ex Centrale Termica Olivetti è stato pianificato in data 27 ottobre 2023 ed eseguito in Ivrea il giorno 10 novembre 2023. Avendo la proprietà dell'edificio negato l'accesso al suo interno, le operazioni sono state condotte tutte in esterno. Le condizioni meteo durante il rilievo sono state per lo più favorevoli, con una luce naturale diffusa durante il mattino e diretta invece durante le prime ore pomeridiane.

Al rilievo hanno partecipato:

- Dottoressa Sara Fasana (DISEG)
- Professor Andrea Maria Lingua (DIATI)
- Ingegner Ilaria de Luci (DISEG)
- Dottor Alessio Martino (DIATI)
- Architetto Francesca Matrone (DIATI)
- Geometra Paolo Felice Maschio (DIATI)
- Luca Montemaggi
- Professor Marco Zerbinatti (DISEG)

Dopo le prime fasi di posizionamento dei *marker* e della misura della rete d'inquadramento mediante GPS sono stati eseguiti un rilievo fotogrammetrico da terra, un rilievo da drone dotato di sensori multispettrali, un rilievo LiDAR terrestre e infine un rilievo sempre da terra eseguito con una camera iperspettrale.

4.2.1 Il rilievo d'inquadramento

Come prima cosa è stata determinata la posizione di alcuni punti a terra che avrebbero poi costituito la rete d'inquadramento del rilievo. Tali punti, denominati "1000" – "2000" – "3000", sono stati scelti in modo tale che fossero visibili a coppie e per far sì che, nelle successive fasi di collimazione di punti con stazione totale, questa fosse in grado di traguardare tutti i punti notevoli dell'edificio.

Per la determinazione delle coordinate dei punti è stato utilizzato un GPS statico modello Leica System 1200. Il primo step ha visto la loro materializzazione a terra mediante il fissaggio di chiodini, per poi passare al posizionamento della strumentazione GPS, con la messa in bolla dello strumento e la misura dell'altezza da terra. Per ciascuno dei punti d'inquadramento sono state scattate delle immagini, che vengono qui riproposte, al fine del riconoscimento della loro posizione e per la successiva stesura delle monografie. Il rilevamento delle coordinate nel sistema UTM WGS84 ha richiesto mediamente un tempo di circa quaranta minuti.

Rilievo "Ex Centrale Termica Olivetti"

Luogo: Ivrea (TO)
Anno 2023

Politecnico di Torino
Operatori: Andrea Maria Lingua; Francesca Matrone; Luca Montemaggi

MONOGRAFIA DI VERTICE DELLA RETE PRINCIPALE DI INQUADRAMENTO	VERTICE 1000

Planimetria di base

Immagine monografia vertice

Tipo di materializzazione: Chiodino metallico
Acquisizione foto (dispositivo e proprietario): Samsung A33 (Luca Montemaggi)
Strumento di rilievo: Leica System 1200
Strumento misura (uncino/rotella…): rotella
Tipo di antenna:
Data: 10/11/2023
Operatore: Andrea Lingua

Coordinate	Sistema
E= 7° 59' 29.98100"; N= 45° 18' 35.69707"; h= 308.9897m	**UTM WGS84**

Figura 4.2-1: Esempio di Monografia del vertice di rete V1000

4.2.2 Il rilievo di dettaglio

Durante le fasi di rilievo della rete di inquadramento, sono stati individuati dei punti significativi, sia a terra che sull'edificio, mediante appositi segnali. Sulle facciate della Centrale Termica e su quelle degli edifici circostanti, sono stati applicati dei *marker* numerati al fine di materializzare tali punti significativi, utili per aumentare il numero di punti di appoggio, oltre a quelli architettonici già presenti. La stessa operazione è stata eseguita quindi a terra, segnalando specifiche geometrie quali angoli di tombini o creandone di apposite, mediante la formazione di croci con una vernice spray lavabile.

Figura 4.2-2: Posizionamento di un marker sulla facciata sud dell'edificio e 'identificazione a terra di un punto notevole (immagine di Luca Montemaggi)

4.2.3 Fotogrammetria terrestre

Al fine di ottenere delle ortofoto dei prospetti che fossero compatibili con la scala del rilievo è stato eseguito un rilievo fotogrammetrico terrestre. Tale rilievo, eseguito con una camera FUJIFILM GFX100 II, è stato eseguito dal geometra Maschio Paolo, seguendo le accortezze necessarie alla corretta restituzione durante le fasi di presa.

Potendo infatti contare sulla restituzione fotogrammetrica per via analitica eseguita mediante il software Metashape, si è potuto operare una fotogrammetria non convenzionale, evitando di eseguire un rigido controllo su grandezze quali:

- la scala del fotogramma "N"
- l'abbracciamento "L"
- la base di presa "B"
- il controllo del rapporto "B/D"
- l'assetto della camera (normale o non normale all'oggetto di rilievo)

Sono comunque state seguite le prescrizioni fondamentali legate alla sovrapposizione laterale.

Figura 4.2-3: Rilievo fotogrammetrico terrestre, si può notare come gli scatti siano stati effettuati in modo da assicurare ampie porzioni di sovrapposizioni tra gli scatti (immagine di Luca Montemaggi)

4.2.4 LiDAR terrestre

Il rilievo da terra è quindi proseguito con l'acquisizione di scansioni 3D mediante il laser scanner LEICA RTC 360. A supporto del rilievo è stata inoltre utilizzata l'applicazione Leica Cyclone FIELD 360 abbinata alla tecnologia VIS montata a bordo del laser scanner. Questa si è rivelata molto utile per avere un primo allineamento delle scansioni e poter effettuare un controllo qualità sul campo, andando eventualmente a effettuare ulteriori scansioni laddove il dato risultasse poco denso o "disturbato" da fattori esterni.

In totale sono state registrate diciannove scansioni in esterno, prestando attenzione che i vari punti di presa fossero intervisibili e creando volta per volta un link con la scansione precedente, tenendo come base di presa una distanza variabile dai 6 ai 10 metri circa. Ogni registrazione ha richiesto circa due minuti per la sua esecuzione e sono state eseguite con i seguenti parametri:

- Risoluzione: "media" (6 mm a 10 m)
- HDR: "OFF"
- Doppia scansione: "NO" (per eliminare oggetti in movimento)
- VIS: "ON" (*visual inertial system*)

È stato, inoltre, effettuato un tentativo di scansione dell'interno della Centrale Termica posizionando il laser scanner a ridosso degli infissi del lato nord, inserendolo, di fatto, all'interno di un serramento sprovvisto di vetro. In questo caso, essendo l'unica rilevazione effettuabile dell'interno, si è optato per una scansione ad alta densità (3 mm a 10m).

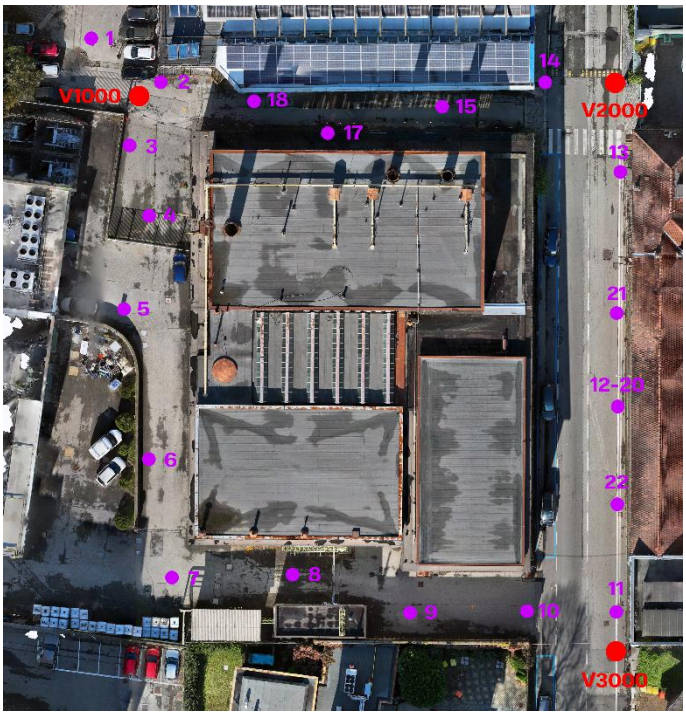


Figura 4.2-5: Eidotipo delle postazioni da cui sono state eseguite le scansioni con LiDAR (immagine di Luca Montemaggi)

Figura 4.2-5:Scansione n°12 della facciata est mediante LEICA RTC 360 (immagine di Luca Montemaggi)

4.2.5 Volo UAV multispettrale

4.2.5.1 Gli obiettivi del rilievo

L'analisi e la mappatura del degrado e delle alterazioni è una operazione tanto importante quanto complessa quando si tratta di conservare edifici dal comprovato valore storico-culturale, come quelli del patrimonio Olivetti. Gli interventi di recupero e restauro non possono prescindere dalle attività di rilievo sul campo e dalle analisi di laboratorio, necessarie per comprendere la natura chimica dei fenomeni osservati e veicolare l'individuazione delle possibili cause[132].

Con l'avvento e la rapida diffusione degli UAV è diventato possibile condurre rilievi fotografici anche in punti difficilmente raggiungibili ricostruendo, attraverso i procedimenti fotogrammetrici già visti, le ortofoto delle facciate, facilitando notevolmente il lavoro del tecnico che ha in tal modo la possibilità di eseguire indagini preliminari ed indirizzare indagini sul campo sulle aree più critiche. Questa metodologia rende infatti possibile eseguire rapide analisi quantitative per determinare, oltre che la distribuzione dei degradi, anche la loro estensione sulla facciata oggetto di studio[133].

Partendo dal presupposto che qualsiasi valutazione sulle tipologie e natura del degrado fatta a partire da dalle ortofoto non può che essere preliminare e quindi necessiti di validazione mediante le tecniche precedentemente citate, è possibile aumentare il quantitativo di informazioni ricavabile da questo tipo di rilievi al fine di raggiungere analisi preliminari più accurate e complete. Diverse ricerche hanno infatti dimostrato il fatto che determinati fenomeni di degrado possono essere più facilmente individuati se si hanno a disposizione immagini che vanno oltre il range visibile dello spettro elettromagnetico[134]. L'acquisizione di un gran numero di immagini, condizione resa possibile anche dall'avvento degli UAV, consente inoltre lo

[132] ADAMOPULUS 2021; CHUN et al. 2015

[133] Mader et al., «POTENTIAL OF UAV-BASED LASER SCANNER AND MULTISPECTRAL CAMERA DATA IN BUILDING INSPECTION».

[134] Hemmleb et al., *Damage detection on buildings surfaces with multi-spectral techniques*.

sviluppo di tecniche di riconoscimento automatizzato dei fenomeni di degrado tramite le reti neurali convoluzionali (CNN)[135].

Benché esistano numerose ricerche che utilizzano dati multispettrali ottenuti da campagne di rilievo terrestri, risultano limitate le esperienze di rilievo del degrado degli edifici mediante tali sensori montati a bordo di droni. Il rilievo ha avuto quindi come intento quello di valutare le potenzialità tali tecnologie in tale settore specifico, evidenziandone criticità e possibili aree di sviluppo.

4.2.5.2 Le operazioni in campo

Il volo UAV è stato eseguito con un drone modello DJI MAVIC 3M con montati a bordo cinque diversi sensori:

- RGB – 20 megapixel
- Red (R) – 5 megapixel – banda 560 ± 16 nm
- Green (G) – 5 megapixel – banda 650 ± 16 nm
- Red Edge (RE) – 5 megapixel – banda 730 ± 16 nm
- Near Infrared (NIR) – 5 megapixel – banda 860 nm ± 26 nm

Per determinare i punti di presa durante le fasi di volo sono stati seguiti i principi di sovrapposizione delle immagini catturate al fine di consentire un'adeguata restituzione fotogrammetrica e un agevole riconoscimento di *Tie points* durante le fasi di orientamento esterno.

Sono stati effettuati due voli con due diverse inclinazioni delle fotocamere. Il primo, di tipo nadirale, ha consentito la cattura della copertura dell'edificio, superfice impossibile da coprire con le tecniche impiegate da terra. Il secondo, invece, ha utilizzato un'inclinazione della sensoristica di circa 45°, al fine di catturare le facciate superiori del Volume Caldaie (clinker blu) e poter allo stesso tempo aumentare i dati circa le facciate, andando ad integrare quelli già registrati mediante la fotogrammetria terrestre ed il rilievo laser 3D.

4.2.6 Celerimensura

Un altro step fondamentale per la campagna di rilievo è stato quello di determinare le coordinate di alcuni punti notevoli sulle facciate della Centrale Termica, delle informazioni fondamentali per l'esecuzione del processo fotogrammetrico e la georeferenziazione della nuvola da LiDAR.

Tale procedura è stata eseguita mediante stazione totale Leica MS50 e il GPS Leica system 1200, facendo stazione nei tre vertici della rete di raffittimento 1000 - 2000 – 3000, i quali sono stati a loro volta collimati per ottenere in fase di compensazione della rete dei valori più affidabili delle loro coordinate.

Essendo infatti ogni misura affetta da errori di diversa natura (casuali, sistematici, grossolani), è bene, laddove richiesta una elevata precisione, che il numero di osservazioni effettuate di un singolo punto sia maggiore di quello strettamente necessario alla determinazione delle tre incognite spaziali.

Dunque, poiché la stazione totale consente durante una singola misura di definire tre osservazioni (due angoli e una distanza), è bene collimare il punto in oggetto da due stazioni differenti oppure eseguire più "strati" della stessa misura dalla medesima stazione. Mentre è stato possibile collimare da due posizioni differenti il GCP 2000, si è dovuta eseguire la tecnica degli "strati" per quanto riguarda invece i vertici 1000 e 3000, a

[135] Hemmleb et al., *Damage detection on buildings surfaces with multi-spectral techniques*; Nasarudin e Shafri, «Development and utilization of urban spectral library for remote sensing of urban environment»; Adamopoulos, «Learning-Based Classification of Multispectral Images for Deterioration Mapping of Historic Structures»; Belcore et al., «RASPBERRY PI 3 MULTISPECTRAL LOW-COST SENSOR FOR UAV BASED REMOTE SENSING. CASE STUDY IN SOUTH-WEST NIGER»; Chun et al., «Utilization of Hyperspectral Image Analysis for Monitoring of Stone Cultural Heritages».

causa dell'impossibilità di stazionare a lungo nell'angolo sud-ovest della Centrale Termica, essendo un ambito privato.

La collimazione dei punti è stata documentata tramite l'elaborazione di eidotipi e dalle immagini catturate dalla stazione totale, la quale esegue automaticamente uno scatto d'inquadramento ed uno di dettaglio su ciascun punto collimato.

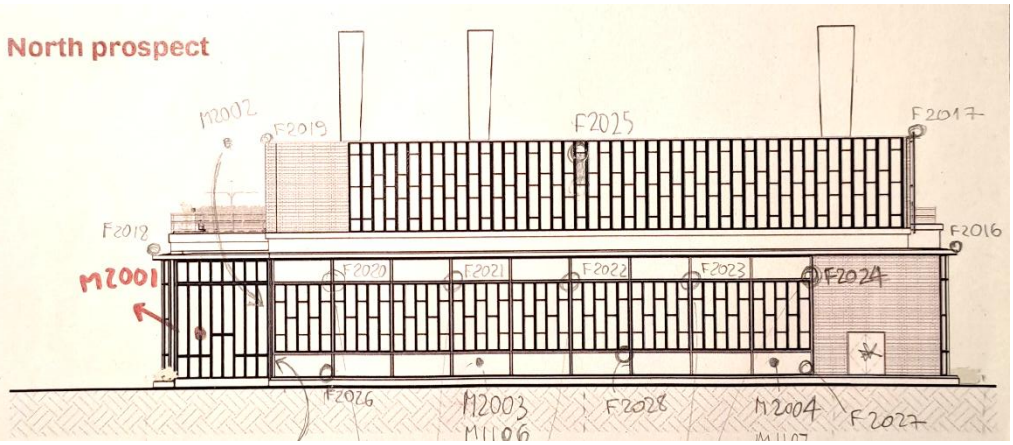


Figura 4.2-6: Edotipo del rilievo eseguito sulla facciata nord della ex Centrale Termica Olivetti

Per una corretta registrazione dei punti è stata adottata la seguente nomenclatura:

- Mxxxx: punto *marker*
- Fxxxx: punto fotografico
- Cxxxx: croce a terra
- Vxxxx: punto a terra
- 1xxx: punto collimato dal GCP 1000 (e così via per gli altri)

La misura delle coordinate dei punti a terra è avvenuta mediante l'ausilio di prismi installati su aste dalle dimensioni note e dotati di livella a bolla per la verticalità. In questo modo è possibile collimare con facilità il punto notevole e ricavare le coordinate corrette dello stesso in fase di elaborazione dei dati, essendo noto lo *shift* verticale dovuto alla lunghezza dell'asta impiegata.

Figura 4.2-7: Collimazione di un punto notevole a terra mediante l'impiego di un prisma (immagine di Luca Montemaggi)

Si evidenziano inoltre due problematiche emerse durante le fasi di rilievo con stazione totale che hanno in parte o del tutto compromesso l'affidabilità del dato registrato:

- I punti materializzati con i *marker*, pur essendo stati fissati con la massima cura alle superfici, presentavano un leggero "spanciamento"
    - Si è tentato di sopperire a tale imprecisione premendo, il *marker* in prossimità del centro sulla superficie di appoggio durante la sua collimazione
- Durante la collimazione dal vertice 1000 è stato inavvertitamente mossa la stazione totale, compromettendo le successive misure dal punto F1114 in poi
    - Come evidenziato nel capitolo seguente, tali punti non saranno poi impiegati per le operazioni di georeferenziazione dei dati

Figura 4.2-8: Collimazione di un marker posizionato sulla facciata Nord dell'edificio soggetto a spanciamento (immagini di Luca Montemaggi)

4.2.7 Camera iperspettrale

4.2.7.1 Gli obiettivi del rilievo

La cattura di immagini iperspettrali e la loro successiva analisi è stata condotta per poterne studiare le potenzialità nell'ambito del rilievo dei degradi e delle alterazioni nel settore delle costruzioni. Se infatti, la comunità scientifica, e di riflesso il mondo imprenditoriale, ha rivolto i propri sforzi per l'impiego delle immagini iperspettrali per la diagnostica in diversi ambiti (su tutti quello agricolo), molto si deve ancora fare per l'applicazione di questa tecnologia per lo studio e l'individuazione delle patologie che affliggono il patrimonio edilizio tutto, ed in particolare quello post-industriale.

Per poter però arrivare all'impiego effettivo delle immagini iperspettrali nel campo del recupero/restauro degli edifici, è prima necessario correlare le diverse tipologie di degrado alle corrispettive firme iperspettrali, in modo da renderne univoco il riconoscimento. Tale passaggio risulta affetto da numerose incertezze e variabili che rendono complesso realizzare questo ipotetico database delle firme spettrali dei degradi e delle alterazioni; come ad esempio:

- Errori del sensore durante la fase di acquisizione dei valori radiometrici
- Errori del sensore in fase di co-registrazione
- Le differenti esposizioni all'irraggiamento solare dei soggetti
- La variazione della firma spettrale di un degrado al variare del materiale di supporto

All'interno di questo filone di ricerca, il presente lavoro si inserisce nelle sue fasi iniziali, con l'inteento di fornirne un primo riscontro applicativofocalizzato su un materiale particolarmente diffuso nelle architetture del moderno: le piastrelle in clinker. Si vuole quindi dare indicazioni operative per le future campagne di rilievo della Centrale Termica (o di edifici similari per tipologia costruttiva e periodo di fabbricazione), evidenziando possibili criticità nel rivestimento in clinker attraverso l'indagine iperspettrale stessa.

4.2.7.2 Le operazioni in campo

Nell'ultima fase del rilievo sono stati effettuati degli scatti del rivestimento in clinker impiegando una fotocamera iperspettrale. Tali fotocamere, potendo catturare molte più bande dello spettro elettromagnetico in confronto ad un normale sensore RGB, possono rivelare fenomeni che nel campo del visibile sono poco o affatto percepibili.

Figura 4.2-9: La camera iperspettrale "Rikola" di Senop, in dotazione al DIATI del PoliTO

Punto di presa	Nome fotogramma	Numero acquisizioni	ISO
A	IVREA_1_"ISO"	4	10-15-20-200
B	IVREA_2_"ISO"	3	150-200-250
C	IVREA_3_"ISO"	3	10-15-20
D	IVREA_4_"ISO"	1	600

Figura 4.2-10: Acquisizioni con camera iperspettrale

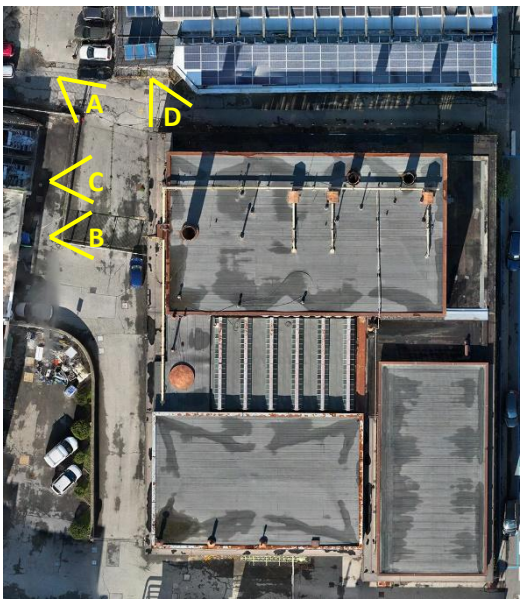


Figura 4.2-11: Planimetria delle acquisizioni

Nel caso specifico è stato impiegato il sensore Rikola di Senop, in grado di catturare la radiazione elettromagnetica in 100 differenti frequenze, dai 506.31 nm ai 902.39, con un passo di circa 3.96 nm; è stato così possibile acquisire un'ampia gamma di bande dello spettro, che vanno indicativamente da quella del verde (500 nm) fino a coprire parte del Near-Infrared (0.75 – 1.2 nm).

In totale sono stati eseguiti undici scatti, ritraenti il rivestimento in piastrelle clinker rosse e blu del Volume Caldaie, all'angolo nord-ovest. La campagna di acquisizione si è concentrata su tale angolo per questioni di natura tecnica: al momento dell'acquisizione il sole era già basso sull'orizzonte ad ovest, illuminando pertanto solamente tale facciata della Centrale Termica. Oltre ad acquisire immagini del lato maggiormente esposto alla radiazione solare, sono stati impostati diversi valori di ISO in modo da avere più dati possibili, non potendo tornare in campo a eseguire un secondo rilievo nel caso in cui tutte le immagini si fossero rivelate sovra o sottoesposte.

Figura 4.2-12: Immagini RGB dei quattro differenti punti di presa testati (immagine di Andrea Lingua)

4.3 Elaborazione dati

4.3.1 Compensazione della rete

La prima fase del processo di elaborazione dei dati raccolti ha visto la "compensazione" delle osservazioni eseguite con la stazione totale. Tale procedimento si può applicare solamente quando si ha una ridondanza nel numero di misure effettuate per ciascun punto, una metodologia di rilievo che porta con sé molteplici vantaggi, infatti:

- maggiore è il numero di osservazioni eseguite, minore sarà l'impatto sulle stesse degli errori casuali, essendo che questi tendono ad auto compensarsi
- avere a disposizione più di una misura consente di individuare quelle affette da errori di tipo grossolano, procedendo dunque allo scarto delle stesse
- tramite il processo di compensazione è possibile valutare la precisione delle misure andando a determinare i residui delle stesse

La procedura di compensazione delle osservazioni prevede la scrittura di un sistema di equazioni dove le incognite del problema (coordinate del punto) sono legate all'osservazione eseguita mediante delle relazioni geometriche che dipendono dalla tipologia di rilievo eseguito (angolo, distanza). Essendo però il numero di osservazioni (e quindi di equazioni) maggiore di quello delle incognite, è impossibile determinare una soluzione univoca al problema. Inserendo, infatti, all'interno del sistema di equazioni degli ipotetici valori delle incognite x,y,z, otterremo un vettore di residui, che altro non sono che il frutto degli errori commessi durante la fase di rilievo.

La soluzione al problema vede quindi l'impiego del Criterio dei Minimi Quadrati, il quale consente di individuare il vettore di incognite (coordinate) tale per cui la sommatoria dei residui quadratici risulta minima.

Un ulteriore passaggio, da eseguire prima di quelli esposti in precedenza, è quello della linearizzazione delle equazioni. Infatti, a parte il caso delle misure di livellazione, le relazioni tra incognite del problema ed osservazioni sono di tipo non lineare. Si esegue pertanto una linearizzazione mediante la serie di Taylor, fermandosi al primo grado di sviluppo senza incorrere in approssimazioni eccessive.

Al termine del processo di Compensazione delle Osservazioni la misura si comporrà come segue:

$$l_{comp} = l_{mis} + v$$

dove "v" è la stima ai minimi quadrati del residuo teorico.

La compensazione delle osservazioni del rilievo della Centrale Termica è stata eseguita mediante il software STAR*NET *Microsurvey* dalla dottoressa Francesca Matrone (DIATI), i cui risultati sono consultabili nella sezione "Allegati" e di cui si può vedere un estratto nella tabella sottostante:

Station	Semi-Major Axis	Semi-Minor Axis	Azimuth of Major Axis	Elev
1000	0.000000	0.000000	0.00	0.000000
3000	0.000000	0.000000	0.00	0.000000
2000	0.007993	0.005441	103.06	0.006790
M2001	0.012317	0.009045	31.52	0.008798
…	…	…	…	…

Tabella 4.3-1: Residui dei punti della rete

Infine, si riportano i valori delle coordinate dei vertici di rete e di alcuni punti collimati, espressi nel sistema di riferimento UTM WGS84 32N con quote geoidiche.

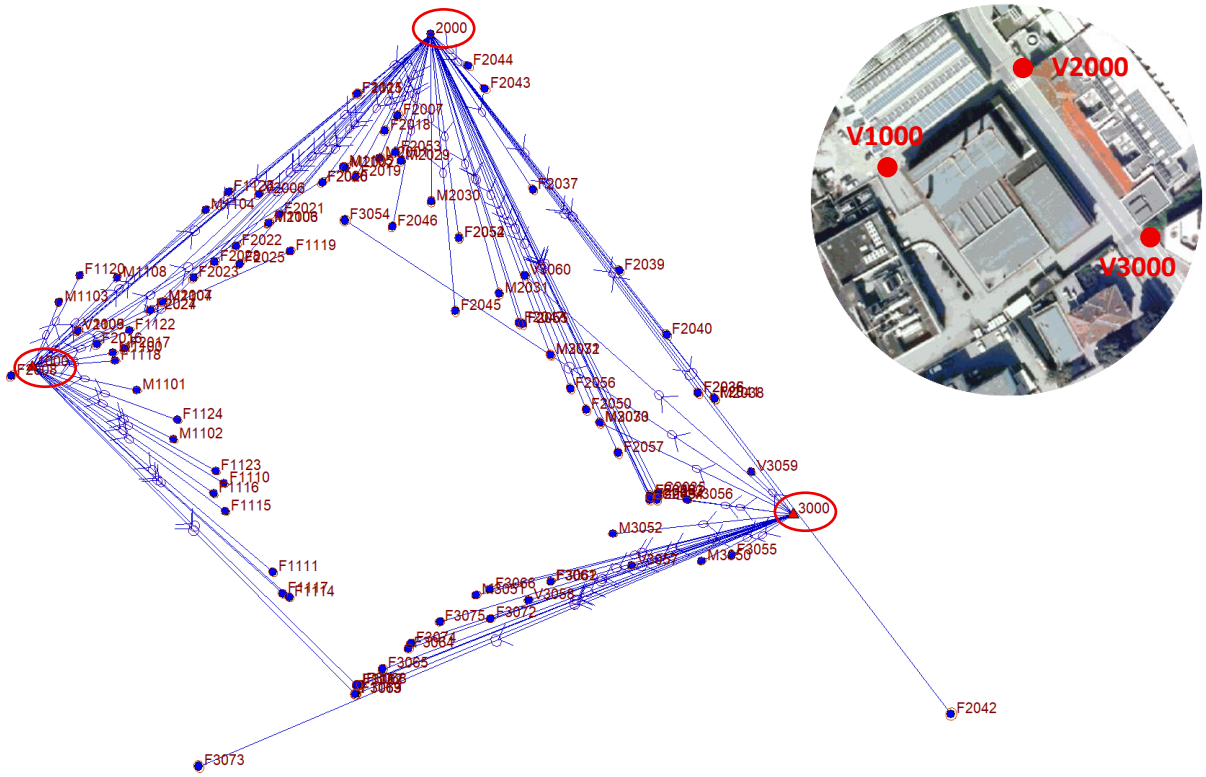


*Figura 4.3-1: Rete di appoggio e punti collimati, estratto grafico dal software STAR*NET*

VERTICI DI RETE				DA VERTICE 2000			
	Easting	**Northing**	**Elevation**		**Easting**	**Northing**	**Elevation**
1000	411842.601	5034637.097	243.303	M2001	411881.5894	5034660.511	245.2372
3000	411927.932	5034620.58	238.985	M2002	411877.7578	5034659.411	244.77525
2000	411887.2787	5034674.376	242.80426	M2003	411869.136	5034653.221	243.87545
...	...	...	...	...	...	...	...
DA VERTICE 1000				DA VERTICE 3000			
	Easting	**Northing**	**Elevation**		**Easting**	**Northing**	**Elevation**
M1100	411851.6956	5034638.667	245.26004	M3050	411917.711	5034615.349	241.31565
M1101	411854.3447	5034634.515	243.851	M3051	411892.399	5034611.571	241.41614
M1102	411858.4554	5034628.972	245.13618	M3052	411907.7401	5034618.41	241.61205
...	...	...	...	...	...	...	...

Tabella 4.3-2: Coordinate in UTM WGS84 32N dei vertici di rete e di alcuni punti collimati, vedi allegati per lista

4.3.2 Rilievo LiDAR

4.3.2.1 Il software "LEICA CYCLONE REGISTER 360"

Per l'elaborazione del rilievo eseguito mediante il laser scanner *Leica RTC 360* è stato impiegato il software di proprietà della Leica, ovvero Leica Cyclone REGISTER 360 +, nella sua versione 2023.0.2. Esso è caratterizzato dall'elevata facilità d'uso e un sistema di guide integrate che consentono un'elaborazione assistita del rilievo. È inoltre in grado di sfruttare la tecnologia VIS (*Visual Inertial System*), che consente di abbattere notevolmente la fase di *match* delle nuvole di punti.

La prima operazione da eseguire alla creazione di un nuovo progetto è la definizione delle impostazioni principali, le quali si dividono in due voci principali:

- la **precisione richiesta**, informazione che il software impiegherà per consentire un rapido controllo della bontà dei link tra le varie nuvole, mediante un pannello informativo che ne riporta gli errori
- parametri per il ***cloud-to-cloud***, impiegati dal programma per ottimizzare nella fase di allineamento automatico il *match* tra le nuvole

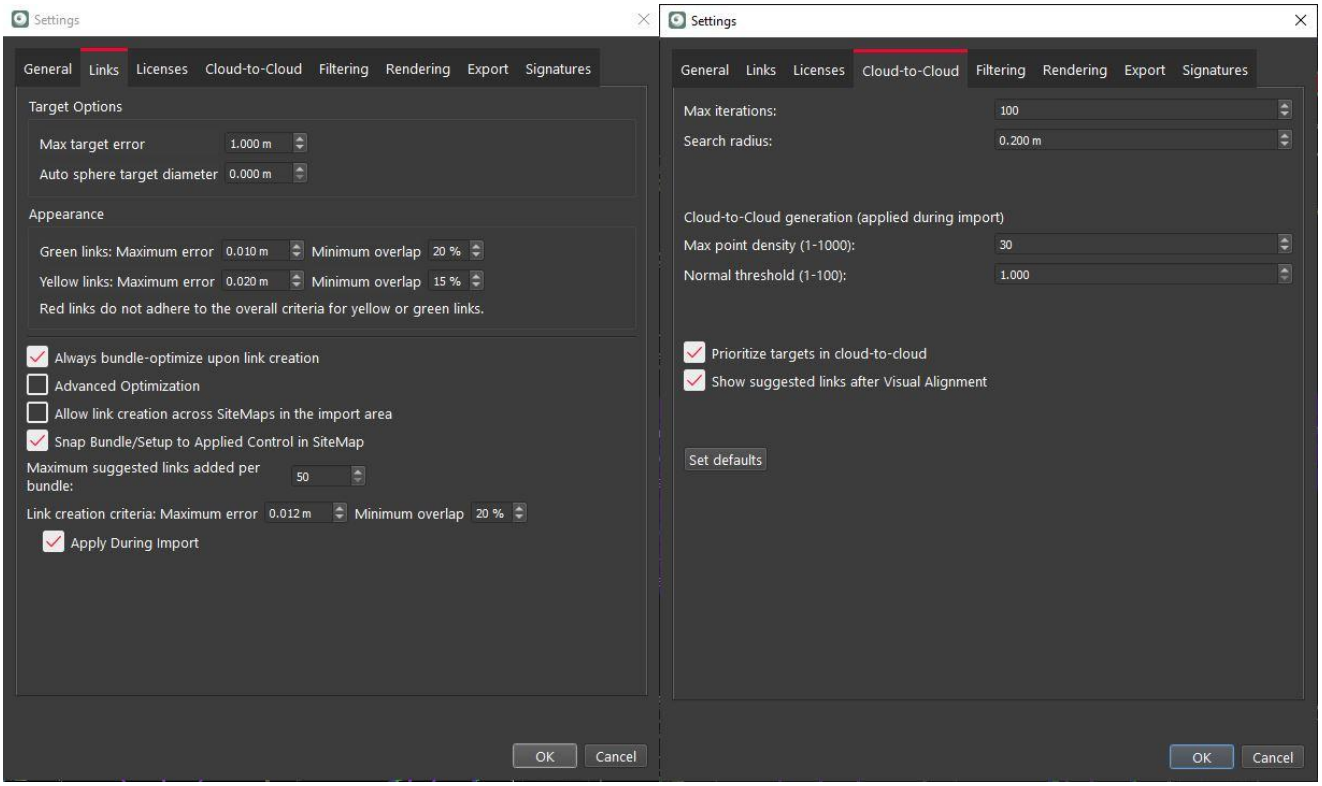


Figura 4.3-2: Impostazioni impiegate nell'utilizzo del software Leica CYCLONE

4.3.2.2 Import nuvole e allineamento manuale

Lo step successivo del *workflow* prevede l'importazione delle ventuno scansioni acquisite; tali dati contengono al loro interno i link e le informazioni di pre-allineamento creati tra le varie scansioni durante la campagna, gestiti in campo mediante l'applicazione della casa madre Leica Cyclone FIELD 360. In tal modo è possibile avere fin da subito un *match* tra le varie nuvole acquisite, abbattendo notevolmente le tempistiche di allineamento manuale.

I link tra nuvole non sono nient'altro che gli allineamenti eseguiti coppia per coppia delle scansioni e costituiscono l'informazione base che consente al programma di eseguire l'allineamento complessivo delle nuvole (*bundle adjustment*), determinando la bontà del risultato finale. È bene dunque assicurarsi di costruire una rete di link sufficientemente fitta, specialmente laddove vi è il raccordo tra le facciate dell'edificio, le quali se non ben vincolate, rischiano di incorrere in errori nel posizionamento relativo tra di esse.

La densità dei link tra nuvole non è però l'unico parametro da tenere in considerazione durante le fasi di allineamento delle nuvole di punti; ne esistono infatti di altri che forniscono informazioni utili sulla qualità e sulla affidabilità dei singoli collegamenti:[136]

- *link error*: informazione generale dell'errore nel match tra le due nuvole legate dal suddetto link (espresso in mm)
- *overlap*: livello espresso in % della sovrapposizione delle due nuvole legate dal link

[136] *MANUALE LEICA CYCLONE REGISTER 360 +*.

- *strenght*: fornisce informazioni circa il *match* tra le due nuvole nelle tre direzioni, indicando dove risiedono eventuali criticità nell'allineamento
- *cloud-to-cloud*: è la media tra l'errore *cloud-to-cloud* e il *target error*

Si è proceduto quindi, in prima istanza, alla validazione uno per uno dei link creati durante la fase di rilievo, verificando i parametri sopra descritti. Operativamente si è impiegato un utile quanto pratico strumento offerto dal software Truslicer. Esso consente infatti di eseguire la sezione delle nuvole soggette ad allineamento, facilitando notevolmente la fase di verifica ed eventualmente la correzione dell'allineamento delle stesse, la quale avviene mediante la traslazione e/o rotazione di una delle due, consentendo di analizzare il *match* di specifiche aree semplificando così la verifica da parte dell'operatore.

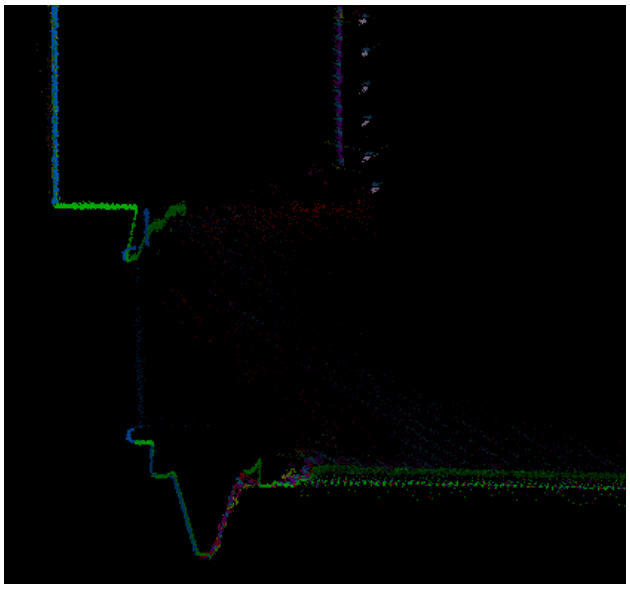


Figura 4.3-3: Visualizzazione della sovrapposizione delle diverse scansioni mediante il Tool "Truslicer"

Solo per alcuni di questi link si è reso necessario un miglioramento dell'allineamento: questi, infatti, sebbene presentassero errori già inferiori a quelli richiesti dalla scala 1:50 (1 cm), si discostavano dalle precisioni raggiunte nel *match* di altre coppie di nuvole, al contrario affette da errori anche inferiori alla metà di quelli massimi ammissibili. In tal modo si è potuto ottenere un errore più omogeneo tra i link. Secondariamente si è proceduto con il raffittimento dei link tra nuvole, passando dai ventuno iniziali ad un totale finale di ventotto collegamenti, seguendo gli accorgimenti e le modalità precedentemente descritte.

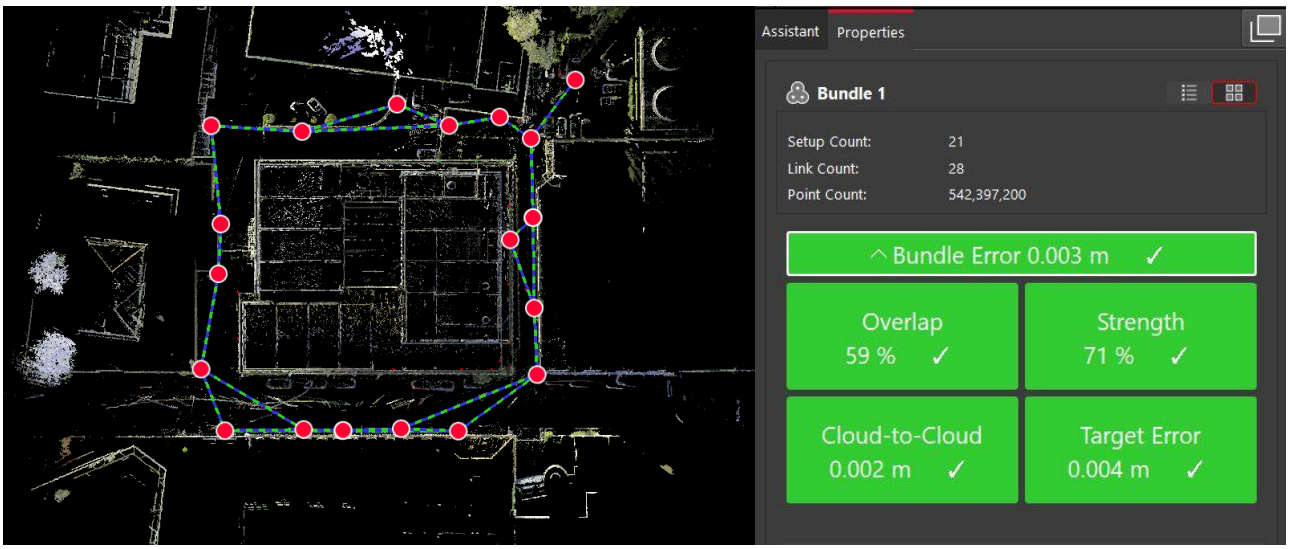


Figura 4.3-4: Mappa dei collegamenti tra le scansioni e statistiche della nuvola complessiva

4.3.2.3 Import marker per l'allineamento e la georeferenziazione delle scansioni

La fase successiva ha visto l'importazione, all'interno del software, dei punti notevoli collimati con stazione totale di cui sono note le coordinate nel sistema UTM WGS 84 fuso 32N (quote geoidiche). Attraverso l'identificazione di tali punti all'interno delle nuvole è possibile ottenere la georeferenziazione dell'intero rilievo laser, il quale, a differenza della nuvola densa da fotogrammetria, non necessita di essere scalato, bensì solamente di una roto-traslazione.

In totale sono stati individuati e registrati ventitré *markers*, con un discostamento complessivo della nuvola rispetto a questi pari a 9 mm, un valore inferiore al limite di 1 cm imposto dalla scala di rappresentazione (1:50) e dunque accettabile.

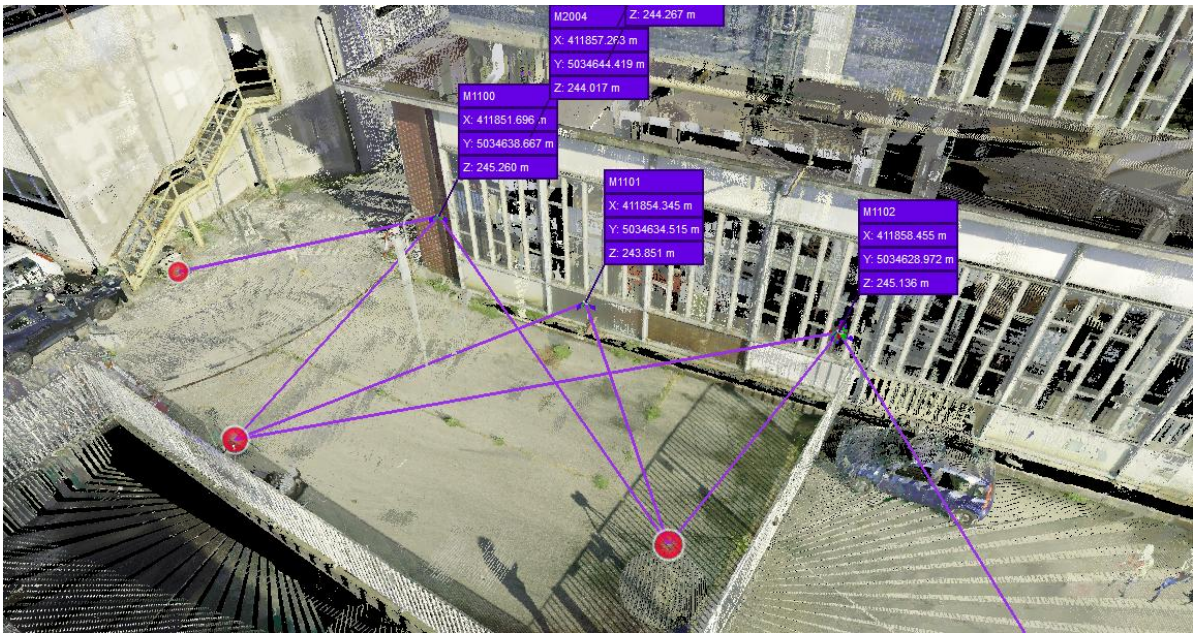


Figura 4.3-5: Introduzione dei marker dalle coordinate note e identificazione degli stessi nella nuvola complessiva

L'ultima fase del *workflow* è stata quella di verificare, in definitiva, la qualità e la precisione dei collegamenti tra nuvole (in allegato gli errori): solo a tal punto si è potuto procedere con l'allineamento complessivo automatizzato di tutte e ventuno le scansioni mediante l'operazione *"optimize bundle"*.

Survey Report

Abs. Mean Error of Control to 'Bundle 1': **0.009 m**

Bundle Name	Setup	Label	Error
Bundle 1	ex centrale olivetti- 02	M1100	0.005 m
	ex centrale olivetti- 03	M1100	0.008 m
	ex centrale olivetti- 11	M3050	0.017 m
	ex centrale olivetti- 12	M2033	0.009 m
	ex centrale olivetti- 04	M1100	0.008 m
	ex centrale olivetti- 20	M2031	0.007 m
	...	...	...

Figura 4.3-6: Nella tabella sono evidenziati gli errori minimi (in verde), quelli massimi (in giallo) e quelli medi (in blu) tra le scansioni laser ed i punti di coordinate note

4.3.2.4 Export e unione delle scansioni

Visto l'elevato numero di punti della nuvola finale, che ammontava a 542.397.200 punti, si è optato per eseguire l'esportazione della nuvola con una risoluzione di 1 punto per ogni centimetro, attuando fin da subito un sotto-campionamento che sarebbe comunque stato necessario eseguire in una seconda fase, comunque coerente con la precisione richiesta dalla scala di rappresentazione 1:50.

In prima battuta, si è tentato di eseguire l'*export* di tutte le scansioni in un'unica soluzione, generando così un solo file che le contenesse tutte. Tale soluzione si è però rivelata fallimentare, dal momento che la nuvola esportata presentava problemi di georeferenziazione.

Successivamente si è quindi optato per l'*export* delle scansioni sotto-campionate in file separati, essendo queste facilmente ricomponibili grazie alla georeferenziazione eseguita in precedenza. Tale operazione di unione, eseguita mediante il software CloudCompare, ha portato ad avere una nuvola costituita da 94.858.992 punti, con una riduzione di dimensioni in termini di punti pari al -82.5%, sempre rispettando i requisiti di precisione e definizione imposti dalla scala di rappresentazione.

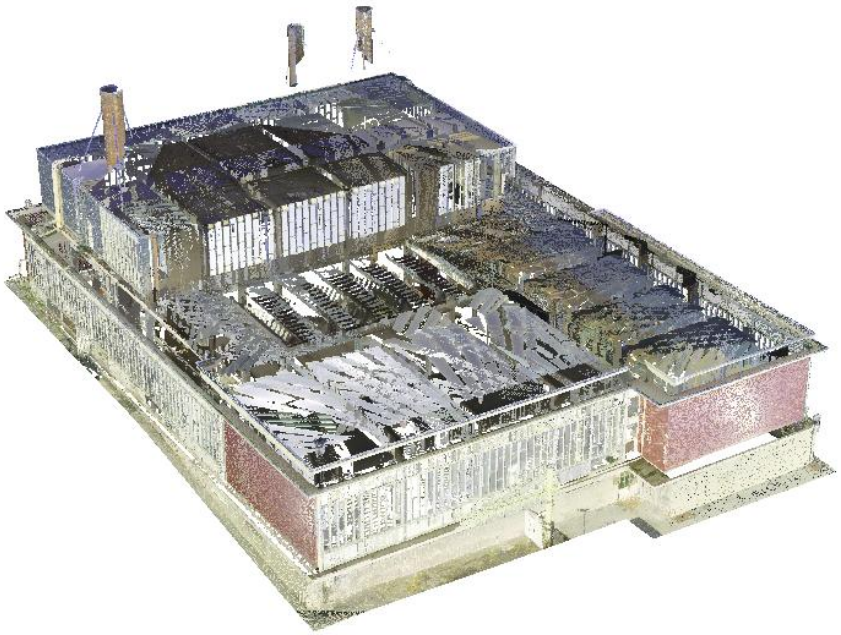


Figura 4.3-7: Nuvola di punti della Centrale Termica ottenuta dal rilievo Lidar

4.3.2.5 Generazione delle ortofoto

Il software consente, oltre alle funzionalità di base per l'elaborazione delle nuvole di punti, anche di generare delle ortofoto impiegando come *source data* proprio le scansioni del rilievo. Si tratta di una procedura caratterizzata dalla facilità e velocità di elaborazione, il cui *workflow* si può sintetizzare come segue:

a. Impostazione di un sistema di riferimento locale con gli assi paralleli alle facciate dell'edificio
b. Creazione di una *Limit Box* che escluda le porzioni di nuvola che non riguardano il prospetto da elaborare
c. Settaggio delle impostazioni di *export* e verifica in anteprima dell'output

Tali elaborazioni sono state eseguite per tutti e quattro i prospetti della Centrale Termica, ottenendo degli ottimi risultati dal punto di vista geometrico, vista l'elevata risoluzione delle immagini, pari a 0,9 cm/px, resa possibile dalla precisione della nuvola elaborata.

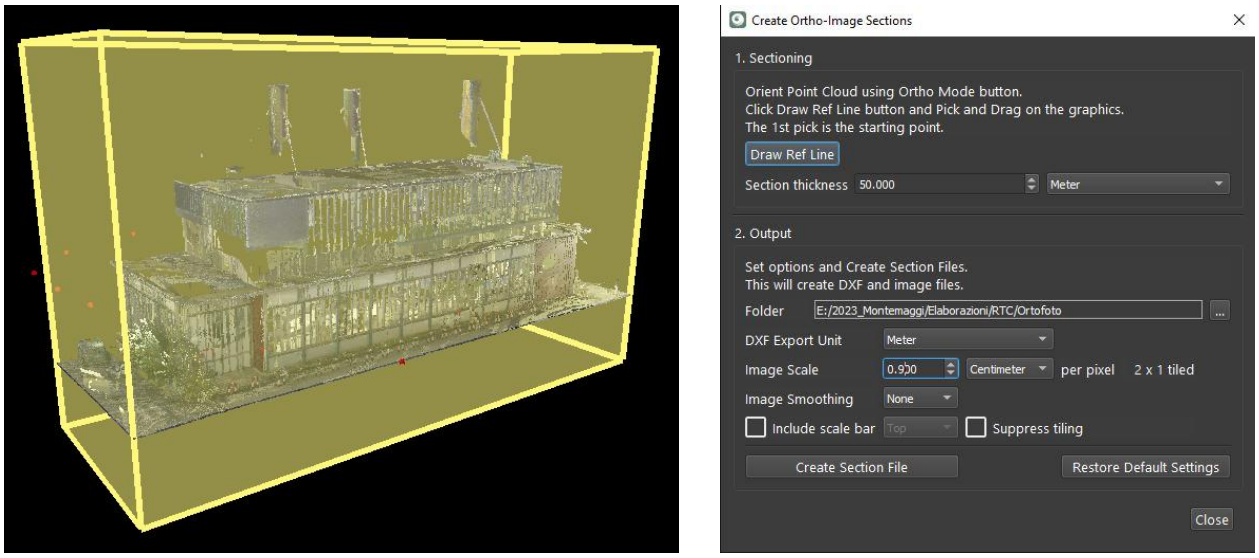


Figura 4.3-8: Visualizzazione della Limit Box e settaggi per la creazione delle ortofoto

Allo stesso tempo sono individuabili però due problematiche principali, le quali compromettono le potenzialità di impiego di tali ortofoto, che oltre a dover rispettare criteri qualitativi di tipo geometrico, devono anche restituire un certo grado di fedeltà cromatica nonché descrivere, a seconda delle esigenze, elementi di piccole dimensioni senza lacune o disturbi del dato. A tal proposito si evidenzia che:

- la componente radiometrica delle ortofoto, da un'analisi visivo-qualitativa, non risulta sufficientemente fedele alla realtà visibile
- il dato di origine, ovvero un insieme di punti, fa sì che l'immagine finale presenti una quantità di punti-lacuna tali da non consentire analisi sul degrado e le alterazioni, compromettendo ulteriormente la resa cromatica (effetto *salt & pepper*[137])
- laddove vi sono dei sottosquadro (lacune della nuvola di punti) in facciata, il rischio è che nell'ortofoto finale vengano ritratti sullo stesso piano parti di edificio che invece non lo sono; il caso studio è stato particolarmente affetto da tale problematica: infatti, per ottenere le ortofoto complete con camini su tutte le facciate, è stato necessario settare delle profondità di sezione elevate, andando al contempo però a far considerare al software anche punti che non riguardano il prospetto in esame ma si trovano sullo sfondo, rendendo inaffidabile l'ortofoto stessa

[137] BONCELET 2009.

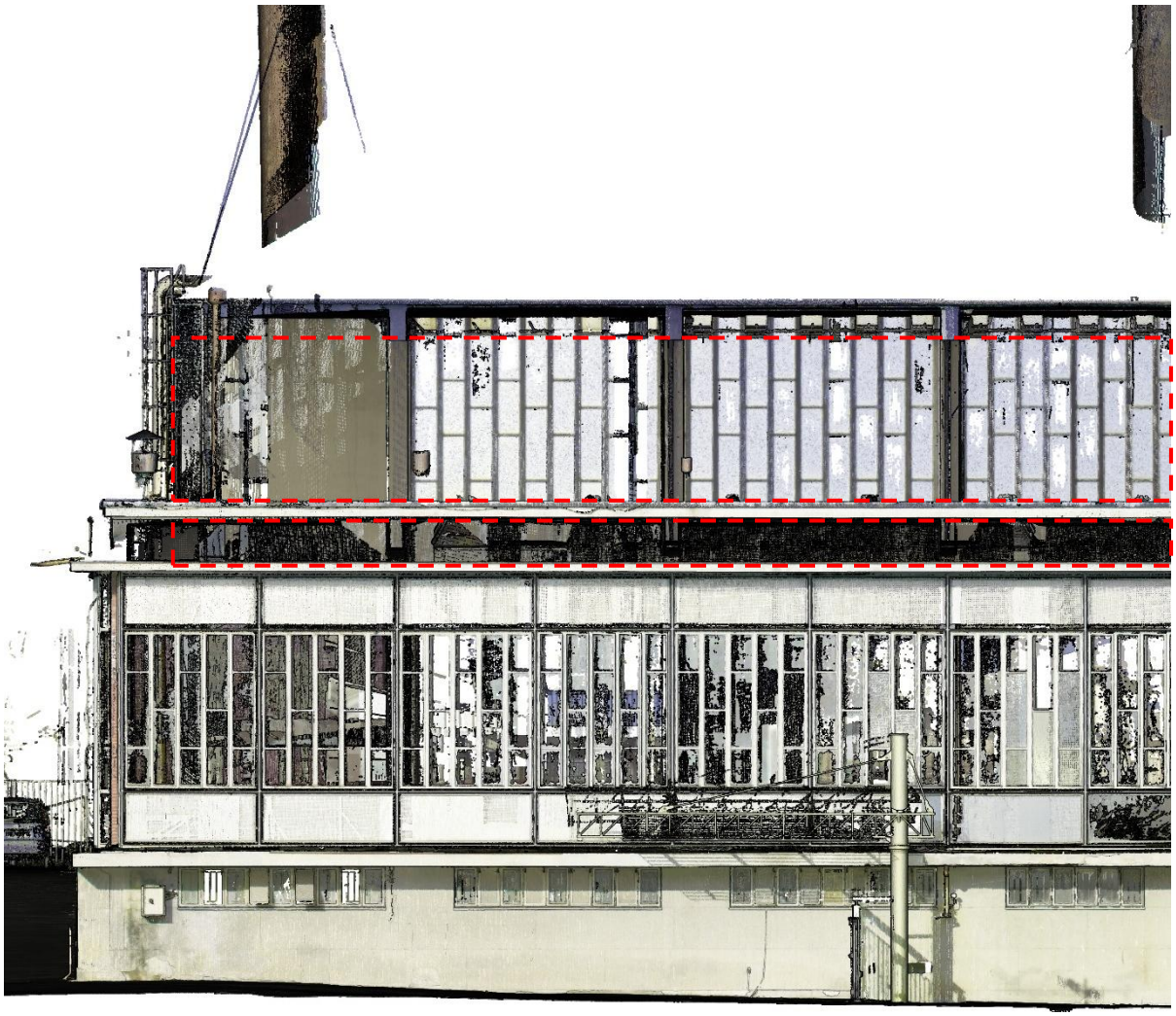


Figura 4.3-9: Ortofoto del prospetto sud, evidenziazione delle lacune di dato e della bassa fedeltà cromatica

4.3.3 Volo UAV

4.3.3.1 Il software Metashape

Il software impiegato per il processo fotogrammetrico è stato Agisoft Metashape V. 2.0.3. Il processo di restituzione fotogrammetrica mediante tale programma è così articolato:

- *import* del dataset di immagini con la creazione di *chunk*
- allineamento relativo delle immagini con creazione della nuvola sparsa
- *import* delle *reference*, ovvero i punti con coordinate note
- georeferenziazione e determinazione dei parametri di orientamento interno e delle distorsioni
- creazione della nuvola di punti

4.3.3.2 Import delle immagini

Il primo step ha visto l'importazione delle 2990 immagini catturate dal drone durante il volo. Tale dataset è costituito da 598 immagini per ciascuna delle cinque bande (RGB, R, G, RE, NIR) rilevate dai sensori montati a bordo del drone. In particolare, il software consente di dividere diversi dataset mediante la creazione di più *chunk*.

Figura 4.3-11: Scheda "workspace" con la suddivisione in chunks delle cinque diverse bande catturate durante le fasi di rilievo

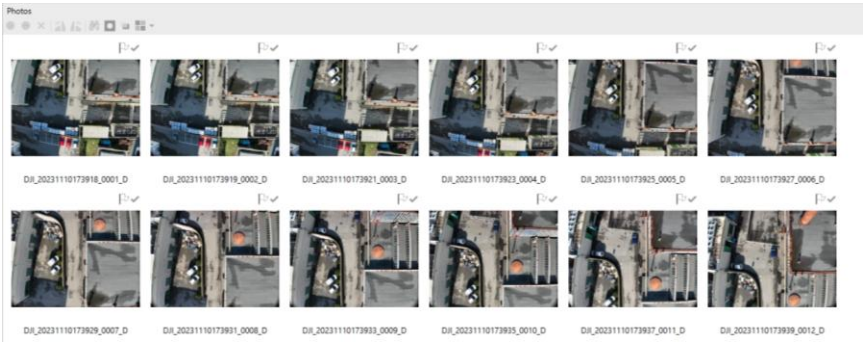


Figura 4.3-11: Scheda "photos", dove è possibile visualizzare le camere importate all'interno di un chunk

4.3.3.3 L'orientamento esterno

Il secondo step prevede l'allineamento relativo delle camere, eseguito *chunk* per *chunk*, mediante la tecnica dello S*tructure from motion*. Tale processo, comune a tutti i moderni software di fotogrammetria, utilizza dei descrittori "SIFT" per il riconoscimento automatizzato di *feature*, ovvero punti comuni tra le varie coppie di fotogrammi analizzate di volta in volta.

In particolare, sono stati impostati i seguenti settaggi per ciascuno dei *chunk*:

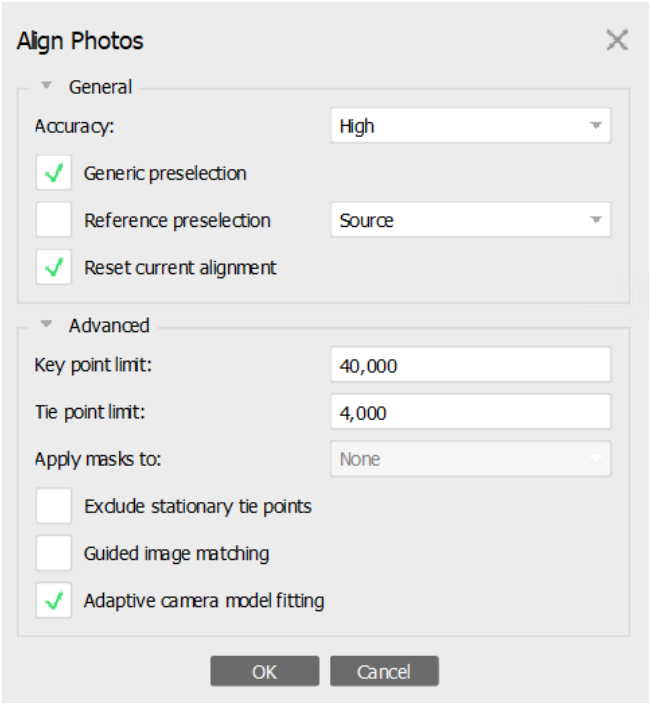


Figura 4.3-12: Settings utilizzati per l'allineamento delle camere nelle cinque bande disponibili

Al termine di tale operazione si ottengono le varie nuvole sparse nelle cinque diverse bande disponibili. Tale passaggio non ha comportato alcuna problematica ed il software è stato in grado, in completa autonomia, di eseguire il corretto orientamento di tutte le "camere" al primo tentativo.

Figura 4.3-13: La nuvola sparsa ottenuta dall'allineamento delle camere RGB

4.3.3.4 Import dei Marker e Sistemi di Coordinate

Per conseguire la georeferenziazione del modello 3D si rende quindi necessaria l'introduzione dei punti collimati durante le fasi di rilievo e di cui sono state determinate le coordinate nel sistema UTM WGS84. Tali punti, denominati nel software *markers*, sono stati quindi importati mediante un file *.csv* strutturato come indicato in tabella 4.3-3:

	Easting	Northing	Elevation
M3050	411917.7	5034615	241.3157
...	...	...	...

Tabella 4.3-3: Struttura del file .csv contenente i dati delle reference

Occorre inoltre specificare le *reference settings*, ovvero i sistemi di coordinate che il software deve considerare durante le operazioni di georeferenziazione. Tre sono i campi da compilare:

- *Coordinate System*: il sistema di coordinate da impiegare (WGS 84 zone 32N)
- *Camera reference*: la georeferenziazione già presente dell'immagine come nel caso del drone impiegato, il quale aveva a bordo un sensore GPS (WGS 84)
- *Marker reference*: il sistema di coordinate utilizzato per la determinazione della posizione dei punti collimati mediante stazione totale (WGS 84 zone 32N)

Gli altri settaggi disponibili sono invece stati lasciati con i valori di *default*.

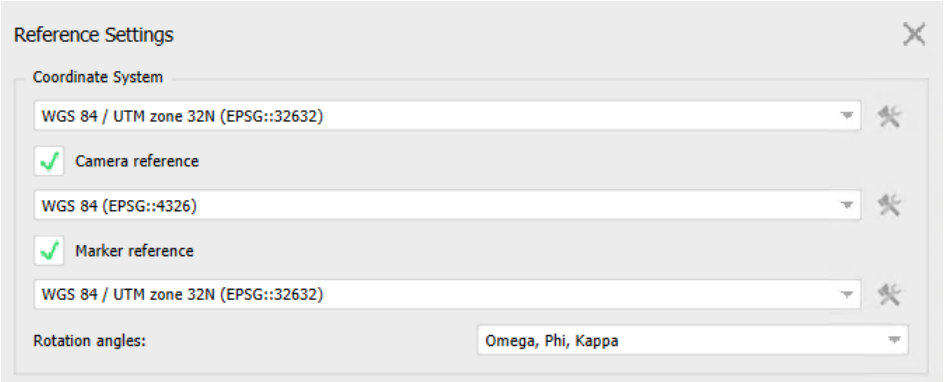


Figura 4.3-14: Maschera per la definizione dei sistemi di coordinate

4.3.3.5 Stima dei parametri

Questo step del *workflow* fotogrammetrico è certamente quello che ha una maggiore influenza sul risultato finale. È durante questa fase, infatti, che vengono determinati i parametri di orientamento esterno, interno ed i parametri per la correzione delle distorsioni (vedi cap. 4.1.1.3). Tale stima è possibile attraverso il posizionamento manuale di un certo quantitativo di *markers* (osservazioni) all'interno dei fotogrammi in cui questi compaiono, fornendo al sistema dei "vincoli" attraverso i quali esso è in grado di eseguire la stima dei suddetti parametri.

Si è quindi proceduto, per ciascuno dei cinque *chunk* precedentemente illustrati, all'individuazione di tali *markers* nei fotogrammi in cui comparivano. Non è stato però necessario posizionare manualmente tutti i punti determinati nel rilievo, che in tutto ammontano a centoquattro (escludendo i tre vertici di rete). È infatti sufficiente individuarne un quantitativo minimo ed omogeneo, sia sulle facciate dell'edificio che sulla superficie del terreno.

Durante tali operazioni è importante monitorare l'errore, espresso in metri, dei *marker* posizionati, affinché la stima complessiva di tale valore sia compatibile con la precisione richiesta dalla scala di rappresentazione. Nel caso in esame è stato necessario contenere l'errore entro il valore di 0.01 m, avendo come obiettivo la scala di rappresentazione 1:50. In questo caso sono stati posizionati mediamente trenta punti per *chunk*, con un numero di proiezioni variabile dalle sei alle quattordici, in base al quantitativo di fotogrammi in cui era presente il singolo *marker*.

Reference

Markers	Projections	Error (m)	Error (pix)	Accuracy (m)
V2006	19	0.008745	1.004	0.005000
M1102	14	0.005023	0.491	0.005000
F1111	14	0.010649	0.524	0.005000
M1101	13	0.004762	0.368	0.005000
F2019	12	0.004735	0.558	0.005000
F2047	12	0.011329	0.366	0.005000
V1109	12	0.010551	0.605	0.005000
M2030	11	0.002794	0.250	0.005000
F3064	11	0.005661	1.190	0.005000
F1121	11	0.006359	0.757	0.005000
M2003	10	0.008190	0.214	0.005000
F2017	10	0.004792	0.141	0.005000
F2025	10	0.005340	0.480	0.005000
F2039	10	0.003150	0.259	0.005000
F2053	10	0.010026	0.780	0.005000
M3052	10	0.003832	0.293	0.005000
F3054	10	0.003511	0.768	0.005000
F3055	10	0.002568	0.147	0.005000
V3057	10	0.006090	0.401	0.005000
V3058	10	0.005444	0.508	0.005000
V3059	10	0.001832	0.390	0.005000
V3060	10	0.006391	0.617	0.005000
F3061	10	0.004377	0.830	0.005000
F3062	10	0.003403	0.341	0.005000
M3070	10	0.007342	0.195	0.005000
M2004	9	0.012386	0.143	0.005000
F2044	8	0.006362	0.511	0.005000
M1100	8	0.004015	0.378	0.005000
M3051	7	0.008245	0.314	0.005000
F3053	7	0.008869	0.503	0.005000
M1104	7	0.001601	0.578	0.005000
F1122	7	0.003494	0.224	0.005000
M1105	6	0.004911	0.189	0.005000

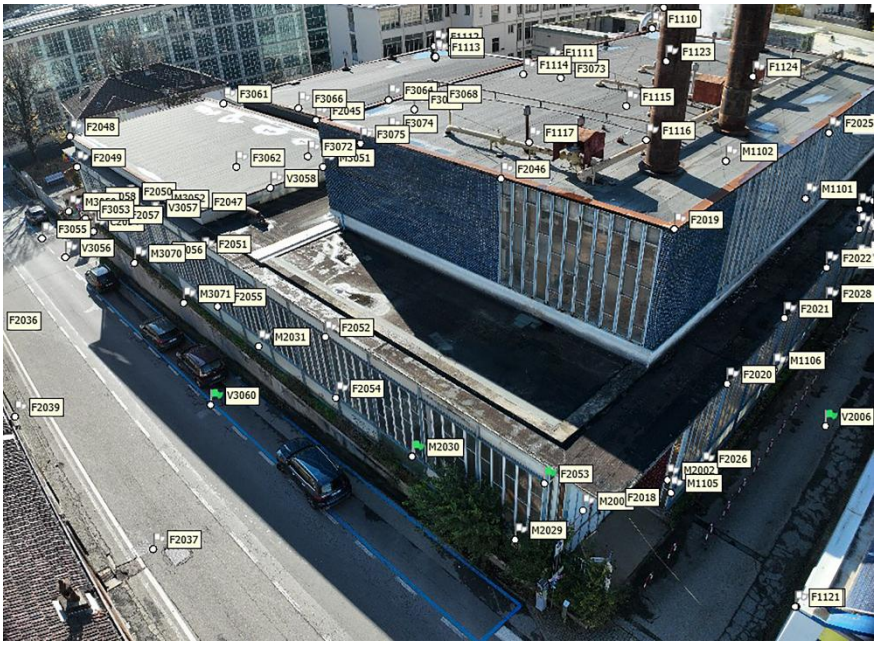


Figura 4.3-15: Fotogramma con i marker individuabili al suo interno (in verde quelli posizionati)

Un ulteriore parametro utile per verificare la bontà delle operazioni sono i *check points*. Tali punti non sono altro che *marker* posizionati come abbiamo visto in precedenza, ma che non vengono poi impiegati per la stima dei parametri. In tal modo, sincerandosi di individuarne un numero sufficiente (rapporto 1:4 rispetto ai *control points*) e ben distribuito, è possibile andare a valutare il discostamento del modello dalle osservazioni eseguite mediante stazione totale, essendo queste le misure di riferimento. Come insegna la teoria topografica, tali punti non dovranno presentare errori superiori a 0.02 m per la scala di rappresentazione 1:50.

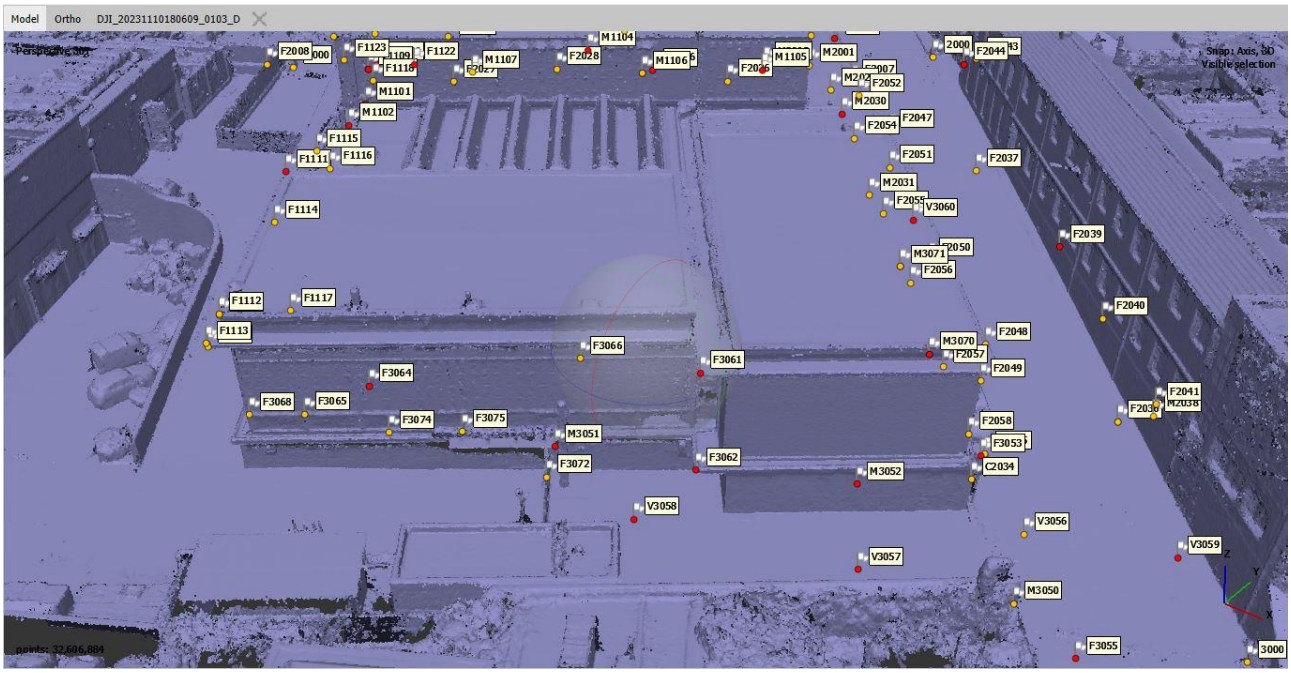


Figura 4.3-16: In rosso i marker posizionati sul fronte sud per la stima dei parametri, con il punto F3053 impiegato come check point

Al termine dei passaggi precedentemente descritti, è stato possibile raggiungere i seguenti risultati in termini di precisione (*control points*) e tolleranza (*check points*) nei cinque differenti dataset:

Chunk	Control points		Check points	
	n° punti	errore (cm)	n° punti	errore (cm)
RGB	27	0.53	6	1.07
R	24	0.51	5	1.48
G	21	0.57	7	1.51
RE	22	0.68	6	1.48
NIR	18	0.54	5	1.56

Figura 4.3-17: Errori registrati per i control e i check points nei cinque chunk

Si riportano inoltre i dati dettagliati dei *control* e *check points* nel caso del *chunk* RGB:

Control Points	Numero proiezioni	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Errore Totale (cm)
M2003	10	0.385	0.719	0.069	0.819
V2006	19	-0.119	-0.143	0.855	0.874
F2017	10	0.109	-0.308	-0.350	0.479
F2019	12	0.238	0.247	-0.326	0.473
F2025	10	-0.189	-0.485	0.118	0.534
M2030	11	0.272	0.060	-0.020	0.279
F2039	10	-0.102	0.147	-0.259	0.315
F2044	8	-0.442	0.410	0.202	0.636
M3051	7	-0.807	0.066	0.158	0.825
M3052	10	-0.341	0.055	-0.166	0.383
F3054	10	0.315	0.154	0.008	0.351
F3055	10	0.140	-0.208	-0.053	0.257
V3057	10	0.348	0.113	0.487	0.609
V3058	10	-0.091	-0.458	0.280	0.544
V3059	10	0.110	-0.146	0.010	0.183
V3060	10	0.622	-0.092	0.116	0.639
F3061	10	-0.418	-0.059	0.115	0.438
F3062	10	-0.220	0.176	-0.191	0.340
F3064	11	-0.233	0.515	-0.028	0.566
M3070	10	0.140	0.640	-0.330	0.734
M1100	8	0.044	-0.390	0.086	0.402
M1101	13	0.041	-0.449	-0.152	0.476
M1102	14	0.244	-0.374	-0.229	0.502
M1104	7	-0.153	-0.039	0.028	0.160
M1105	6	-0.150	0.259	-0.389	0.491
F1121	11	0.574	-0.273	0.001	0.636
F1122	7	-0.319	-0.137	-0.038	0.349
TOTALE	10	0.322	0.323	0.263	**0.526**
			Errore massimo ammissibile (1:50)		1 cm

Tabella 4.3-4: Errori dei punti di control points nel chunk "RGB"

Check Points	Numero proiezioni	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Errore Totale (cm)
M2004	9	0.404	0.936	0.704	1.239
F2047	12	1.058	0.177	-0.364	1.133
F2053	10	0.545	0.066	-0.839	1.003
F3053	7	-0.642	0.443	-0.422	0.887
V1109	12	-0.559	-0.836	0.319	1.055
F1111	14	0.495	-0.302	-0.893	1.065
TOTALE	11	0.652	0.563	0.634	**1.069**
			Tolleranza massima ammissibile (1:50)		2 cm

Tabella 4.3-5: Errori dei punti di check points nel chunk "RGB"

4.3.3.6 Nuvola densa

Una volta determinati i parametri di orientamento e i fattori di correzione delle distorsioni, il software è in grado di ricostruire il modello tridimensionale dell'oggetto rilevato. Esso determina la posizione dei punti mediante le *depth maps*, creando una moltitudine di nuvole dense che vengo unite in una unica al termine del *processing*.

I parametri settati per la generazione delle cinque nuvole di punti sono stati i seguenti:

- come ***source data*** sono stati utilizzate le *depth maps*, essendo queste un valido mezzo per la generazione di nuvole di punti e non avendo elaborato in precedenza *mesh* o un *tiled model*
- la ***quality*** è stata mantenuta sul valore di *high*, che risulta essere un buon compromesso tra la risoluzione originale (settaggio *ultra high*) e tempi più contenuti in fase di *processing*
- è stata utilizzata l'opzione del ***point spacing*** per eseguire un "sottocampionamento" a monte, impostando la generazione di 1 punto al cm, una scelta coerente con la precisione richiesta dalla scala di rappresentazione e che consente di contenere fin da subito i tempi di elaborazione della nuvola
- come algoritmo di ***depth filtering***, utile strumento per ottenere una nuvola con un basso "rumore" dovuto ad immagini sfocate o altri fattori, si è deciso di impiegare il *mild*, caratterizzato da una media aggressività, necessario per evitare che i dettagli del rilievo vengano eliminati assieme ai punti effettivamente soggetti a "rumore"

Parameters:

Property	Value
General	
Source data	Depth maps
Quality	High
Uniform sampling	Yes
Point spacing (m)	0.01
Advanced	
Depth filtering	Mild
Reuse depth maps	Yes
Calculate point colors	Yes
Calculate point confidence	No

Tabella 4.3-6: Parametri utilizzati per la generazione delle nuvole dense

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva con i dati relativi alle nuvole di punti create per le cinque differenti bande ed un estratto grafico dei risultati:

Nuvola densa	Dati camera		Settaggi Nuvola densa			Numero di punti	Tempo di elaborazione		
	Risoluzione immagini (px)	Lunghezza focale (mm)	Source	Quality	Filtering mode	-	Depth Maps	Ortorettifica	Totale
RGB	5280 x 3956	12.29	Depth maps	High	Mild	118,974,972	3 ore e 20 min	3 ore e 58 min	7 ore e 18 min
R	2592 x 1944	4.34	Depth maps	High	Mild	33,098,133	42 min	56 min	1 ora e 38 min
G	2592 x 1944	4.34	Depth maps	High	Mild	33,511,534	43 min	1 ora	1 ora e 43 min
RE	2592 x 1944	4.34	Depth maps	High	Mild	34,223,924	45 min	57 min	1 ora e 42 min
NIR	2592 x 1944	4.34	Depth maps	High	Mild	32,389,416	44 min	56 min	1 ora e 40 min

Tabella 4.3-7: Statistiche sulla creazione delle nuvole dense nei cinque chunks

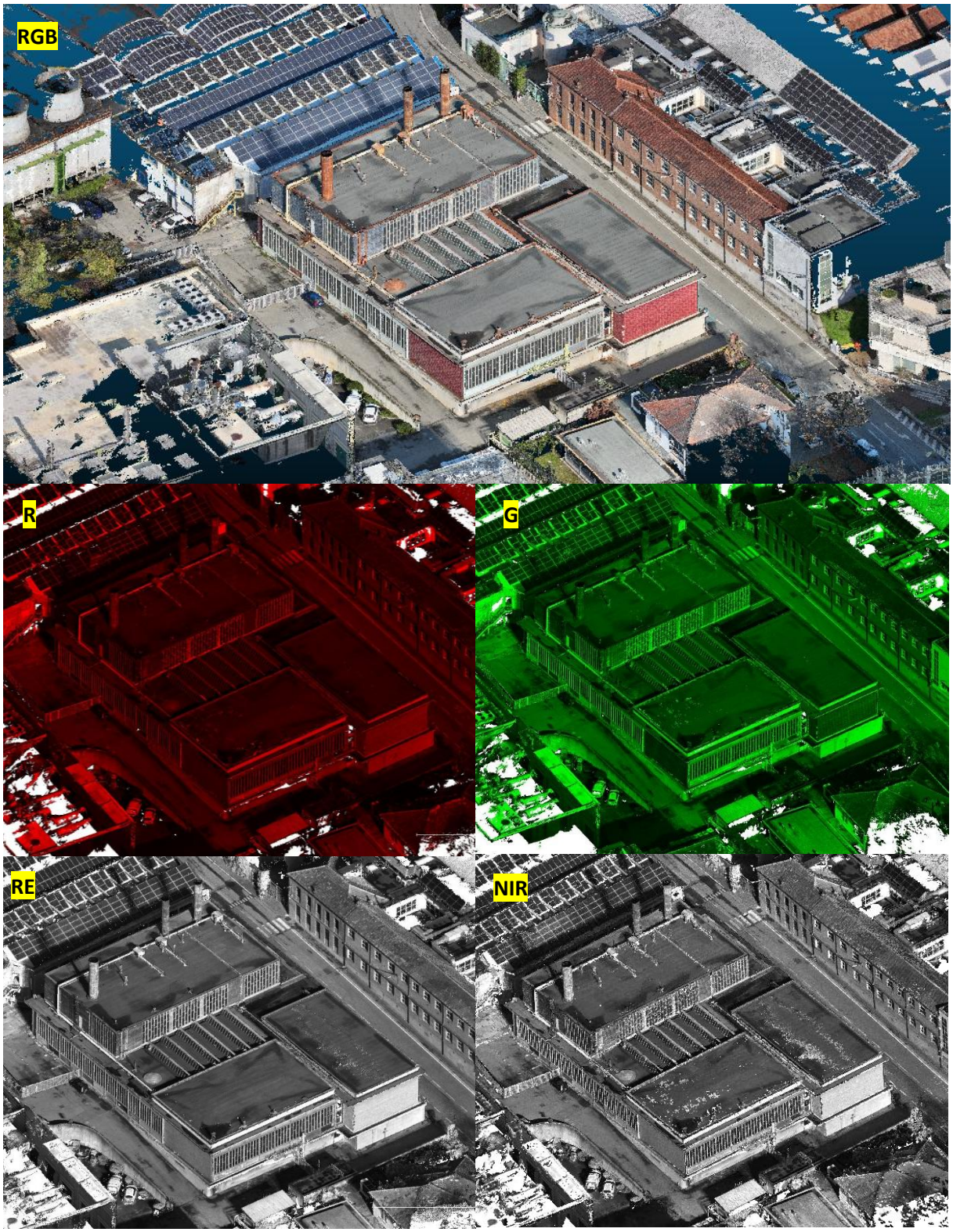


Figura 4.3-18: Vista assonometrica delle nuvole di punti generate

4.3.3.7 Generazione Ortomosaico da volo UAV

Un ortomosaico altro non è che l'unione di immagini ortorettificate, ovvero immagini che hanno subito un processo di ricampionamento dei pixel al fine di correggerne le deformazioni. L'ortomosaico consente dunque di ottenere delle immagini complessive degli edifici senza alterazioni di tipo geometrico, come se si osservasse idealmente l'edificio da un punto infinitamente distante nello spazio.

Al fine di elaborare delle immagini complessive della copertura e dei prospetti della Centrale Termica e dal contenuto metrico corretto, sono stati generati degli ortomosaici per ciascuna di tali superfici notevoli, impiegando tutti e cinque i dataset disponibili.

Tali immagini vedranno poi diversi impieghi:

- utilizzo come supporto al disegno CAD
- supporto alla modellazione di famiglie BIM
- analisi e documentazione dei fenomeni di degrado e alterazioni in essere
- analisi dei fenomeni di degrado e alterazioni mediante una comparazione tra le diverse bande osservabili al fine di individuare peculiarità nello spettro di emissione di taluni fenomeni

Poiché il soggetto di tali elaborazioni era solamente la Centrale termica, prima di procedere con la generazione dei DEM e quindi degli ortomosaici, si è proceduto con la "pulizia" delle nuvole di punti dal contesto, in modo da ridurre i tempi di elaborazione e raggiungere risultati più pertinenti con gli scopi della ricerca.

4.3.3.8 Generazione dei DEM

Il primo step per la generazione degli ortomosaici prevede l'elaborazione del DEM (*Digital Elevation Model*). Si tratta della superficie di riferimento che viene utilizzata dal software per la riproiezione dei fotogrammi e consiste in un'immagine raster dove ogni pixel ha un contenuto di tipo altimetrico.

Si procede dunque ad impostare i piani di riferimento sui quali eseguire tale elaborazione, i quali coincidono naturalmente con la vista della copertura e dei quattro prospetti. Mentre per l'ortofoto *top* è stato possibile impostare come piano di riferimento quello del sistema di coordinate WGS 84, ottenendo una elaborazione nadirale, ciò non è stato possibile per quanto concerne invece le facciate dell'edificio, le quali hanno richiesto la creazione di sistemi locali di coordinate, paralleli ad esse, al fine di ottenerne l'ortomosaico. Si è andati quindi a creare dei *markers* fittizi, individuando tramite la geometria della facciata l'asse orizzontale (*point* A → *point* B) e successivamente, creando una copia del *point A* con il valore di quota altimetrica aumentato, anche l'asse verticale.

Figura 4.3-19: posizionamento dei punti "fittizi" per l'individuazione del piano di riferimento per la generazione dell'ortofoto

Di seguito si riportano le principali impostazioni che sono state invece definite per l'elaborazione dei DEM:

- Tipo di proiezione
  - Geografica: proiezione delle immagini sulla superficie del sistema di coordinate UTM WGS 84 (vista nadirale)
  - Planare: proiezione su sistemi di riferimento locali definiti dall'utente (viste prospetti)
- Parametri
  - Origine dei dati: *point cloud*
  - Interpolazione: disabilitata, al fine di avere un modello della superficie il più affidabile possibile, senza semplificazioni laddove, per qualche ragione, non era possibile determinarlo in modo diretto
- Spazio
  - Non sono stati definiti dei confini per la generazione del DEM, considerando il fatto che le nuvole erano già state pulite dal contesto e volta per volta è stato modificato il *boundary box* che consente di delimitare le proiezioni di nuvola da impiegare per l'elaborazione
  - La risoluzione dell'immagine raster è invece un dato non modificabile che dipende dalla qualità con la quale è stata generata la nuvola di punti (*high* nel caso in esame)

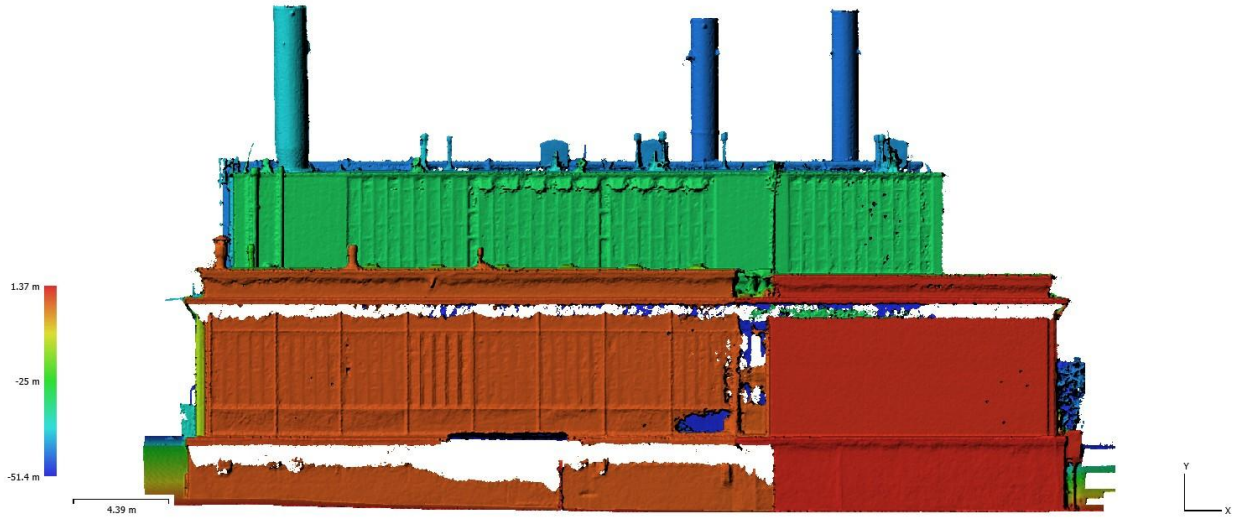


Figura 4.3-20: Visualizzazione del DEM prospetto sud

4.3.3.9 Generazione delle ortofoto UAV

Una volta ricavati tutti e cinque i DEM per ciascuna delle cinque diverse bande disponibili è stato possibile generare i rispettivi ortomosaici. Per farlo è sufficiente avere all'interno dei vari *chunk* tutte le immagini che riguardano il prospetto che occorre elaborare, condizione sempre rispettata dal momento che non sono mai state apportate modifiche ai dataset.

Quindi, oltre ad impostare come superficie di proiezione delle immagini il DEM di riferimento, vi sono alcuni parametri da cui dipende il risultato finale:

- La funzione ***hole filling***: essa consente un'interpolazione delle immagini per colmare eventuali lacune presenti nel DEM; dopo alcuni tentativi si è ritenuto, per avere un maggior controllo sull'affidabilità del dato finale, di disattivare tale opzione.
- La funzione di ***ghosting filter***: essa consente di rimuovere oggetti in movimento dall'ortomosaico finale; funzione disabilitata in quanto, date le riprese aeree, non si presentava tale problematica.

- Il parametro ***pixel size***: definisce la risoluzione del prodotto finale e deve rispettare in linea di massima quella del DEM sul quale saranno riproiettate le immagini; in questo caso, se i DEM erano stati generati con 2 cm/px, si è optato per le ortofoto il settaggio di 1 cm/px, un compromesso tra la massima risoluzione ottenibile e la coerenza con il dato di base

Figura 4.3-22: Ortofoto prospetto est

Figura 4.3-21: Ortofoto prospetto sud

Sebbene la qualità generale degli ortomosaici generati sia soddisfacente, viste e considerate le risoluzioni dei sensori e le distanze di presa, vi sono alcune criticità in determinate aree dell'immagine che accomunano tutte le elaborazioni dei prospetti:

a. Le aree immediatamente al di sotto di sporgenze dell'edificio vedono importanti lacune di dato, causate proprio dal "cono d'ombra" che le stesse sporgenze generano nel caso di riprese "dall'alto"

b. Sul perimetro della sagoma dell'edificio, specie laddove questo è definito da minuti dettagli architettonici, si possono notare errori nella riproiezione delle immagini, errore dovuto sia al rumore della nuvola e dunque alla conseguente imprecisione del DEM, sia all'incompatibilità dimensionale tra tali dettagli e la risoluzione massima raggiungibile

c. È risultata difficoltosa la riproiezione di una parte del prospetto ovest, in particolare della facciata ovest del Volume rivestito in clinker rosso: questa, trovandosi arretrata di 25 metri rispetto al prospetto ovest e a causa della sua scarsa estensione per di più localizzata in un angolo dell'edificio, ha reso più difficile l'acquisizione di immagini, risultando quindi meno definita nell'ortomosaico finale.

Figura 4.3-23: Individuazione delle lacune di dato nelle ortofoto ottenute mediante le acquisizioni con drone

4.3.4 Fotogrammetria terrestre

Per l'elaborazione delle immagini catturate da terra è stato impiegato il software Metashape, seguendo il *workflow* già mostrato nel caso del volo UAV. Sebbene i principi teorici non varino rispetto a quanto mostrato in tale caso, il processo che ha condotto all'elaborazione degli ortomosaici da immagini terrestri è stato decisamente più complesso a causa dei numerosi problemi riscontrati che hanno richiesto l'implementazione di un approccio iterativo al fine di ricavare dei risultati qualitativamente accettabili.

Per questo motivo, la trattazione di tali procedimenti non seguirà il classico schema suggerito dal *workflow* stesso, come già fatto nel caso dei dati da UAV, ma sarà condotta riportando i vari tentativi che si sono susseguiti, evidenziandone di volta in volta problematiche e soluzioni.

4.3.4.1 Step 1: Allineamento immagini terrestri

Inizialmente è stato importato tutto il dataset di immagini catturate da terra in un unico *chunk*, lanciando l'allineamento delle stesse con l'impostazione di qualità settata su *"high"* (impostazione mantenuta per tutti i successivi tentativi). Nonostante la posizione relativa dei centri di presa fosse stata correttamente determinata per i tre fronti est-sud-ovest, il fronte nord non era stato correttamente allineato.

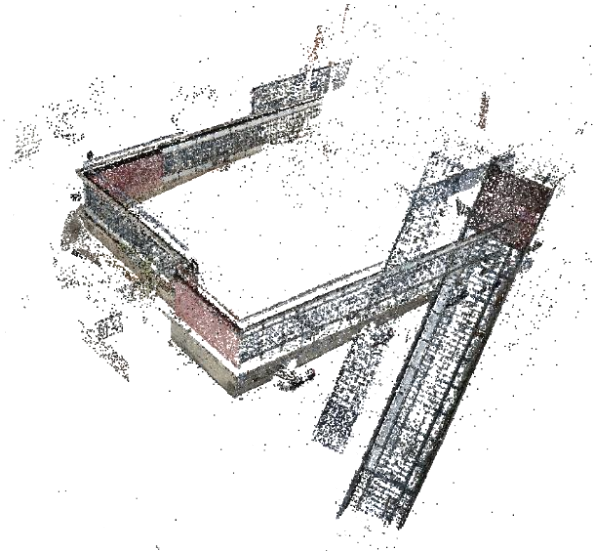


Figura 4.3-24: Fallimento nella creazione della nuvola sparsa utilizzando le immagini di tutti i prospetti

La prima ipotesi fatta circa questo problema vedeva come causa la modularità degli infissi che caratterizzano tutto l'edificio, rendendo difficoltoso al software l'individuazione di un numero sufficiente di *keypoints* per il corretto allineamento di tutte le immagini.

4.3.4.2 Step 2: Divisione in chunk per prospetti

Si è quindi deciso di procedere dividendo il lavoro in due *chunk* separati, isolando l'elaborazione del fronte nord da quella dei fronti est-sud-ovest. A tal punto, sebbene l'elaborazione della nuvola sparsa si potesse ritenere andata a buon fine, da un'analisi più accurata della stessa, sono emerse delle lacune di dato nell'angolo nord-nord-ovest all'interno del *chunk* dei fronti est-sud-ovest. Sono state quindi importate delle immagini che, pur ritraendo per lo più il fronte nord, descrivevano parzialmente tale angolo critico che impediva la corretta elaborazione di una parte del prospetto ovest. L'implementazione di tali immagini non ha tuttavia contribuito a risolvere la problematica, evidenziando una carenza nell'acquisizione di fotogrammi ritraenti tale angolo durante la campagna di terra.

Si è ugualmente proceduto, dopo aver eseguito l'*import* delle *reference* ed averle individuate in un numero sufficiente di fotogrammi, alla stima dei parametri della camera e quindi alla generazione delle due nuvole dense. Da una prima analisi visiva emergeva fin da subito un alto grado di "rumore", con il risultato che i dettagli degli infissi, così come la trama delle piastrelle in clinker di facciata, apparivano scarsamente definiti. Sebbene il fronte nord presentasse risultati leggermente migliori, il giudizio non poteva discostarsi da quanto detto per l'altro *chunk*.

Figura 4.3-25: A sinistra un estratto della nuvola sparsa del prospetto nord, a destra quella del prospetto sud

Il fallimento nella generazione delle nuvole dense è diventato ancora più chiaro nel momento in cui è stata lanciata l'elaborazione di alcuni DEM delle facciate, che sono risultati essere altamente compromessi e sostanzialmente inservibili per la generazione delle ortofoto.

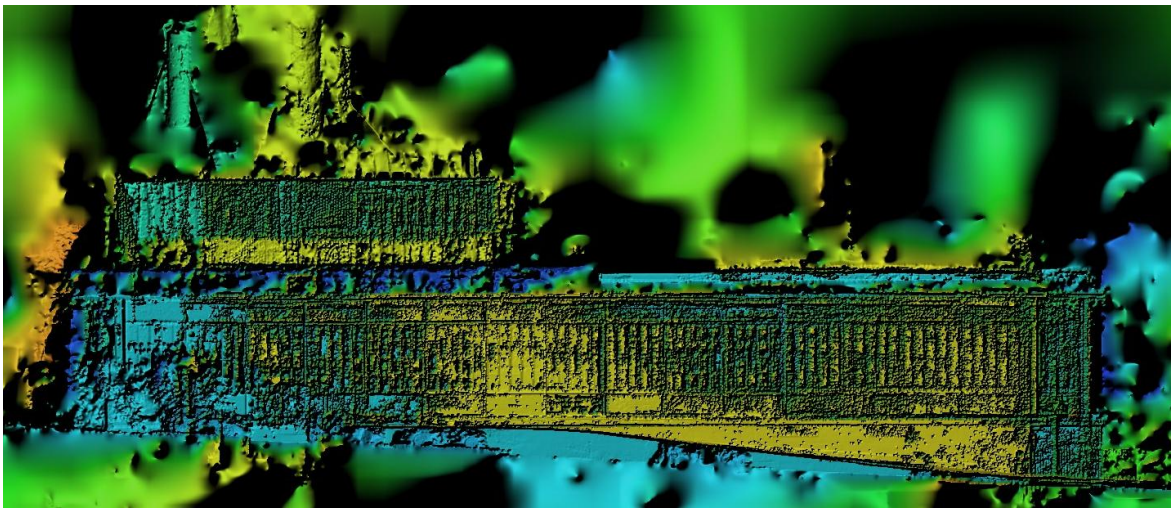


Figura 4.3-26: DEM del prospetto ovest

4.3.4.3 Step 3: Allineamento immagini terrestri + UAV

La strategia successiva è stata quindi mirata a colmare le lacune di dato del dataset terrestre integrandolo con il volo UAV eseguito in diagonale.

L'allineamento dell'intero dataset, eseguito in una volta sola in un singolo *chunk*, sebbene abbia portato, come prevedibile, ottimi risultati per la parte UAV, in generale ha prodotto degli scarsi risultati: oltre al fatto che tre delle 285 immagini non erano state affatto allineate, circa il 20% dell'intero dataset vedeva un allineamento completamente errato. In linea di massima si poteva notare la difficoltà del software nel riconoscere e collegare correttamente le immagini provenienti dai due differenti dataset.

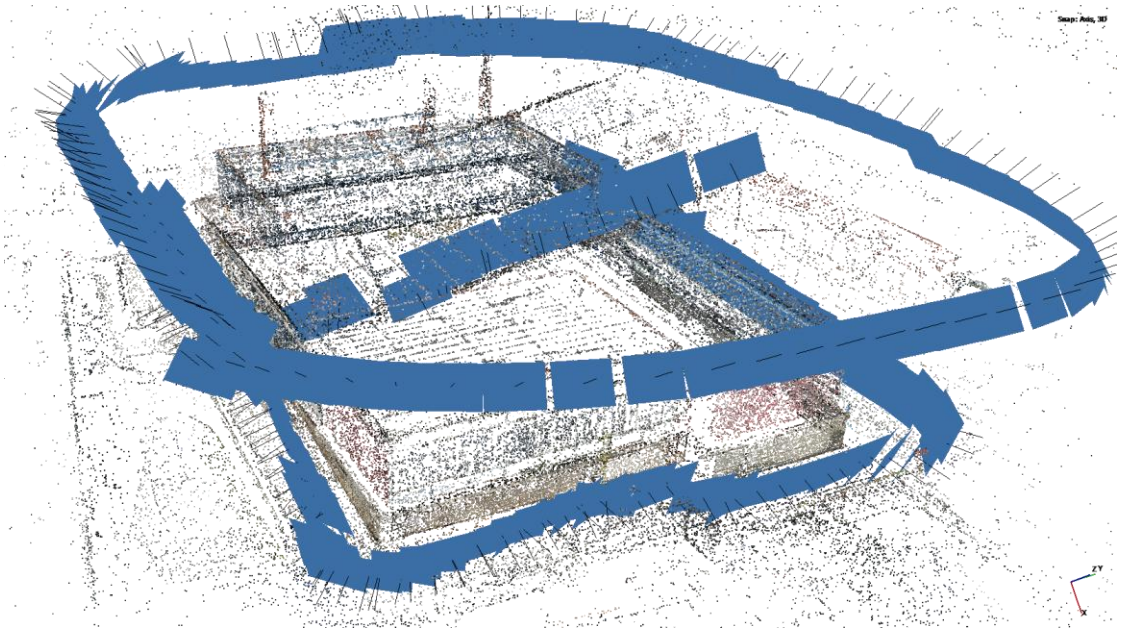


Figura 4.3-27: Tentativo di allineamento delle immagini da UAV con quelle da fotogrammetria terrestre

Si è pertanto deciso di sfruttare l'impiego di "punti naturali" per "forzare" il software nel riconoscimento delle corrispondenze tra immagini terrestri e UAV. Dopo un iniziale allineamento generale, si è proceduto individuando manualmente dei "punti naturali" condivisi dalle coppie di immagini terrestre-drone, al fine di forzare l'allineamento del terrestre sulla base di quello riuscito del volo UAV. Tale procedura non è però stata in grado di risolvere le problematiche già evidenziate, con addirittura un calo delle immagini allineate: 233/285.

Viste le problematiche nel gestire più prospetti in un'unica soluzione, si è deciso da questo momento in avanti di lavorare ogni prospetto su un *chunk* separato, non essendoci la necessità di ricostruire un modello completo della Centrale Termica dato il fine di ottenere degli ortomosaici delle singole facciate. Tale scelta si rivelerà essere la prima vera miglioria per il raggiungimento degli obiettivi finali.

4.3.4.4 Step 4: Terrestre + Drone: prospetto nord

I successivi sforzi si sono concentrati nel migliorare la metodologia di elaborazione operando solamente sul solo prospetto nord, per poi applicarla sugli altri una volta affinata.

La strategia introdotta in questo caso vede l'impiego sia delle immagini da terra che da drone per la generazione di una nuvola densa arricchita da entrambi i dataset. Il fine era infatti quello di colmare le lacune della nuvola da fotogrammetria terrestre con quella da volo UAV, anche se la compatibilità e il *match* tra le due si è dimostrato non sempre affidabile. Questo si osservava soprattutto nelle parti più in elevato della facciata, dove la nuvola da terra risultava imprecisa e particolarmente rumorosa.

Nonostante ciò, sono stati generati i rispettivi DEM e ortomosaico, mostrando dei risultati piuttosto buoni se comparati ai tentativi precedenti, con la parte superiore del volume principale della Centrale ora ben visibile grazie alle immagini da drone; nonostante ciò, persistevano alcune problematiche:

- nella parte superiore dell'edificio le due nuvole non sono sovrapponibili, probabilmente a causa dell'inaffidabilità del dato da terra; ciò diventa ben visibile nella generazione dell'ortomosaico, dove la conseguente inesattezza del DEM causa un errore nella riproiezione delle immagini identificabile come un "taglio" orizzontale

- il DEM, e quindi l'ortomosaico, presenta delle lacune in corrispondenza dei vetri; si tratta di una problematica non particolarmente critica, che comunque in parte compromette la visione d'insieme del prospetto
- l'ortofoto non risulta affidabile dal punto di vista geometrico per quanto riguarda gli elementi più piccoli della facciata, come ad esempio i telai degli infissi che ne scandiscono il ritmo architettonico. Un'analisi più dettagliata delle *seamlines* (confini tra le diverse regioni delle immagini utilizzate per creare il modello) rivela infatti una generazione delle regioni dei fotogrammi impiegati estremamente frammentata, ovvero l'opposto di quello che si avrebbe in un'elaborazione ben riuscita, con il minor numero possibile di regioni e il più regolari possibile

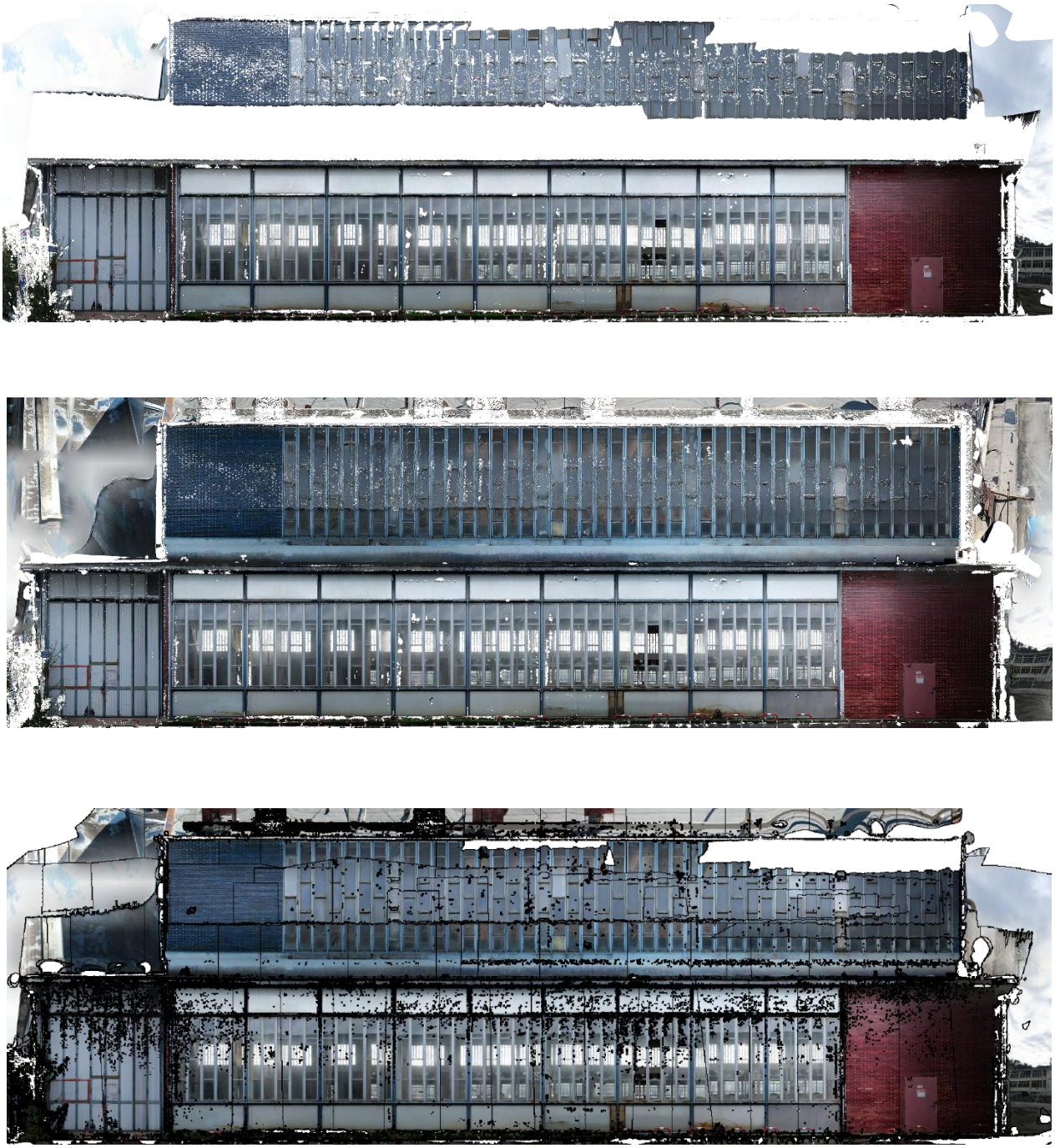


Figura 4.3-28: Dall'alto verso il basso: ortofoto generata da sola fotogrammetria terrestre, ortofoto da immagini terrestri e UAV, analisi delle seamlines dell'ortofoto ottenuta dall'integrazione dei due set di immagini

4.3.4.5 Step finale: Integrazione dataset terrestre + drone con base LiDAR

Nonostante le migliorie apportate fino ad ora al processo di creazione degli ortomosaici, questi non rispettavano ancora i requisiti di correttezza geometrica e completezza del dato, viste le sensibili distorsioni nella rappresentazione dei dettagli e le numerose lacune ancora presenti nell'elaborato finale.

Poiché tali problematiche sono tutte riconducibili all'inadeguatezza del dato di origine del DEM, ovvero la nuvola di punti, si è scelto di non impiegare ulteriormente quella ottenuta dalla fotogrammetria terrestre, andando a sfruttare quella LiDAR generata in precedenza. Nonostante il comprovato *match* tra questa nuvola e quella generata dal volo UAV, sono state ugualmente operate delle azioni al fine di integrare al meglio tali dati:

- la nuvola da LiDAR terrestre è stata pulita dai punti oltre i 6 metri di elevazione rispetto al piano di calpestio esterno alla ex Centrale Termica, mantenendo quindi solo la parte più affidabile
- la nuvola da UAV ha visto solamente degli interventi di "pulizia" mirati alla rimozione del rumore presente in alcuni punti, andando quindi a integrarsi nella parte inferiore dell'edificio con quella da LiDAR terrestre, rimanendo unico dato di origine per la parte superiore dell'edificio, ovvero quella dove la completezza e accuratezza della stessa era presumibilmente maggiore, essendo la distanza drone-edificio inferiore al momento della cattura delle immagini

Figura 4.3-29: Nuvola LiDAR con evidenziata in rosso la parte superiore rimossa

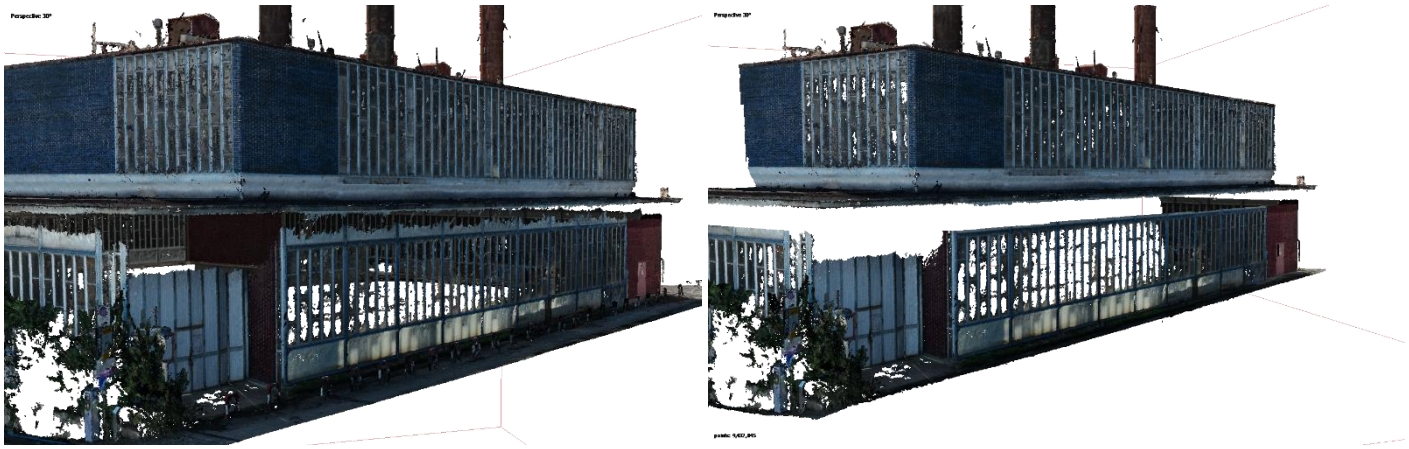


Figura 4.3-32: Nuvola di punti da UAV, pulizia dell'area al disotto della pensilina, caratterizzata da alti livelli di rumore

Figura 4.3-31: Unione delle nuvole ottimizzate da LiDAR e UAV

Unite le due nuvole di punti si è generato il DEM del prospetto nord (interpolazione abilitata; risoluzione 1 cm/px), che ha dato un primo riscontro molto positivo, presentando un ridotto numero di lacune e non essendo sostanzialmente affetto da errori nella descrizione altimetrica del prospetto.

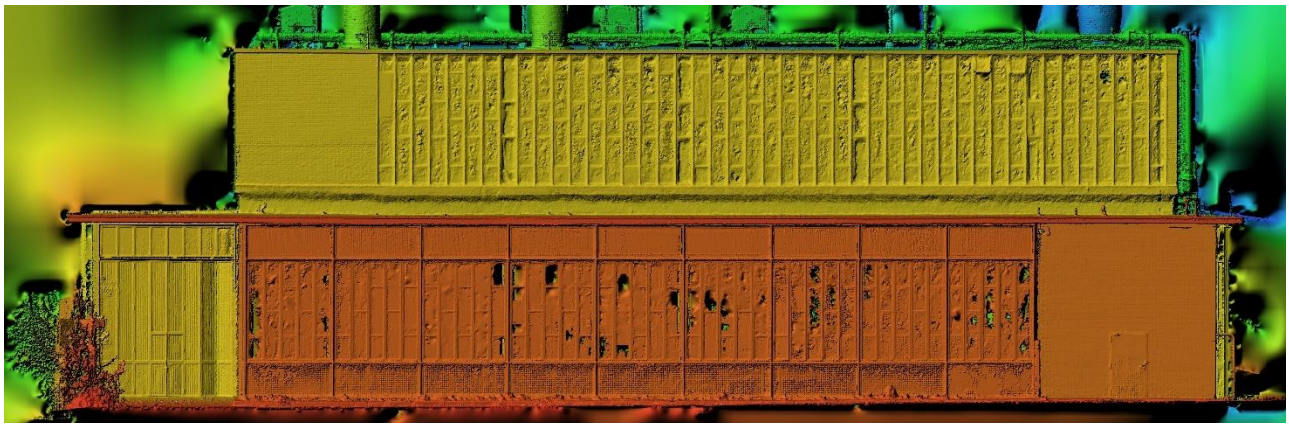


Figura 4.3-30:DEM del prospetto Nord ottenuto dalle due nuvole LiDAR e UAV, precedentemente ottimizzate e unite

Avendo eseguito la stima dei parametri di orientamento interno ed esterno delle immagini della campagna fotografica terrestre già al secondo tentativo, è stato possibile procedere immediatamente alla generazione dell'ortomosaico (*hole filling* abilitato; risoluzione 0.2 cm/px), il quale, a sua volta, è apparso essere decisamente meno affetto da aberrazioni geometriche o lacune, grazie proprio alla qualità raggiunta in precedenza con il DEM.

L'unica operazione aggiuntiva volta a migliorare il risultato finale è stata la correzione di alcune problematiche emerse nella parte superiore del prospetto, dove vi era una scarsa compatibilità tra le immagini da drone e quelle acquisite da terra. Per uniformare il risultato finale si è deciso pertanto, mediante la modifica delle *seamlines* con il comando *Draw Patch*, di impiegare solo le immagini da UAV per la parte superiore del prospetto, a partire dai cordoli di copertura dei due volumi inferiori dell'edificio, interessando nella sua interezza il volume superiore dell'ex locale caldaie (caratterizzato dal clinker blu).

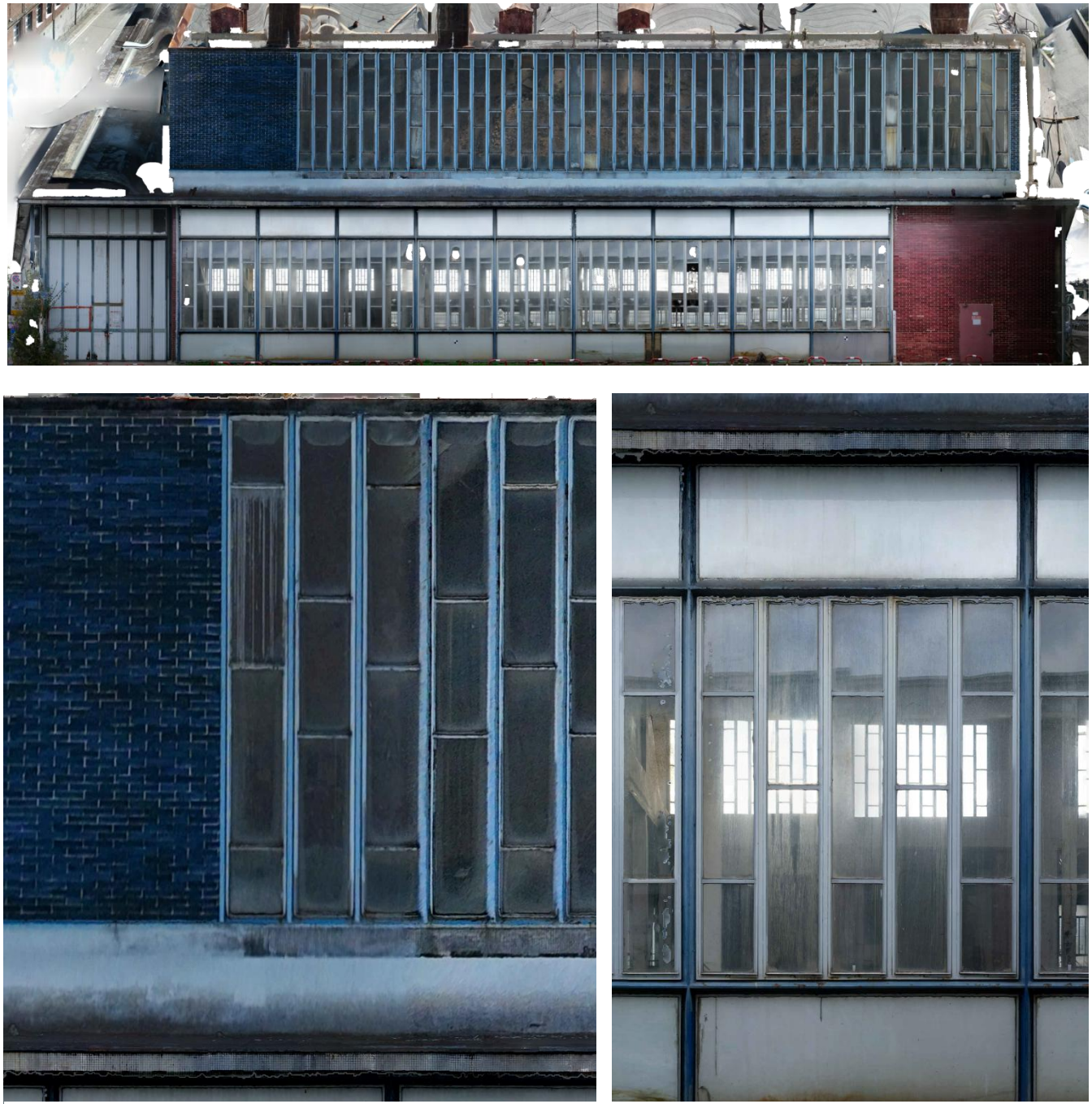


Figura 4.3-33: Ortofoto del prospetto nord, ottenuta impiegando per il piano terra le immagini terrestri, mentre quelle da drone per la parte superiore, e dettagli degli infissi

Verificata la bontà del risultato, la metodologia finora descritta per la generazione dell'ortomosaico del prospetto nord è stata applicata anche per i prospetti est, sud, ovest: sono stati ottenuti risultati simili in termini di precisione della restituzione fotogrammetrica e comunque compatibili con i loro possibili utilizzi, come quello dell'analisi del degrado e delle alterazioni.

Chunk	Source data	Control points	Check points	Risoluzione DEM	Risoluzione Ortofoto
		errore (cm)	errore (cm)	cm/px	cm/px
Nord	Lidar + Drone	1	1.7	1	0.2
Est	Lidar + Drone	4	6	1	0.2
Sud	Lidar + Drone	3.3	5.8	1	0.2
Ovest	Lidar + Drone	3.7	3.5	1	0.2

Tabella 4.3-8: Precisioni ottenute nella generazione delle ortofoto delle quattro facciate della ex Centrale Termica

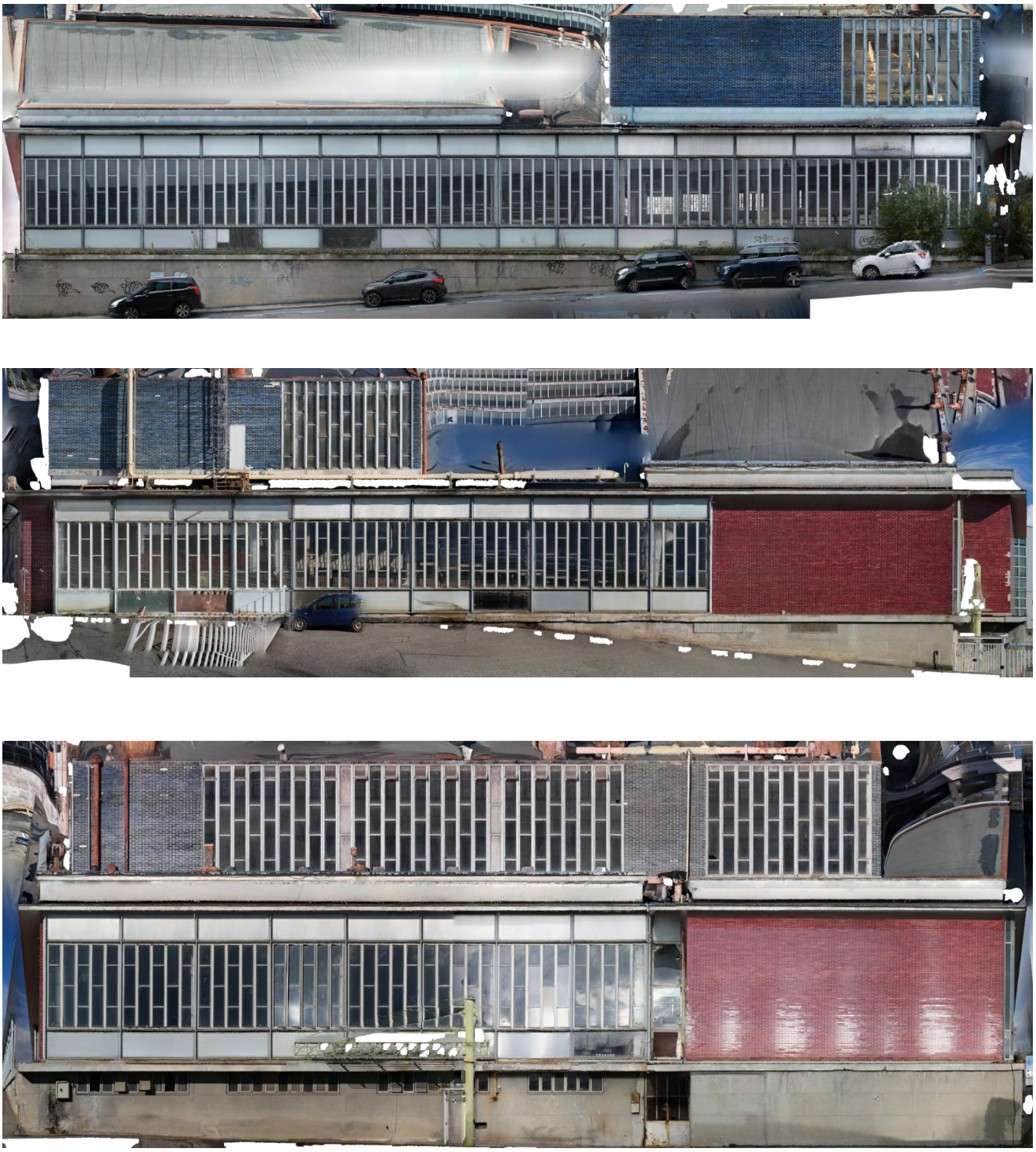


Figura 4.3-34: Dall'alto verso il basso: prospetto est, prospetto ovest, prospetto sud, ottenuti con procedura analoga al prospetto nord

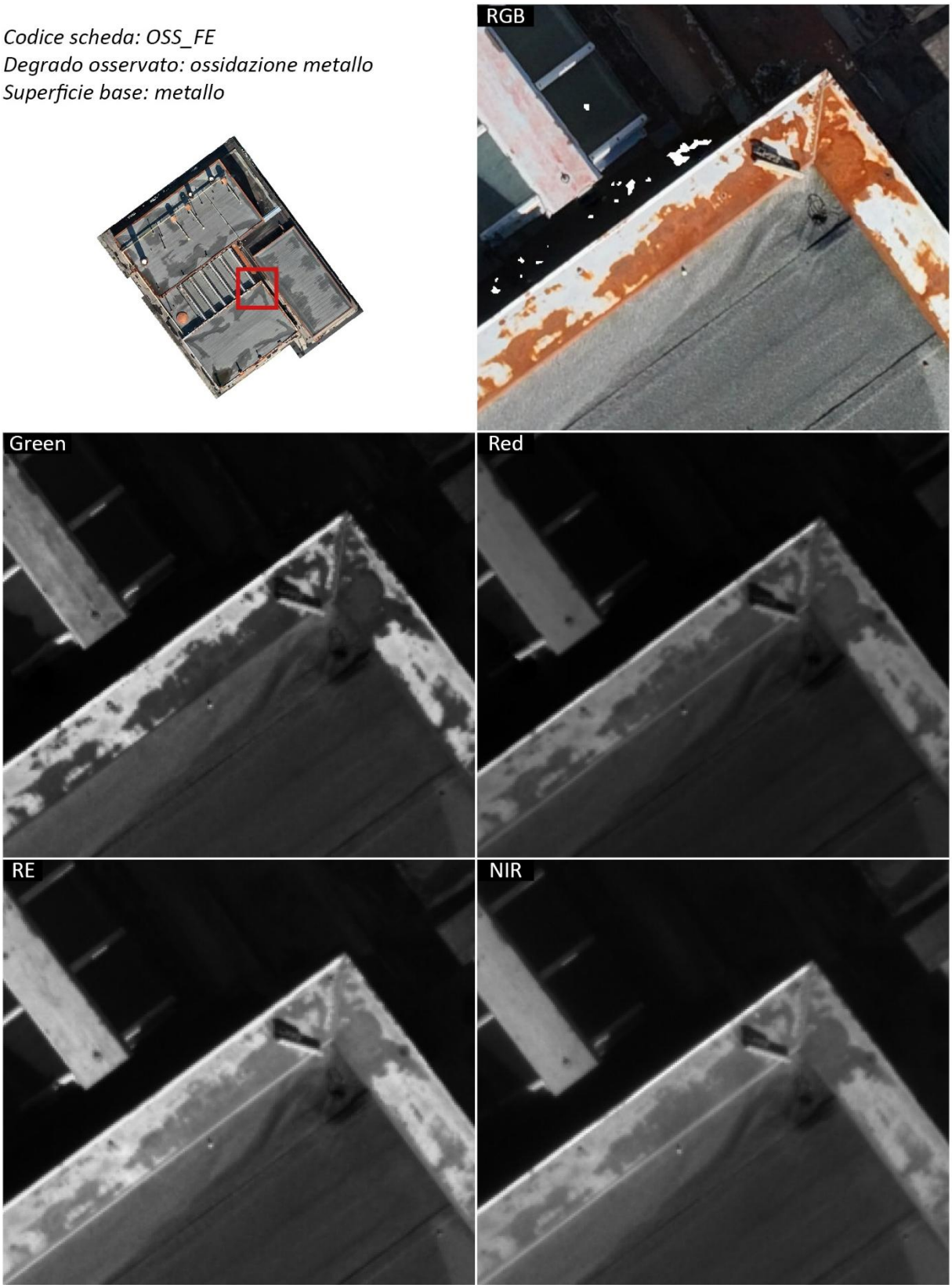
4.3.5 Immagini multispettrali da volo UAV

L'analisi dei dati multispettrali sarà eseguita sulle ortofoto ricavate dal processo fotogrammetrico illustrato nel cap. 4.1.1.3.

Non è stato possibile condurre la correzione radiometrica delle immagini data la difficoltà nel posizionare dei pannelli di riferimento nella scena ripresa durante il volo UAV.

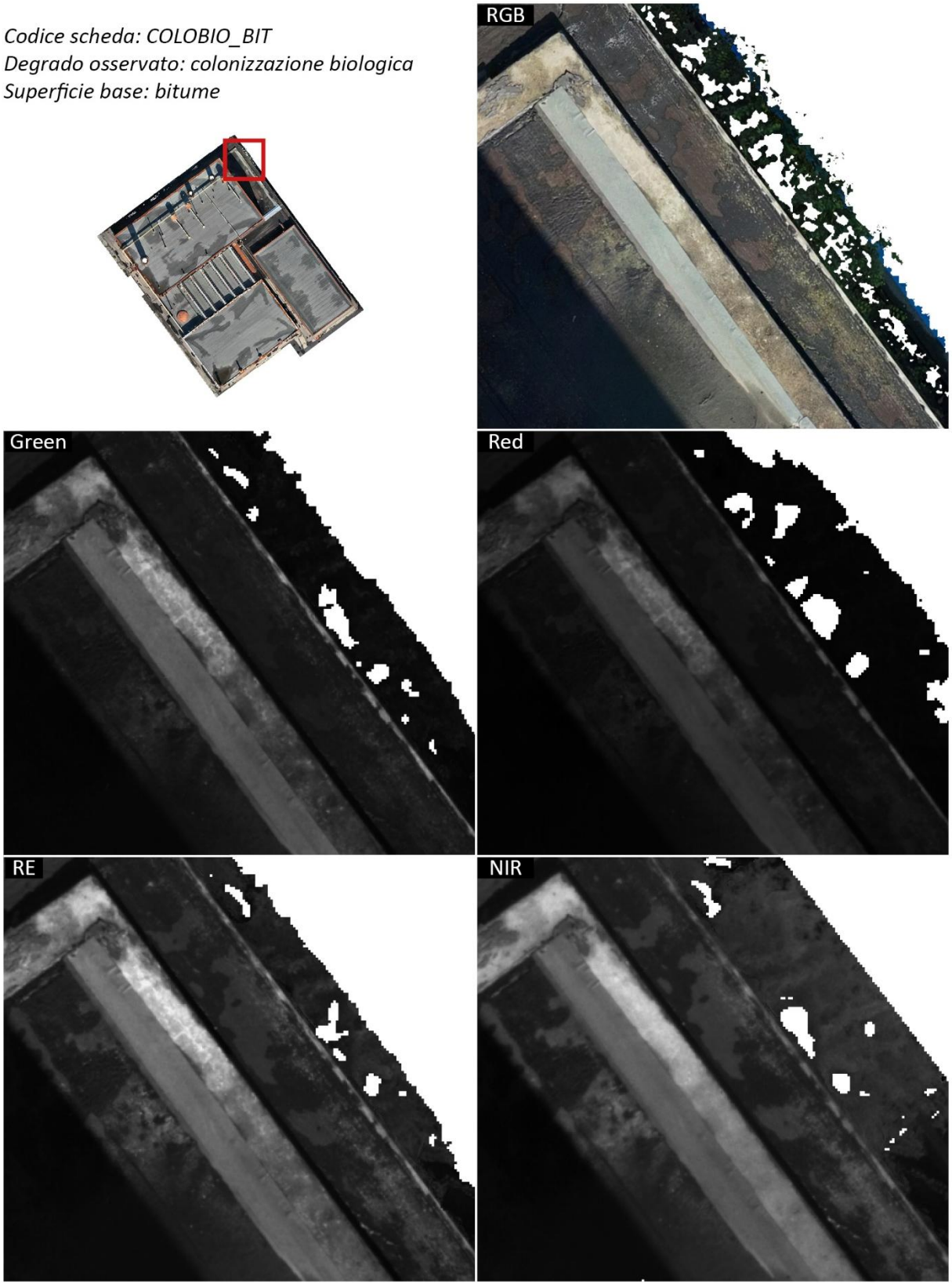
L'analisi sarà quindi svolta in termini qualitativi analizzando visivamente le differenze radiometriche delle patologie riconoscibili nelle diverse bande disponibili (RGB, R, G, RE, NIR), facendo emergere considerazioni circa il possibile impiego di determinate bande per la caratterizzazione di determinati fenomeni di degrado. L'esposizione sarà quindi realizzata mediante schede, divise per degrado, composte a mo' di mosaico con i cinque fotogrammi disponibili per un confronto immediato. Ciascuna scheda vede il proprio titolo composto dal tipo di degrado osservato seguito dal nome del materiale interessato dallo stesso.

Codice scheda: OSS_FE
Degrado osservato: ossidazione metallo
Superficie base: metallo



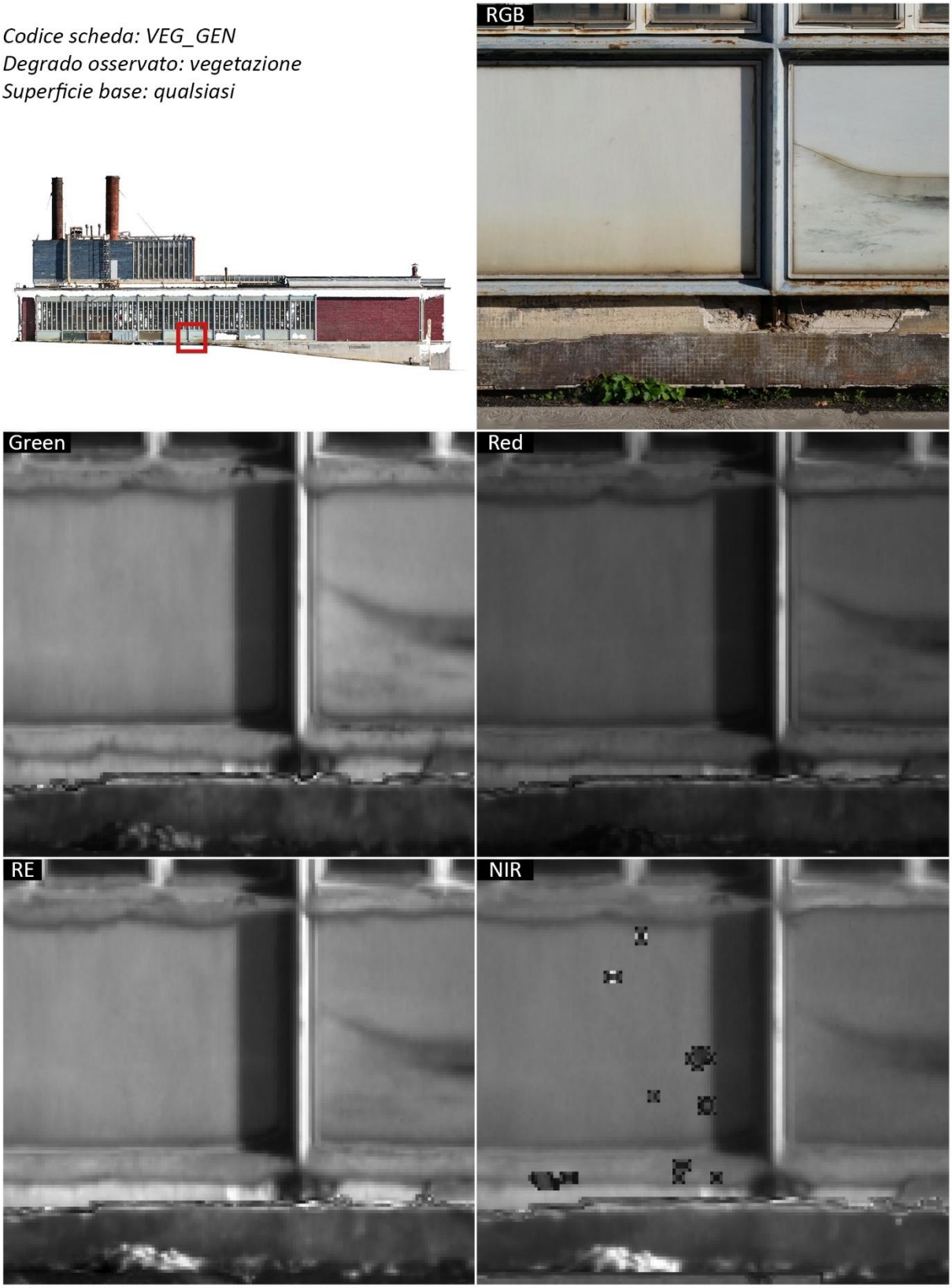
Il confronto delle ortofoto consente di notare un elevato contrasto tra metallo “sano” e metallo ossidato nella banda G. In particolare, la parte ossidata risulta assorbire gran parte della radiazione elettromagnetica nell’intorno dei 560 nm, viene al contrario particolarmente riflessa con una intensità simile a quanto accade nell’RGB nelle porzioni dove il metallo della scossalina non è stato intaccato dall’ossidazione. Simili risultati sono riscontrabili nei telai degli infissi e nei ferri d’armatura affioranti a seguito dell’espulsione del calcestruzzo.

Codice scheda: COLOBIO_BIT
Degrado osservato: colonizzazione biologica
Superficie base: bitume



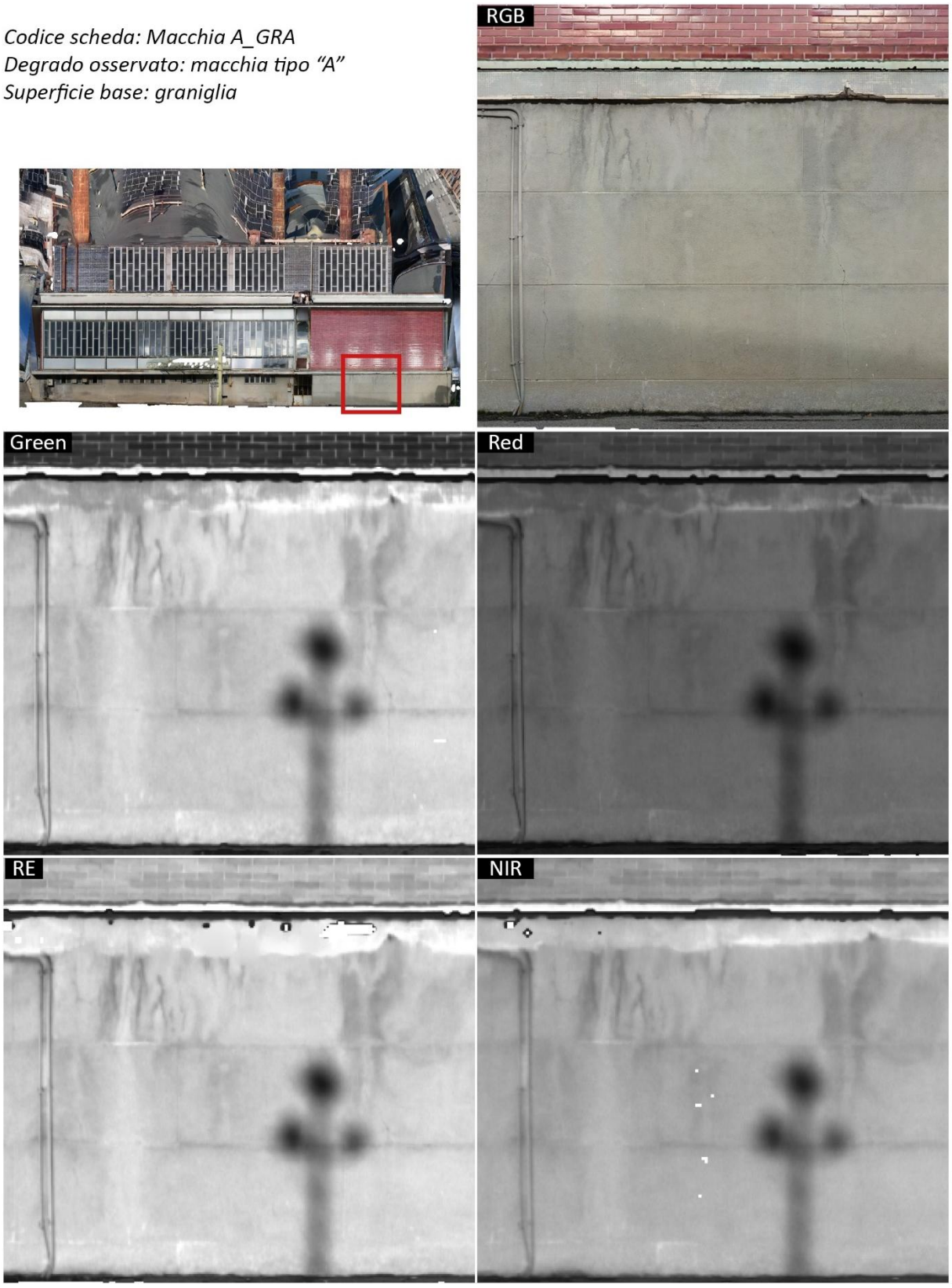
Dall'ortofoto RGB è possibile individuare in copertura delle aree soggette a colonizzazione biologica, formatesi prevalentemente sulla pensilina lato nord-nord/est. Nelle immagini RE e NIR tali aree sono distinguibili dalla superficie bituminosa grazie ad alti valori di riflettanza nell'intorno delle bande 730 nm e 860 nm. Tale risultato, considerando le caratteristiche delle specie vegetali che riflettono alte quantità della radiazione elettromagnetica nell'infrarosso, era atteso; il caso studio mette piuttosto in evidenza la capacità del rilievo UAV di individuare anche patologie dalle ridotte dimensioni come quella del caso in esame.

Codice scheda: VEG_GEN
Degrado osservato: vegetazione
Superficie base: qualsiasi



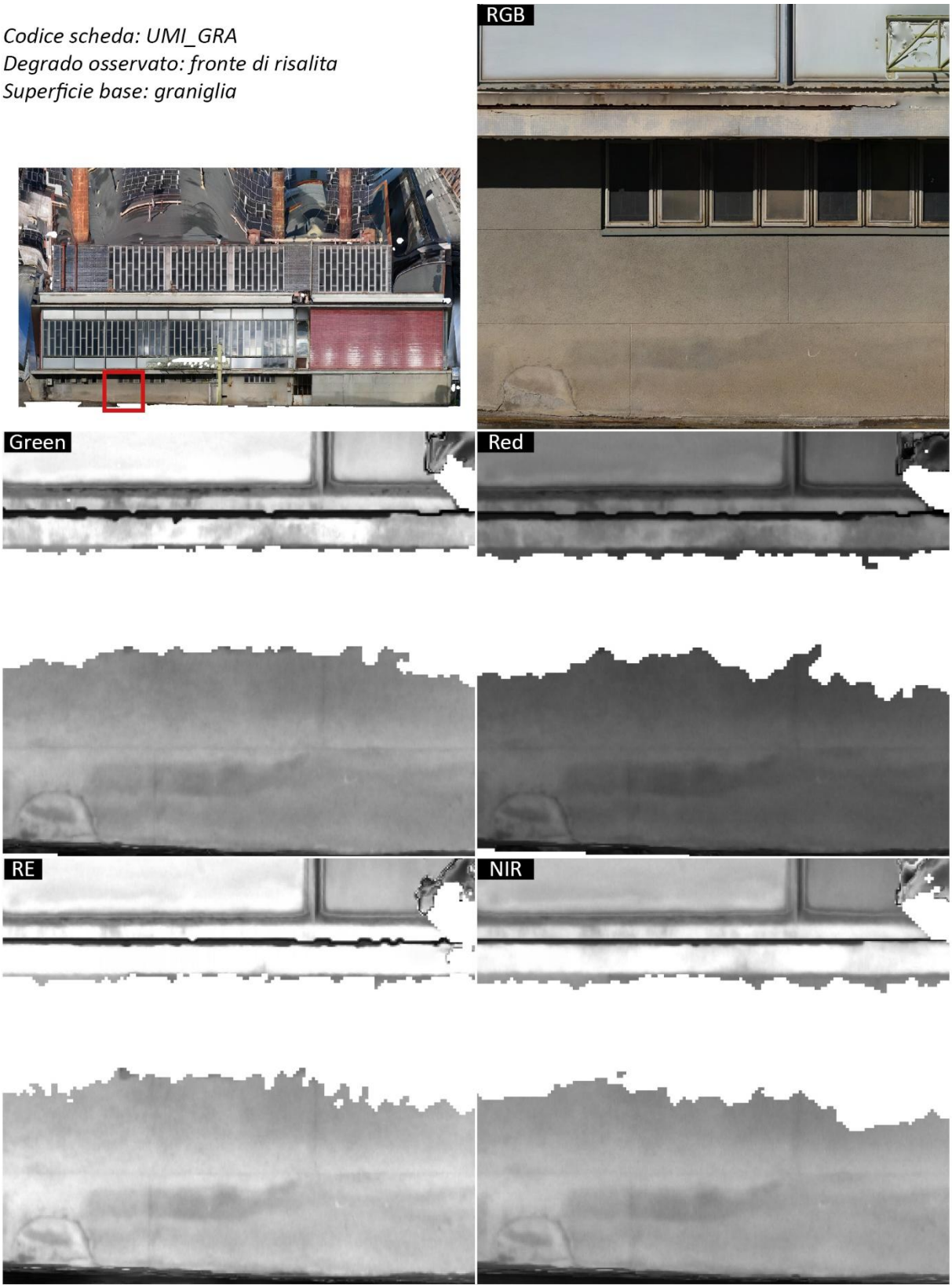
Il degrado dovuto alla presenza della vegetazione si è, nel caso in esame, verificato solo nell'attacco a terra dell'edificio, in corrispondenza di quella che originariamente era una fioriera. Anche forme di vegetazione di piccola entità, come quella raffigurata qui sopra, risultano essere ben individuabili nelle bande del RE e del NIR, mostrando in tali fotogrammi elevati valori di riflettanza. Tale risultato è concorde con la firma spettrale delle specie vegetali ed evidenzia la compatibilità tra la tipologia di sensori usati, la distanza di presa e la minuta dimensione della specie arborea analizzata.

Codice scheda: Macchia A_GRA
Degrado osservato: macchia tipo "A"
Superficie base: graniglia



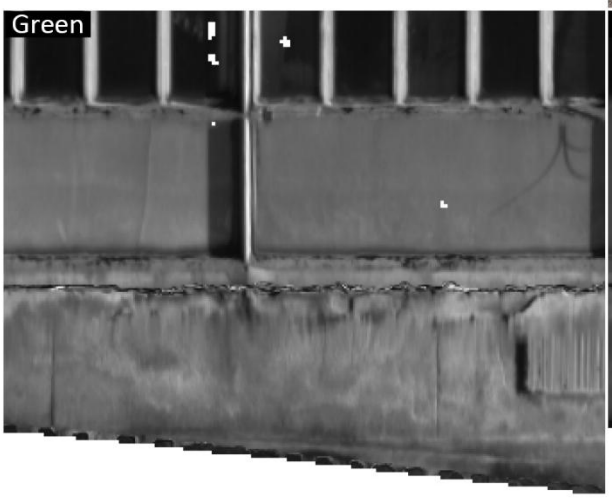
Questa particolare tipologia di macchia, vista la geometria e l'aspetto, è dovuta probabilmente a fenomeni di dilavamento che hanno causato il deposito di materiale incoerente sul rivestimento. Sebbene sia già visibile nell'immagine RGB, viene messa particolarmente in risalto sia nella banda del verde (G) che ai limiti del rosso (RE). In tali bande, infatti, quello che sembra essere un deposito di materiale lungo i perimetri delle macchie ha valori di riflettanza decisamente inferiori, fattore che unito ad una più alta intensità radiometrica nella parte "interna" delle macchie stesse, ne facilita il riconoscimento.

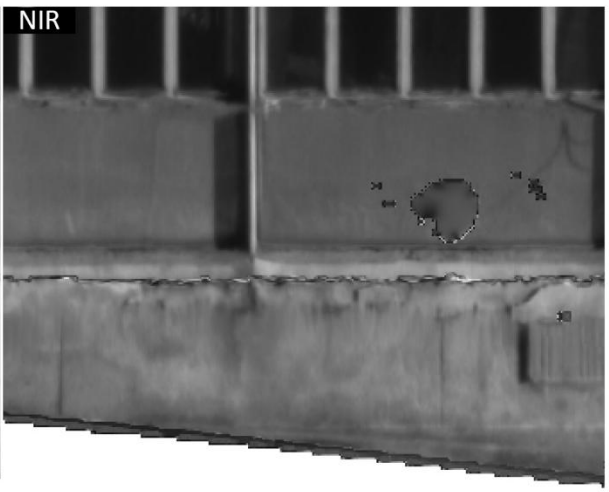
Codice scheda: UMI_GRA
Degrado osservato: fronte di risalita
Superficie base: graniglia



Nelle porzioni inferiori del basamento in graniglia, specialmente sul fronte sud, si può individuare un fronte di risalita dell'umidità. L'umidità e i degradi ad essa correlati sono individuabili in una macchia color scuro e dall'andamento lineare, visibili nelle quattro bande oggetto di studio in modo similare. Non ben distinguibile nell'immagine RGB, si nota appena sopra la fascia scura e specialmente nelle bande G-RE-NIR, una fascia bianca che potrebbe essere dovuta alla presenza di sali riconducibili al fenomeno dell'efflorescenza, degrado indotto e quindi compatibile con la presenza di un fronte di risalita.

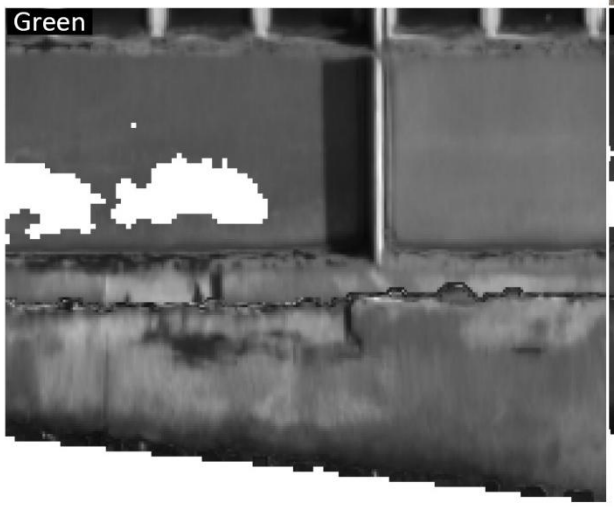
Codice scheda: ESFO_PITT
Degrado osservato: esfoliazione
Superficie base: pittura su graniglia

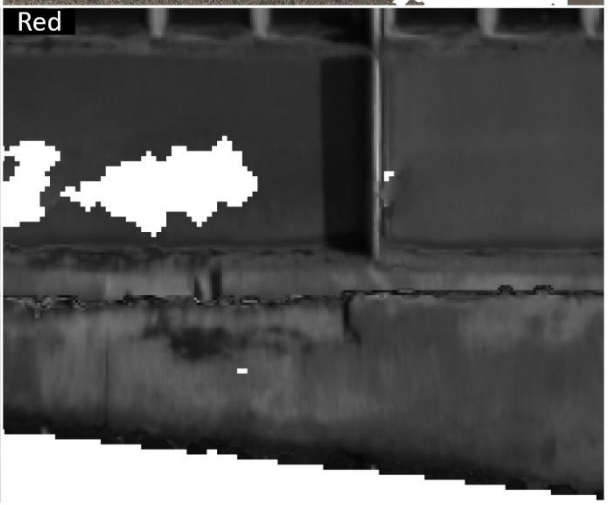


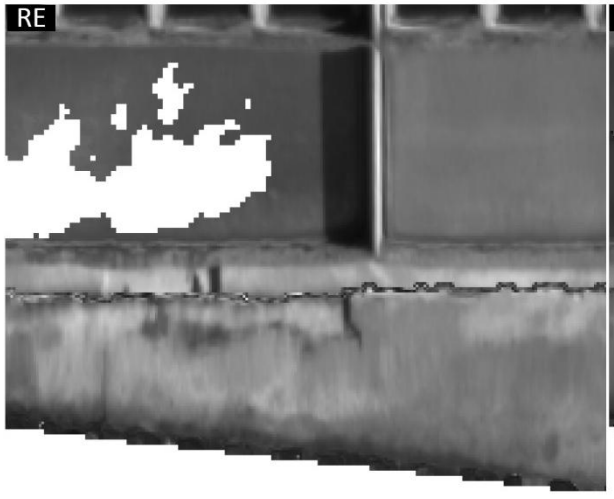


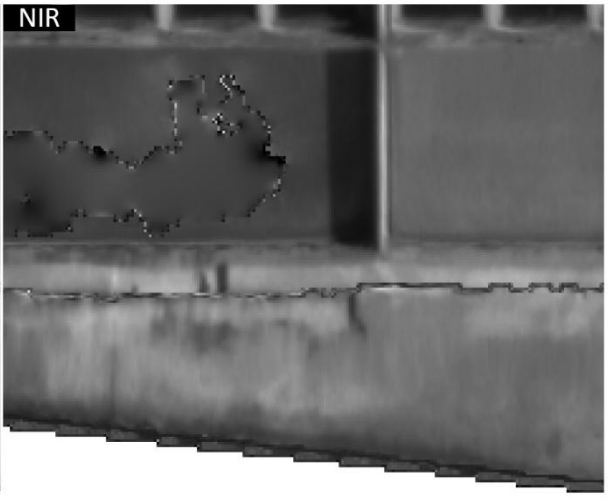
Sul rivestimento in graniglia risulta essere apposta una pittura incoerente i cui fenomeni di degrado esfoliativo riportano alla luce la superficie originale in graniglia. In questo caso si registrano valori radiometrici tali da rendere distinguibili i due differenti rivestimenti solo nella banda del verde (Green) e nel RE.

Codice scheda: Macchia B_GRA
Degrado osservato: macchia tipo "B"
Superficie base: graniglia



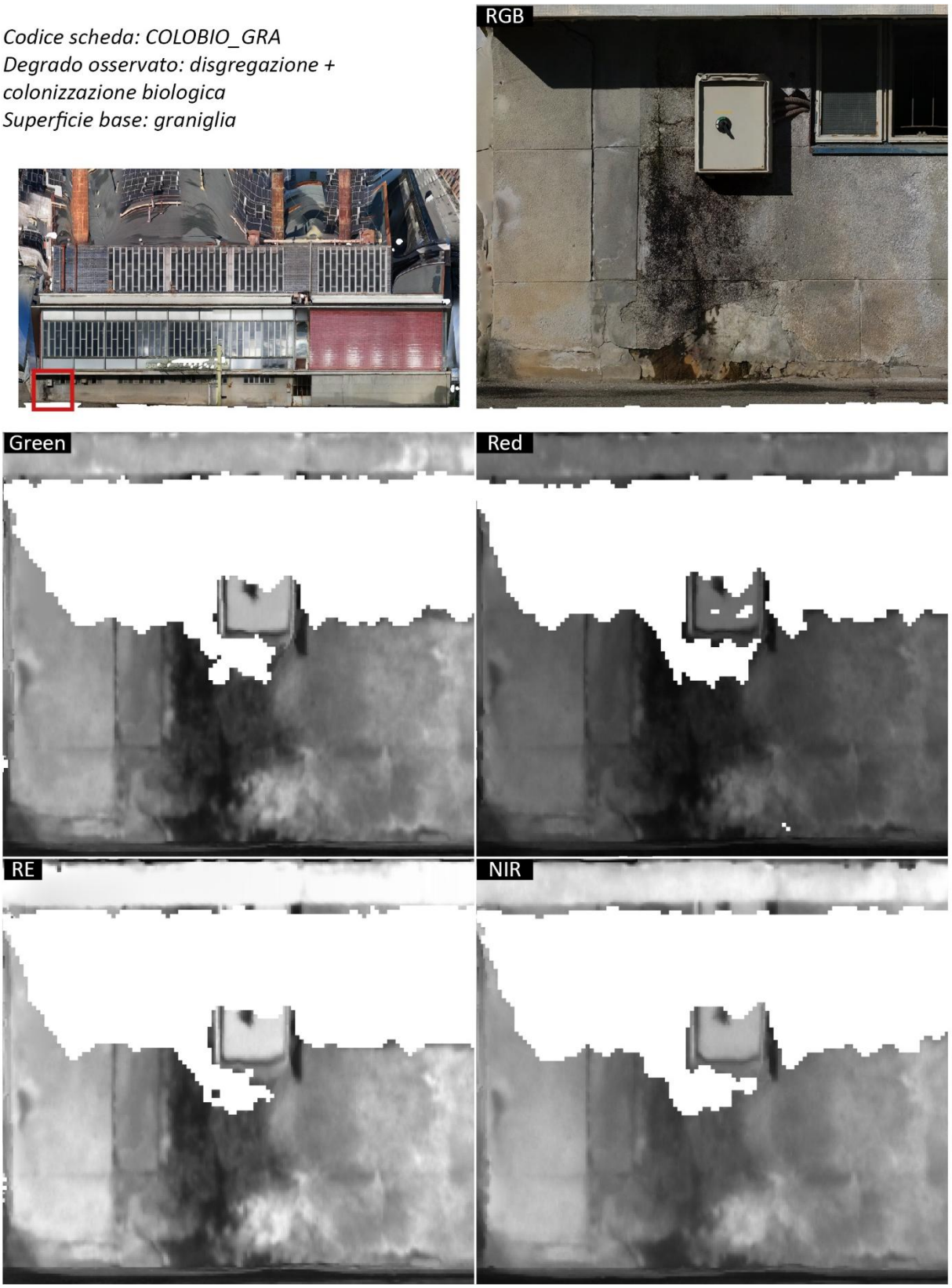






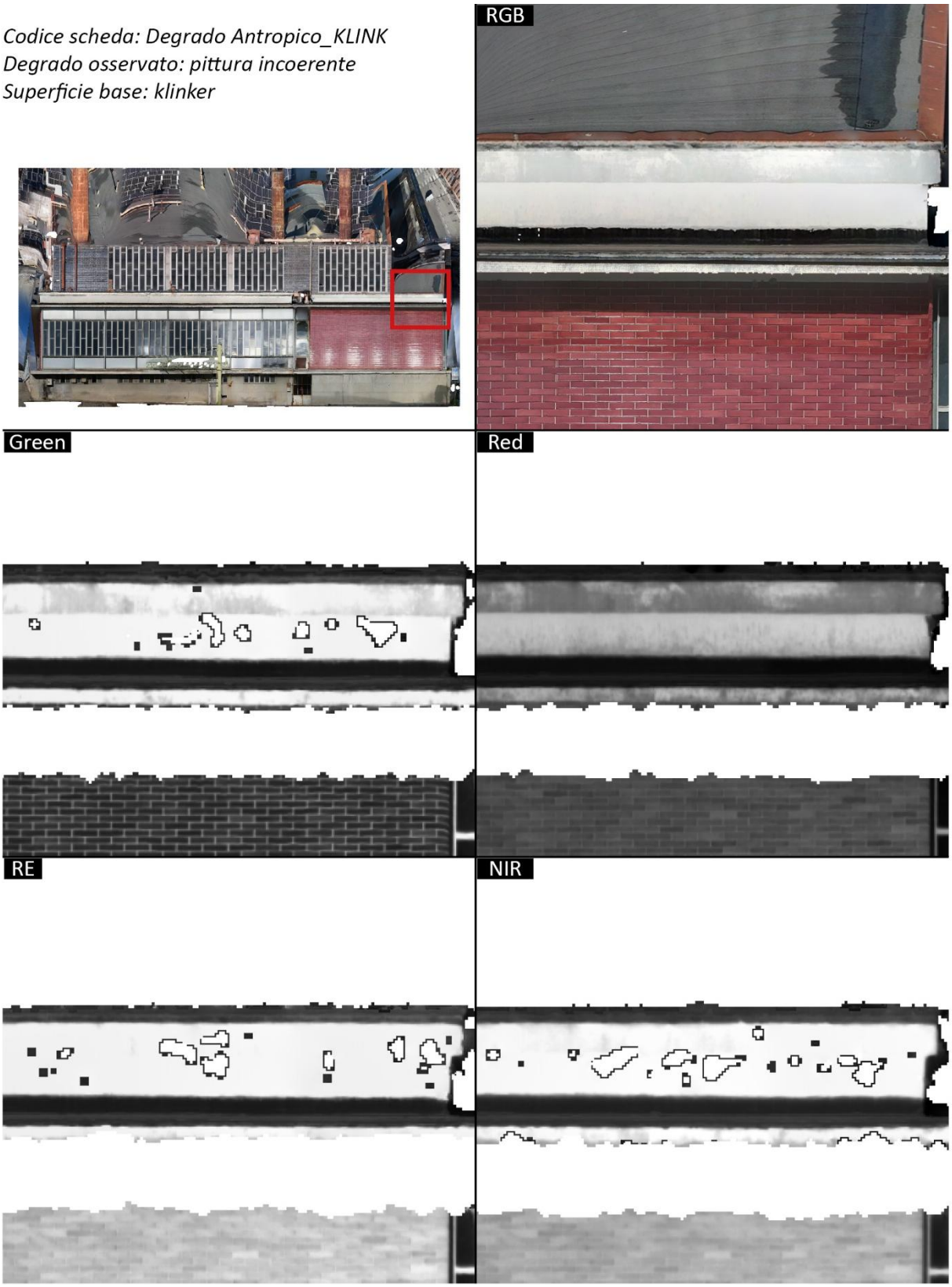
Sempre nel rivestimento in graniglia, specie sul fronte ovest, è possibile notare ai piedi del basamento delle macchie dal colore marrone/rossastro. In questo caso la banda probabilmente più interessante è quella del verde (Green), in quanto risulta avere valori radiometrici decisamente inferiori rispetto a tutte le altre immagini nei punti in cui si presenta questo tipo di macchia. Per giungere a conclusioni più definite, oltre alla correzione radiometrica di cui si è già discusso, è importante determinare la natura di tale macchia.

Codice scheda: COLOBIO_GRA
Degrado osservato: disgregazione + colonizzazione biologica
Superficie base: graniglia



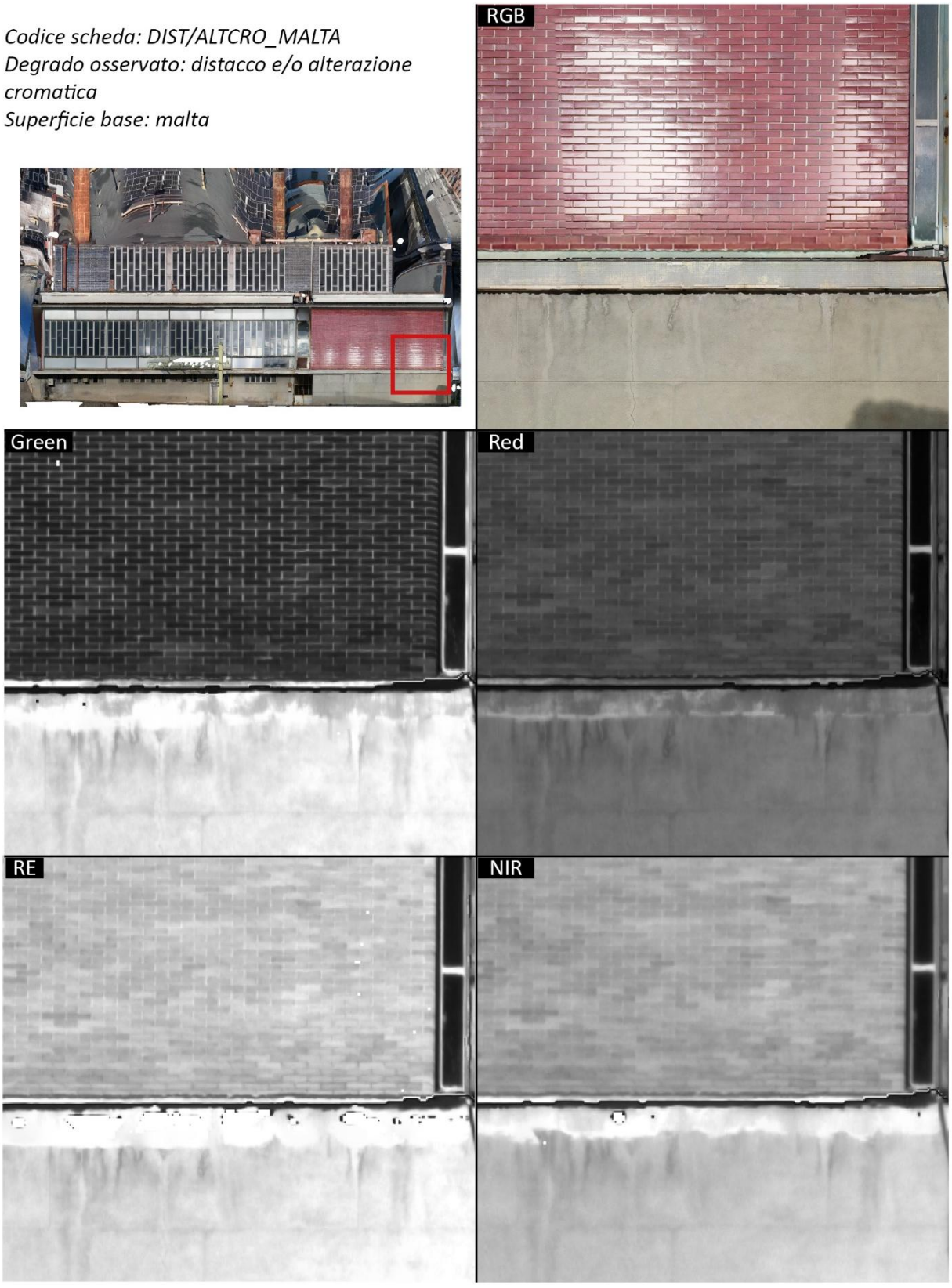
Nel prospetto sud si individua un fenomeno di colonizzazione biologica, favorito dalla natura porosa della graniglia di rivestimento. Sebbene ci si potesse attendere un aspetto "chiaro" della patologia nelle immagini RE e NIR, ciò non accade se non in misura contenuta nella banda 860 nm (NIR). Questo potrebbe essere determinato da diversi fattori, quali un errore di valutazione nel definire i tipi di degrado, una insufficiente illuminazione della scena, oppure ancora rivelare l'inefficacia dei sensori RE e NIR in situazioni dove la vegetazione si inserisce in una matrice porosa come nel caso in esame.

Codice scheda: Degrado Antropico_KLINK
Degrado osservato: pittura incoerente
Superficie base: klinker



Il caso delle tesserine in clinker che rivestono i cordoli di copertura e delle fioriere risulta alquanto particolare: si presume che sia stato effettuato un intervento di manutenzione al fine di ripristinarne la cromia o coprire altri degradi, mediante l'applicazione di un intonaco dipinto color bianco. Il suo degrado è diffuso e specialmente evidente sulle tesserine più esposte agli agenti atmosferici. Dall'analisi multispettrale si nota come nella banda del Red ci sia un elevato contrasto tra il clinker "intonacato" (riflettente) e il clinker di cui è visibile lo strato esterno originale, il quale risulta avere una bassa riflettanza in tale banda.

Codice scheda: DIST/ALTCRO_MALTA
Degrado osservato: distacco e/o alterazione cromatica
Superficie base: malta



L'analisi dei rivestimenti in clinker ha portato ad osservare un fenomeno di degrado che interessa i giunti di malta, inquadrabile dalle immagini a disposizione come il distacco di tale materiale di supporto, o come una semplice alterazione cromatica, entrambi imputabili ai fenomeni metereologici combinati con l'azione dell'umidità di risalita. Tale fenomeno risulta ben visibile nel RE, banda nella quale si verifica un importante contrasto tra la radianza del clinker rosso e la malta degradata, che invece per lo più asssorbe in tale frequenza.

4.3.5.1 Sintesi dei risultati

L'analisi delle schede riportate nel paragrafo precedente ha evidenziato le variazioni che si hanno dei valori di riflettanza al variare della banda esaminata. Al fine di indirizzare le analisi più approfondite che dovranno essere condotte in tale ambito della ricerca, si riporta un quadro sintetico delle osservazioni effettuate evidenziando le peculiarità in termini di risposta radiometrica dei vari degradi nelle diverse bande analizzate.

Codice scheda	Tipologia degrado	Caratteristica chiave	Risoluzione immagine
OSS_FE	Ossidazione metallo	Banda G: alto contrasto metallo sano (riflettente) - ruggine (assorbente)	Ottimale
COLOBIO_BIT	Colonizzazione biologica	Alta riflettanza nelle bande RE e NIR	Sufficiente
VEG_GEN	Vegetazione	Alta riflettanza nelle bande RE e NIR	Ottimale
Macchia A_GRA	Macchia "A"	Banda G e RE: alto contrasto interno/esterno macchia	Sufficiente
UMI_GRA	Fronte di risalita	Riflettanza generalmente bassa per l'umidità; evidenza di possibile efflorescenza poco visibile nell'RGB nelle bande RE e NIR	Ottimale
ESFO_PITT	Esfoliazione	Medio/alta intensità nella banda G	Insufficiente
Macchia B_GRA	Macchia "B"	-	-
COLOBIO_GRA	Colonizzazione biologica	Riflettanza più alta nella banda NIR se comparata alle bande G-R-RE	Sufficiente
Degrado Antropico_KLINK	Strato incoerente	Alto contrasto nella banda Red tra tesserina "dipinta" (riflettente) e tesserina "originale" (assorbente)	Sufficiente
DIST/ALTCRO_MALTA	Distacco o alterazione dei giunti di malta	Individuabile nel RE dove la malta "sana" riflette mentre al contrario di quella degradata, ulteriormente resa visibile dall'aspetto chiaro del clinker rosso	Sufficiente

Tabella 4.3-9: Sintesi dei risultati ottenuti dall'analisi delle ortofoto multispettrali

L'ossidazione del metallo, così come i fenomeni di colonizzazione biologica in copertura e la presenza di vegetazione, sono le tipologie di degrado di cui è più certa la natura. Sono altresì i degradi che hanno mostrato le peculiarità radiometriche più marcate tra tutti i fenomeni analizzati, facendo dunque ipotizzare una più semplice e vicina implementazione delle tecnologie di rilievo multispettrale per il loro rilievo tramite drone.

Molto interessanti sono stati anche i risultati ottenuti analizzando, nelle altre quattro bande disponibili oltre all'RGB, la macchia tipo "A" che ha colpito il basamento in graniglia dell'edificio. Tali macchie acquisiscono particolare evidenza nella banda G e NIR, suggerendo l'implementazione di tali sensori per una loro più agevole individuazione. Prima di giungere a conclusioni, resta in ogni caso da indagare la natura di tale degrado, in modo da associare con più precisione le considerazioni fatte al fenomeno in essere.

Di ulteriore interesse, dato il vasto impiego di tali rivestimenti negli edifici coevi alla Centrale Termica, le evidenze riscontrate sul rivestimento in clinker. Il degrado cui sono affette le tesserine in clinker, sebbene

abbiano probabilmente subito un particolare intervento di manutenzione con applicazione a freddo di un intonaco, successivamente dipinto di colore bianco[138], si è dimostrato essere di gran lunga più individuabile nella banda del Red anziché dall'immagine RGB. Altresì, sebbene sia necessario indagarne la natura in campo, il degrado mostrato nelle fughe tra una piastrella e l'altra della malta di supporto emerge quasi esclusivamente dalla banda del RE se si confrontano le ortofoto da UAV.

Mentre per i fenomeni di risalita di umidità e disgregazione della superficie in graniglia è stato possibile fare prime valutazioni circa possibili caratteristiche della loro firma spettrale, più complesso è stato per quanto concerne la macchia tipo "B" e la colonizzazione biologica su graniglia. Se nel primo caso non è nota la natura del degrado, nel secondo invece non si sono ottenuti i risultati attesi circa una maggiore riflettanza della matrice organica nelle bande del RE e NIR.

Tali osservazioni evidenziano, in generale, la necessità di condurre approfondite analisi in campo per validare le osservazioni fatte fino ad ora.

Per quanto riguarda invece la mera risoluzione delle ortofoto analizzate, si può affermare che questa fosse sufficiente per analizzare la maggior parte dei degradi individuati. Nonostante la generazione dell'ortofoto abbia comportato una leggera perdita di qualità (a favore di una ben più alta fedeltà geometrica), è stato possibile distinguere la colonizzazione biologica in copertura che, essendo per sua natura costituita da "elementi puntiformi", risulta essere un difficile banco di prova. Tuttavia, altri fenomeni quali la disgregazione del rivestimento in graniglia, necessiterebbero di una maggiore definizione per poter essere adeguatamente analizzati. Per tutti i degradi che in tabella 3-7 hanno una risoluzione "sufficiente" o "insufficiente" occorrerebbe ripetere il rilievo fotografico a distanze differenti, per determinare la distanza di presa necessaria per ottenere una ottimale riproduzione fotogrammetrica con la sensoristica montata sugli UAV ad oggi in commercio. Se pensiamo però che il sensore RGB montato sul drone è di 20 MP contro i 5 MP degli altri quattro sensori, è facile intuire come queste problematiche annesse alla risoluzione delle immagini possano essere sensibilmente ridimensionate avendo a disposizione ottiche più prestanti.

In termini invece di sensoristica, in aggiunta ai dispositivi illustrati ed impiegati durante il rilievo, potrebbe rivelarsi molto utile nella raccolta di informazioni su degradi correlati ad esempio alla presenza di acqua, l'installazione a bordo del drone di una termocamera. Sebbene queste siano tendenzialmente caratterizzate da una risoluzione inferiore delle immagini di output e necessitino di più scatti durante le varie fasi della giornata per mostrare dei risultati analizzabili, diversi studi hanno dimostrato la loro capacità nel mettere in evidenza determinate tipologie di degrado, come ad esempio i fenomeni di disgregazione della roccia o a quelli dovuti alla presenza d'acqua, come infiltrazioni o umidità[139]. Di rilievo è anche la possibile applicazione di tale sensore per individuare porzioni del rivestimento in clinker parzialmente distaccate, evitando di affidarsi alle sole tradizionali campagne di rilievo distruttive e non, esose in termini economici e di tempo[140].

[138] GIACOPELLI, GUALTIERI, ZERBINATTI 2024.
[139] MADER et al. 2016; MILETO, VARGAS, LERMA 2015.
[140] LUDWING et al. 2012.

4.3.6 Immagini Iperspettrali

L'elaborazione e l'analisi delle immagini iperspettrali è stata condotta mediante il software Arcgis Pro, facendo ricorso a metodologie che prevedono l'implementazione dell'intelligenza artificiale e più nello specifico del *machine learning*. Tale strumenti consentono infatti l'analisi di grandi quantità di dati minimizzando l'intervento umano: dopo una prima fase di *training* possono infatti, con un certo grado di precisione, individuare complessi *pattern* e di raggruppare i dati segmentandoli.

In particolare, sono stati impiegati algoritmi di segmentazione supervisionata (SVM, Maximum likelihood, Random forest, K-Nearest neighbours) per il riconoscimento degli elementi in facciata, e non supervisionata, al fine di individuare nel rivestimento in clinker possibili fenomeni in essere non chiaramente identificabili ad occhio nudo, indicando specifici elementi da indagare sul campo nelle campagne future.

È bene notare che il dataset di immagini iperspettrali disponibile risulta affetto da due tipologie di errori: il primo è di natura geometrica, il secondo di tipo radiometrico.

Le distorsioni geometriche indotte dalle ottiche del sensore non sono di disturbo alla presente ricerca e non sono state corrette, non avendo interesse nel quantificare in termini di superficie l'estensione di elementi architettonici o forme di degrado.

Invece, gli errori di natura radiometrica che comportano delle alterazioni nei valori di riflettanza registrati risultano essere decisamente più rilevanti, essendo proprio il valore di riflettanza il dato da cui estrarre ed associare le firme iperspettrali ai fenomeni di alterazione e degrado. A causa di difficoltà tecniche in fase di rilievo, non è stato possibile utilizzare il pannello per la calibrazione radiometrica. Il lavoro svolto, per essere validato, dovrà quindi in futuro essere eseguito sul dataset di immagini radiometricamente corrette. Tuttavia, poiché i disturbi radiometrici influenzano i DN degli elementi sottoposti a condizioni omogenee di illuminazione in modo a loro volta omogeneo, è ugualmente possibile individuare delle differenze relative tra le piastrelle in clinker, fornendo prime osservazioni utili alla correlazione tra degrado del rivestimento e firme iperspettrali.

Un terzo errore che può affliggere gli scatti iperspettrali è quello della co-registrazione: la luce, passando attraverso i prismi di diffrazione, viene distorta in modo geometricamente diverso a seconda della lunghezza d'onda. Dall'analisi del dataset di immagini acquisite non si è tuttavia evidenziata tale problematica, rendendo non necessarie operazioni di correzione del fenomeno.

4.3.6.1 Metodologia di lavoro

Di seguito si espone il flusso di lavoro seguito per l'elaborazione di ciascuna immagine iperspettrale:

a) Import del dataset costituito da una immagine per ciascuna delle 100 bande acquisite
b) Utilizzo della funzione "Bande composite" per l'unione delle 100 immagini in un unico raster in RGB *false color*
c) Creazione di uno schema di classificazione
d) Individuazione delle ROI
e) *Training* e classificazione dell'immagine con metodi di *supervised learning*
f) Verifica delle precisioni ottenute nella classificazione con i diversi metodi
g) Estrazione della maschera "Clinker" tramite lo strumento "Estrai per attributi"
h) Pulizia della maschera dai pixel erroneamente classificati
i) Estrazione dei pixel ritraenti le piastrelle in clinker dall'immagine iperspettrale mediante la maschera tramite lo strumento "Estrai tramite maschera"
j) Classificazione non supervisionata delle piastrelle in clinker tramite ISO Cluster

Visto il ridotto numero di immagini disponibili, non è stato possibile distinguere il dataset in uno di *training* e uno di test, i quali vengono generalmente divisi in un rapporto di 4:1[141]. Verrà ugualmente valutata la precisione nella segmentazione delle immagini da parte di alcuni algoritmi mediante una matrice di confusione, la quale consente, attraverso il calcolo della "K di Cohen", di valutare le performance di tali algoritmi di classificazione[142].

4.3.6.2 Classificazione supervisionata: schemi di classificazione e ROI

Dopo aver importato gli scatti iperspettrali ed averli "condensati" in un singolo raster costituito dalle 100 bande acquisite, sono stati creati gli schemi di classificazione ed individuate le ROI cercando di classificare, laddove possibile, un quantitativo simile di pixel tra le varie classi. Tali operazioni sono state condotte per ciascuno dei fotogrammi, definendo un numero variabile di classi, tra le sei e le nove, a seconda della complessità della scena.

Per quanto concerne le piastrelle in clinker, sebbene inizialmente si fosse tentato di raggruppare quelle di colore rosso e blu in un'unica classe, si è optato per la creazione di due classi separate: la classe unica "clinker" portava infatti ad avere degli errori non indifferenti nella classificazione dell'immagine, con importanti porzioni di intonaco classificate erroneamente come piastrelle.

Per gli elementi del contesto si è optato fin da subito per la creazione di un dettagliato schema di classi, essendo tale metodologia quella che assicura i risultati migliori anche per il caso specifico nel quale si rivolge maggiore interesse alla buona riuscita della segmentazione di una singola classe[143]; sono state così create le seguenti classi di "contesto":

- Cielo
- Vetro
- Metallo
- Intonaco
- Mosaico
- Mosaico alterato
- Malta
- Cemento (solo per IVREA_4_600)
- Asfalto (solo per IVREA_4_600)

[141] Belloni et al., *TACKPROJECT: TUNNEL AND BRIDGE AUTOMATIC CRACK MONITORING USING DEEP LEARNING AND PHOTOGRAMMETRY*.
[142] Congalton e Green, *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data*.
[143] Musci et al., «Ice Detection on Aircraft Surface Using Machine Learning Approaches Based on Hyperspectral and Multispectral Images».

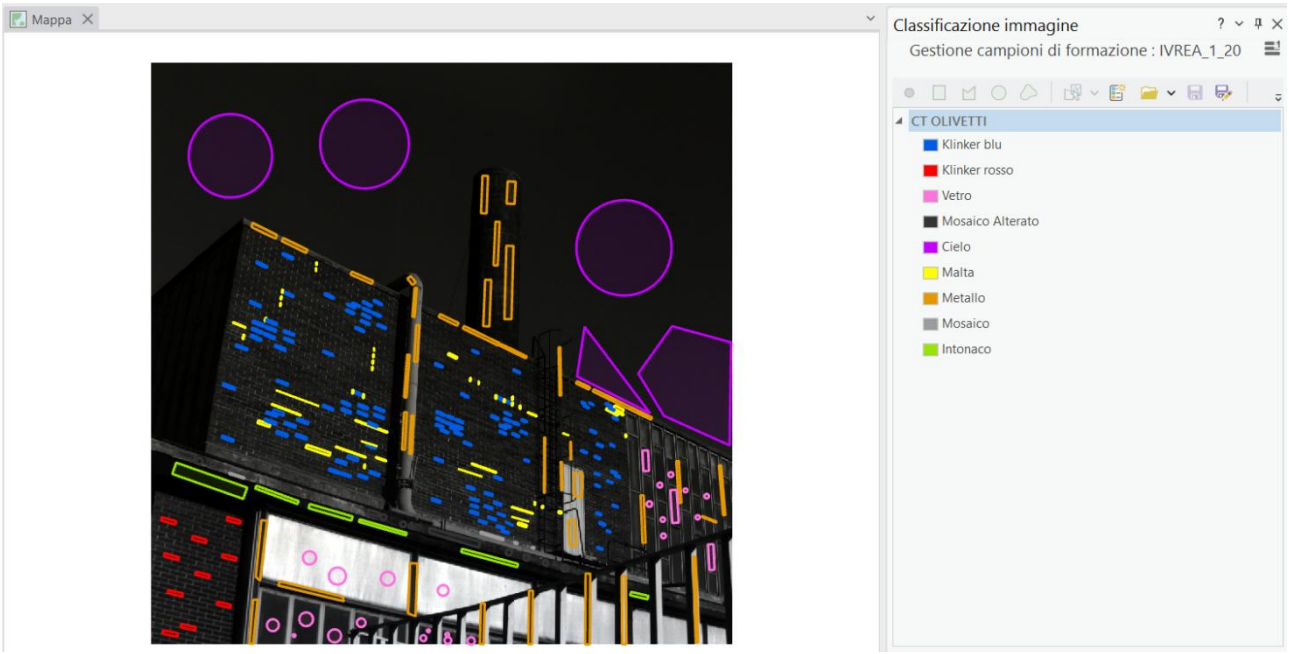


Figura 4.3-36: Definizione dello schema di classificazione e individuazione manuale delle ROI per la serie "IVREA_1_X"

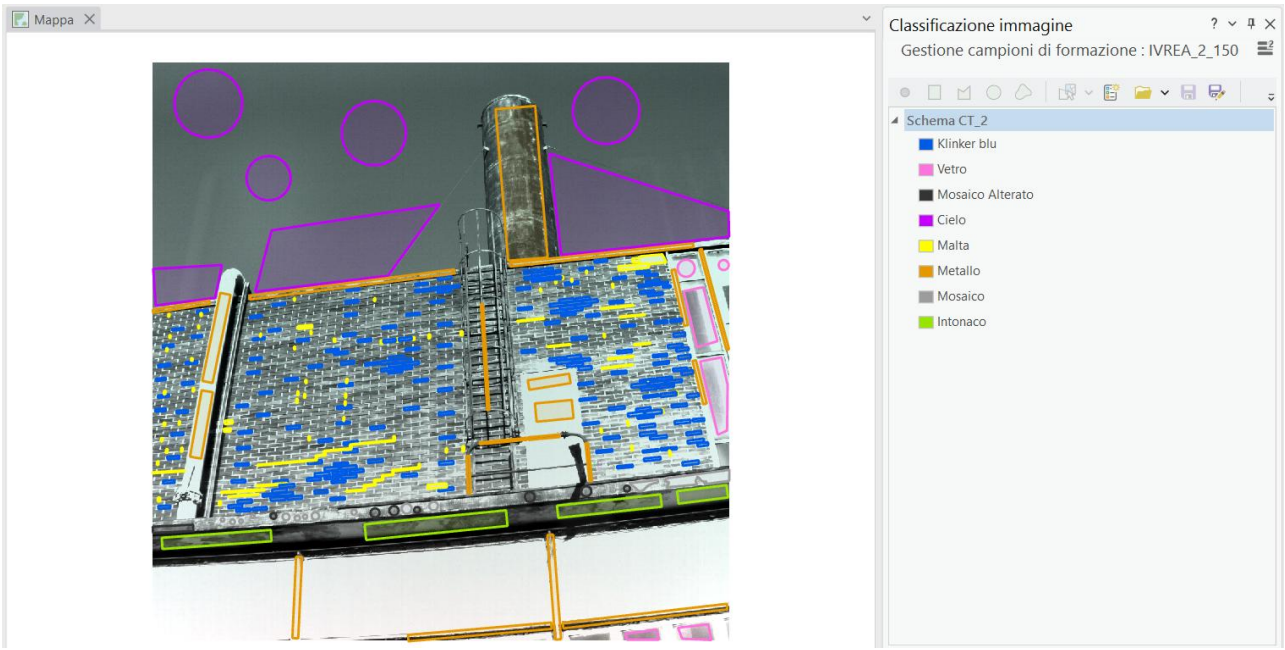


Figura 4.3-35: Definizione dello schema di classificazione e individuazione manuale delle ROI per la serie "IVREA_2_X"

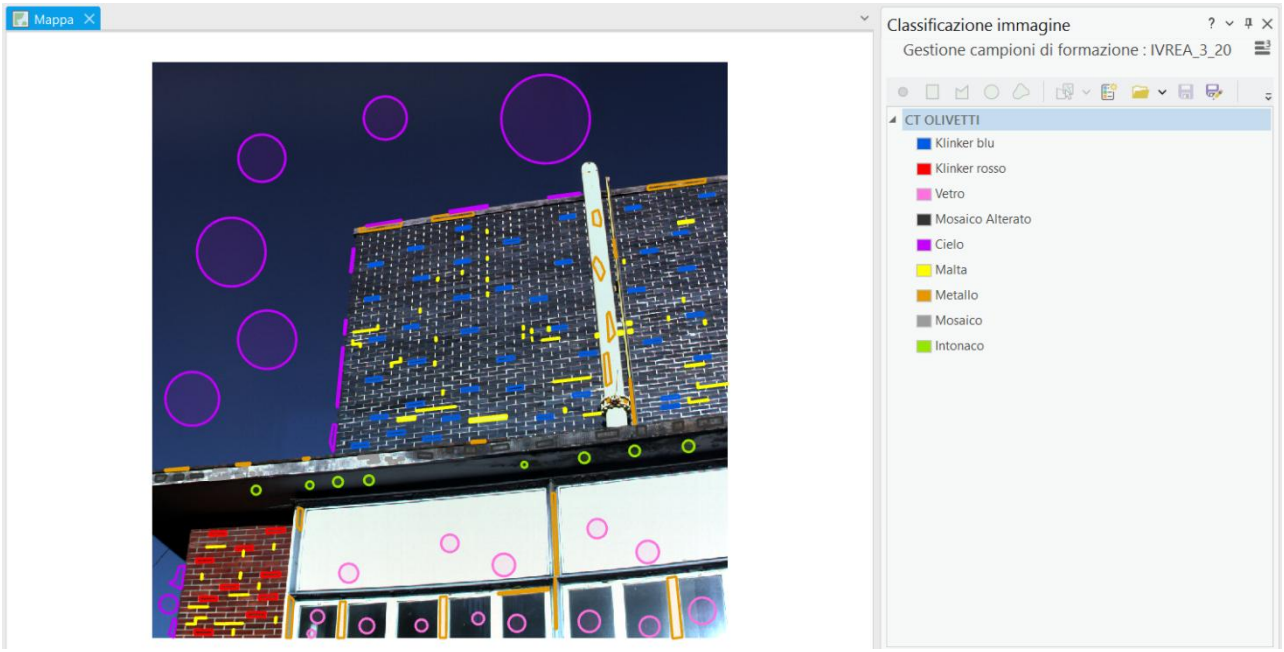


Figura 4.3-38: Definizione dello schema di classificazione e individuazione manuale delle ROI per la serie "IVREA_3_X"

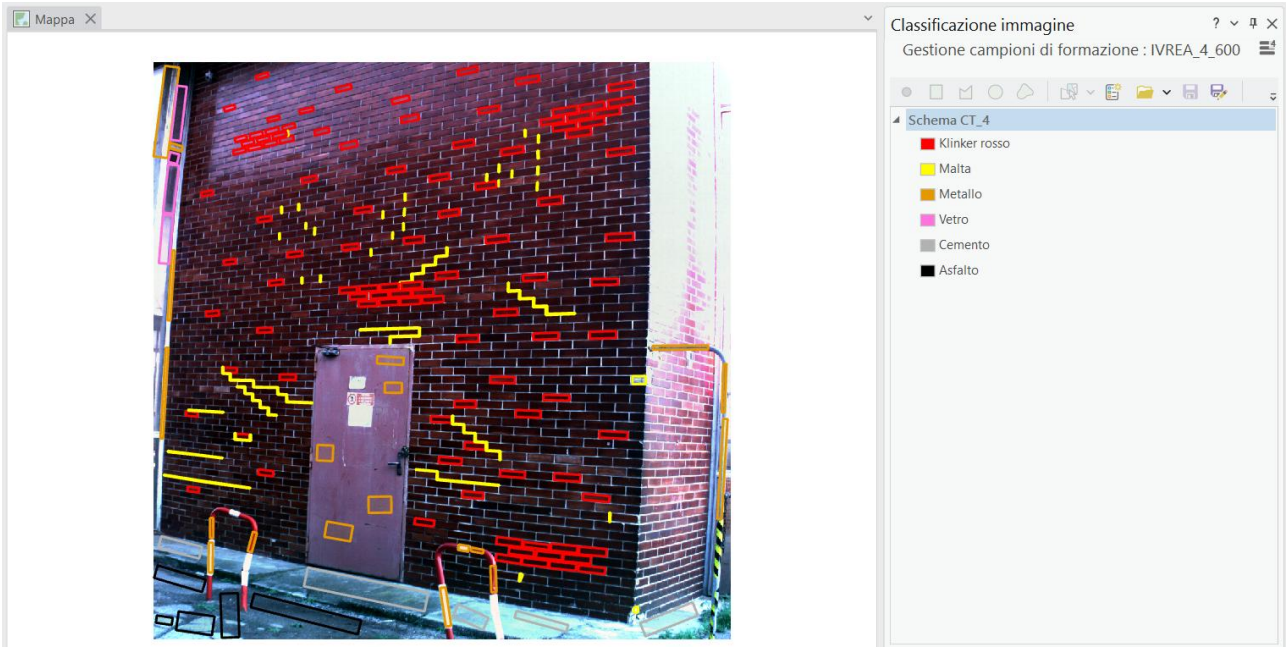


Figura 4.3-37: Definizione dello schema di classificazione e individuazione manuale delle ROI per l'immagine "IVREA_4_600"

4.3.6.3 Classificazione supervisionata: scelta dell'algoritmo

La fase successiva alla creazione delle ROI è quella del *training* dell'algoritmo di classificazione supervisionata al fine di ottenere come output le immagini segmentate secondo lo schema di classificazione precedentemente definito.

Ad oggi esistono numerosi metodi di classificazione in grado di processare immagini, anche multidimensionali, senza richiedere particolari competenze nell'ambito della programmazione. Infatti, tali algoritmi vengono "allenati" da esperti del settore al riconoscimento di determinate *feature* "base" come, ad esempio, quelle di carattere geometrico e/o radiometrico, in modo tale che ricercatori provenienti da altri

ambiti possano eseguire, su dataset molto più limitati, processi di *fine tuning* atti a "specializzare" l'algoritmo nella classificazione di determinati dati[144].

Nel caso in oggetto sono stati testati tutti i metodi di *supervised learning* messi a disposizione dal software ArcGis Pro, al fine di comparare, attraverso il calcolo di matrici di confusione, la loro precisione nel classificare gli elementi architettonici. Per farlo è stata utilizzata come immagine di riferimento la "IVREA_3_20", essendo la meglio definita all'interno del dataset disponibile sia grazie ad una inferiore distanza di presa che per via dell'ottimale livello di esposizione settato al momento dell'acquisizione. Di seguito si elencano brevemente i quattro metodi di classificazione supervisionata utilizzati con i settaggi di default proposti dal software[145]:

- *Support vector machines*: il suo obiettivo è quello di individuare un iperpiano che separi al meglio i punti della classe "A" da quelli della classe "B", con la riduzione ad un problema binario dei casi multi-classe.
- *Maximum likelihood*: è un metodo che si basa sulla statistica per determinare le probabilità che un dato pixel appartenga ad una certa classe.
- *Random trees (=Random forest)*: è un'estensione dell'approccio decisionale *Decision tree*, dove i "nodi" dell'algoritmo sono organizzati in una struttura ad albero; nel caso del *Random trees*, vengono generati più "alberi" e l'output di classificazione è determinato dall'insieme delle previsioni della "foresta", ovvero l'insieme di *Decision tree* generati.
- *K-nearest neighbours*: metodo di *supervised learning* che determina la classe di un dato punto valutando la distanza euclidea rispetto ad altri punti di classe nota, all'interno di una regione limite definita a priori (variabile K).

Successivamente, al fine di calcolare la matrice di confusione sulle quattro differenti versioni segmentate della "IVREA_3_20" impiegando i metodi precedentemente esposti, si è proceduto in questo modo:

a) Sono state individuate delle nuove ROI che fungono da *groundtruth.*
b) Sono stati generati 10000 *accuracy assessment points*, uniformemente distribuiti per ciascuna categoria, attraverso i quali è stato possibile memorizzare per ogni punto la corrispondente classe stimata dagli algoritmi.
c) Si è in seguito "aggiornata" la colonna dei valori *groundtruth* andando a memorizzare per i medesimi punti la classe assegnata dall'operatore umano, che in questo caso viene considerata appunto "verità" (non tutti i 10000 punti ricadevano nelle ROI individuate manualmente, per i punti "esterni" a queste il valore di *groundtruth* nella tabella rimane pari a -1).
d) Si è calcolata la matrice di confusione, ottenendo per ciascuno degli algoritmi una tabella indicante l'accuratezza nella classificazione di ciascuna classe e la "K di Cohen" complessiva.

Nel mosaico di figura 3-40 sono riportate le quattro immagini segmentate, con evidenziati i principali errori riscontrabili nella classificazione e le quattro relative tabelle per una dettagliata analisi delle precisioni raggiunte per ogni singola classe.

L'analisi dei coefficienti **kappa** evidenzia una maggiore affidabilità nella segmentazione da parte dei metodi SVM e *Maximum likelihood* (rispettivamente 93.5% e 92%), mentre sono riscontrabili valori più bassi per quanto riguarda *Random trees* e *K-nearest neigbours* (79.3% e 85.9%)[146]. Tale rapporto di "forze" si riflette anche nel dato di accuratezza nelle singole categorie. Osservando in particolare quelle chiave per la presente ricerca, ovvero "C_1 - Clinker Blu" e "C_2 - Clinker Rosso", se le piastrelle rosse fanno registrano valori

[144] NASH et al. 2018; ALNUAIMI, ALBALDAWI 2024.
[145] ALNUAIMI, ALBALDAWI 2024.
[146] CONGALTON E GREEN 2019.

prossimi al 100% in tutti i casi, nel caso delle piastrelle di colore blu il metodo SVM raggiunge ben il 96.4% di precisione, superando di 6 punti percentuali il *Maximum likelihood*, il *Random trees* di 16 ed il *K-nearest neighbours* di 44 punti percentuali. Si nota, infine, che la classe con il valore tendenzialmente più basso di accuratezza è la "C_11 – Malta", dove l'SVM riesce a garantire solo il 64.3%, dato probabilmente riconducibile alla particolare geometria delle fughe di malta, e alla loro conseguente bassa estensione all'interno dell'immagine.

Per queste ragioni si è deciso di impiegare per la segmentazione delle restanti dieci immagini iperspettrali il metodo di classificazione supervisionata *Support vector machines*.

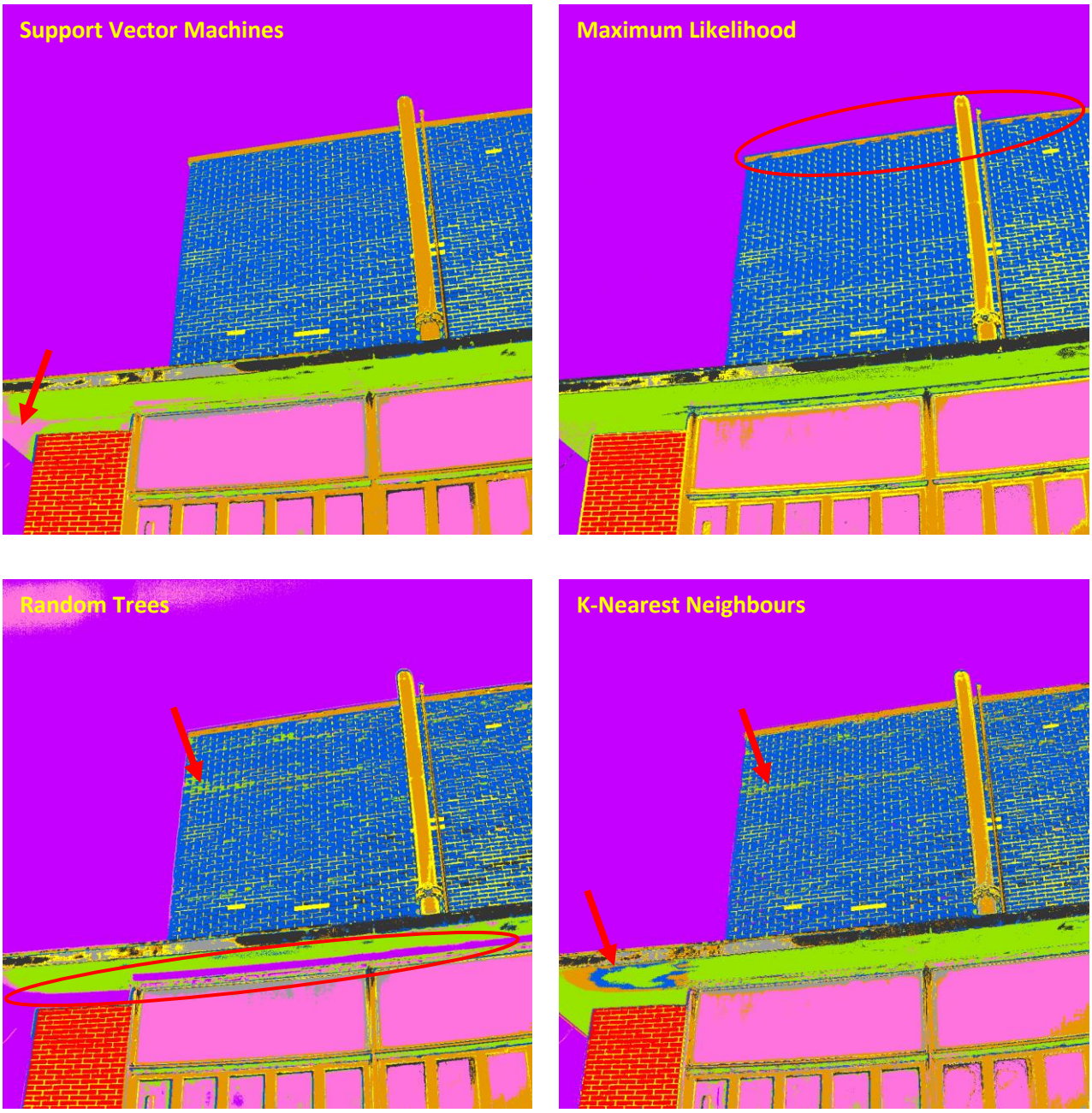


Figura 4.3-39: Mosaico della segmentazione dell'immagine iperspettrale IVREA_3_20 eseguita con quattro metodi di machine learning differenti

IVREA_3_20_Support Vector Machines			
ClassValue	Points	U_Accuracy	Kappa
C_1 - Klinker blu	28	0.964	0
C_2 - Klinker rosso	167	0.994	0
C_3 - Mosaico	173	0.815	0
C_4 - Mosaico Alterato	457	0.821	0
C_5 - Metallo	352	0.923	0
C_6 - Cielo	1027	1	0
C_8 - Vetro	961	0.980	0
C_9 - Intonaco	542	0.985	0
C_11 - Malta	84	0.643	0
Total	3791	0	0
P_Accuracy	0	0.947	0
Kappa	0	0	**0.935**

IVREA_3_20_Maximum Likelihood			
ClassValue	Points	U_Accuracy	Kappa
C_1 - Klinker blu	22	0.909	0
C_2 - Klinker rosso	170	1	0
C_3 - Mosaico	406	0.926	0
C_4 - Mosaico Alterato	542	0.814	0
C_5 - Metallo	424	0.828	0
C_6 - Cielo	1042	1	0
C_8 - Vetro	998	0.998	0
C_9 - Intonaco	564	0.993	0
C_11 - Malta	105	0.324	0
Total	4273	0	0
P_Accuracy	0	0.934	0
Kappa	0	0	**0.920**

IVREA_3_20_Random Trees			
ClassValue	Points	U_Accuracy	Kappa
C_1 - Klinker blu	30	0.800	0
C_2 - Klinker rosso	167	1	0
C_3 - Mosaico	364	0.286	0
C_4 - Mosaico Alterato	336	0.836	0
C_5 - Metallo	360	0.839	0
C_6 - Cielo	1009	0.985	0
C_8 - Vetro	945	0.853	0
C_9 - Intonaco	616	0.955	0
C_11 - Malta	151	0.272	0
Total	3978	0	0
P_Accuracy	0	0.831	0
Kappa	0	0	**0.793**

IVREA_3_20_K-Nearest Neighbours			
ClassValue	Points	U_Accuracy	Kappa
C_1 - Klinker blu	38	0.526	0
C_2 - Klinker rosso	171	1	0
C_3 - Mosaico	193	0.399	0
C_4 - Mosaico Alterato	341	0.768	0
C_5 - Metallo	372	0.640	0
C_6 - Cielo	1030	1	0
C_8 - Vetro	969	0.997	0
C_9 - Intonaco	535	0.950	0
C_11 - Malta	88	0.466	0
Total	3737	0	0
P_Accuracy	0	0.887	0
Kappa	0	0	**0.859**

Tabella 4.3-10: I valori "K di Cohen" registrati nelle classificazioni eseguite con i quattro differenti algoritmi

4.3.6.4 Classificazione supervisionata: segmentazione del dataset e analisi risultati

L'analisi sulle restanti immagini ha fatto emergere delle problematiche nella classificazione dei set "IVREA_1_X" e "IVREA_2_X". In nessun caso, infatti, è stato possibile ottenere soddisfacenti risultati, con numerosi e diffusi casi di sovra e sotto-classificazione. Tali problematiche sono probabilmente riconducibili a distanze di presa eccessive, considerata la risoluzione limitata del sensore e l'esigua dimensione di alcuni elementi della scena, e/o settaggi errati del valore ISO, con la sovra o sottoesposizione che affligge sostanzialmente tutte le immagini.

Risultati decisamente più confortanti sono invece stati raggiunti con il set "IVREA_3_X", con ottime classificazioni nelle tre immagini disponibili con valori di ISO differenti (10-15-20). Ottima anche la segmentazione dell'unica immagine iperspettrale disponibile del lato nord, ritraente la texture di piastrelle in clinker rosse. Oltre alle piastrelle, anche le fughe in malta sono state correttamente distinte, con l'eccezione di una, all'apparenza "errata", classificazione di parte di esse nell'angolo in basso a destra del paramento murario. Una più attenta analisi visiva delle immagini RGB ha però evidenziato la presenza di una forma di degrado della malta stessa, probabilmente riconducibile all'azione combinata di acqua e umidità, che ha causato una disgregazione della malta. Tale fenomeno, sebbene abbia portato ad una sua erronea classificazione come "asfalto", ha comunque evidenziato la capacità dell'algoritmo di distinguere tra i giunti di malta integri e quelli invece affetti da una patologia.

Figura 4.3-41: La distanza dal piano delle piastrelle unitamente alla bassa esposizione dell'immagine ed all'elevata eterogeneità di elementi hanno portato ad una scarsa classificazione, con una sottostima della classe "Clinker blu"

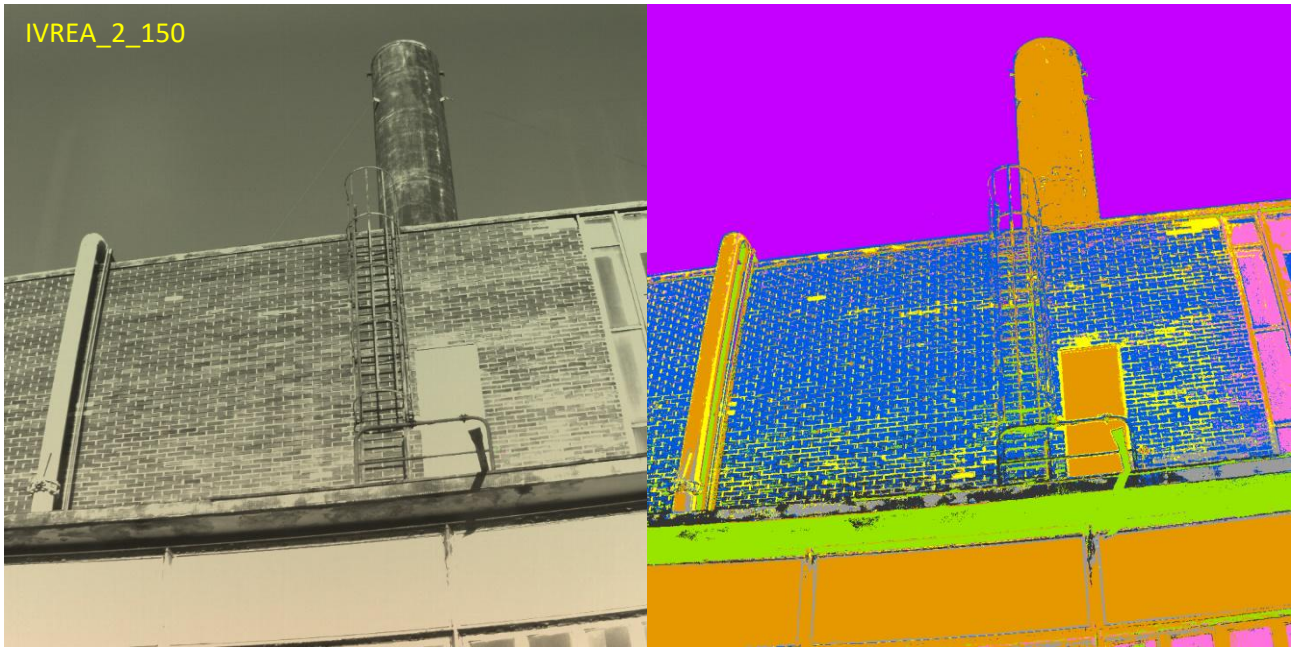


Figura 4.3-40: Le condizioni di illuminazione naturale ed il settaggio ISO errato hanno portato a catturare una immagine sovraesposta, con sensibili conseguenze nel riconoscimento supervisionato della classe oggetto di interesse "Clinker blu"

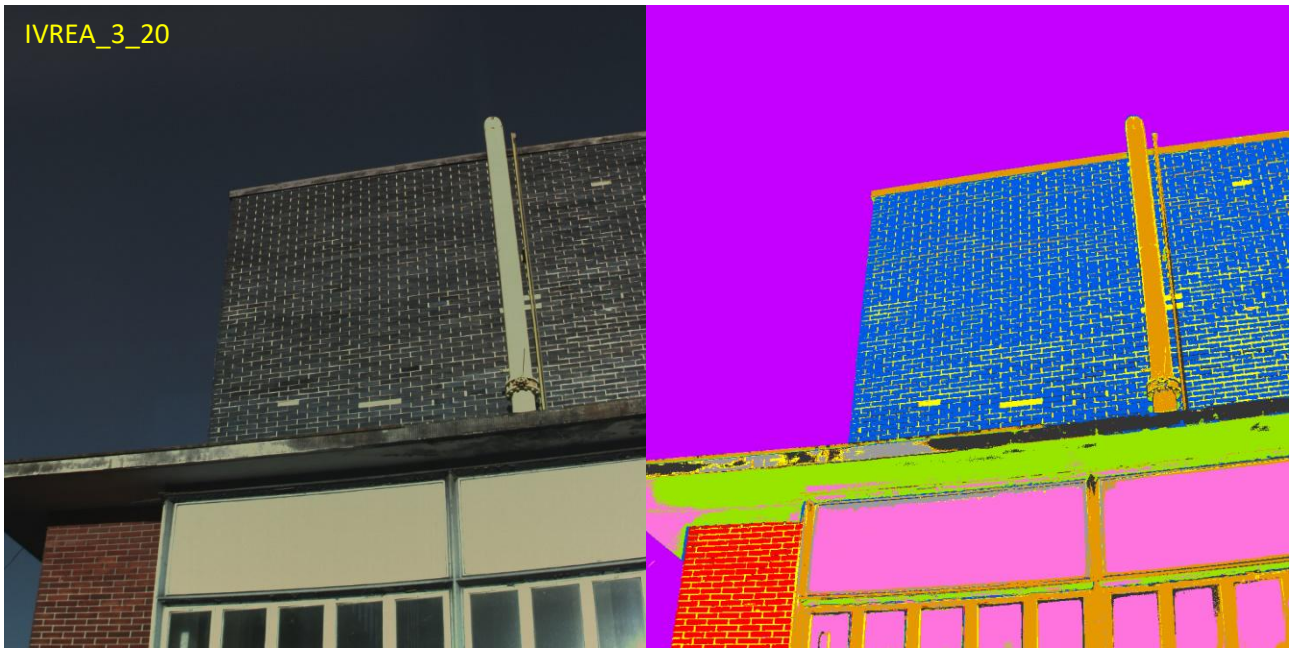


Figura 4.3-42: L'ottimale classificazione generale e nello specifico delle piastrelle in clinker è in questo caso maggiormente ascrivibile all'ottimale esposizione dell'immagine

Figura 4.3-43: L'ottimo risultato nella classificazione delle piastrelle in Clinker rosse è imputabile al minor numero di materiali differenti e riconoscibili nella scena, unitamente ad una buona esposizione dell'immagine

Ciò che emerge dall'esperienza di classificazione supervisionata degli elementi di facciata mediante il metodo SVM è che sono quattro i fattori influiscono maggiormente sulla sua buona riuscita:

a) Il numero di oggetti appartenenti a differenti classi: per le immagini che ritraevano una minore eterogeneità di elementi riferibili a classi diverse la classificazione risultava oltre che più rapida, anche più affidabile e precisa.

b) La posizione della camera rispetto al piano oggetto di studio: le immagini catturate con distanze di presa inferiori e il più nadirali possibile consentivano, nel caso particolare, di individuare più facilmente le fughe della malta di supporto alle piastrelle in clinker.

c) Le impostazioni ISO di esposizione del sensore: le immagini che risultavano essere sotto o sovra-esposte hanno portato a mediocri risultati di classificazione, al contrario di quelle dove il settaggio

dell'ISO era stato correttamente definito, dimostrando quanto il corretto bilanciamento dell'esposizione sia un passaggio chiave in fase di acquisizione del dato.

d) Le condizioni di illuminazione: per ottenere la corretta classificazione di tutti gli elementi presenti in scena è necessario che le condizioni di illuminazione siano quantomeno uniformi; nel caso invece in cui vi siano presenti elementi appartenenti alla stessa classe ma con forti differenze di illuminazione (es. radiazione solare diretta/luce diffusa) si riscontrano importanti errori di classificazione, a sfavore degli elementi meno interessati nella fase di creazione delle ROI.

4.3.6.5 Classificazione non supervisionata piastrelle in clinker

La classificazione supervisionata ha consentito dunque di individuare pixel per pixel, con un certo grado di precisione, i vari elementi della scena ripresa dalla fotocamera iperspettrale, consentendo pertanto di isolare i pixel ritraenti le piastrelle in clinker qui oggetto di studio mediante i comandi "Extract by attributes" e "Exctract by mask". Così facendo è possibile, infatti, condurre delle segmentazioni non supervisionate delle sole piastrelle, nel tentativo di individuare delle differenze tra le stesse che possano suggerire eventuali fenomeni di alterazione o degrado non visibili ad occhio nudo.

Questa tipologia di analisi è stata condotta su due immagini nello specifico:

- IVREA_4_600, che riprende parte della facciata nord della Centrale Termica e dove sono visibili solamente le piastrelle in clinker rosso
- IVREA_3_20, divisa poi in "RED" e "BLU", la quale cattura invece una porzione della facciata ovest comprendendo sia delle piastrelle in clinker blu che in clinker rosso.

Per la segmentazione non supervisionata ci si è serviti di due differenti algoritmi:

- ISOCluster (Iso data clustering): è un algoritmo di *clustering* diventato di larga diffusione per la segmentazione non supervisionata di immagini data la sua particolare efficacia a fronte di un minimo intervento umano nella fase di settaggio dei parametri iniziali (max numero di classi, max numero di iterazioni, max numero di *merge* per iterazione, "distanza" max per il *merge*, numero minimo di campioni per *cluster*, *skip factor*)[147]
- Algoritmo di segmentazione ENVI: questo algoritmo consente di eseguire una classificazione non supervisionata con un numero minore di dati input (*spectral detail*, *spatial detail*, *minimum segment size in pixel*)[148].

Essendo l'interesse primario di questa ricerca quello di individuare piastrelle potenzialmente affette da forme di degrado/alterazione non chiaramente distinguibili dall'occhio umano tramite l'elevato dettaglio spettrale delle immagini acquisite, si cercherà di limitare la formazione dei *cluster* in modo tale da poter individuare 2 – 3 macro-gruppi da ispezionare in seguito sul campo.

[147] https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/image-analyst/classify.htm
[148] https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/image-analyst/segmentation.htm

Immagine: IVREA_4_600 | Algoritmo: ISOcluster

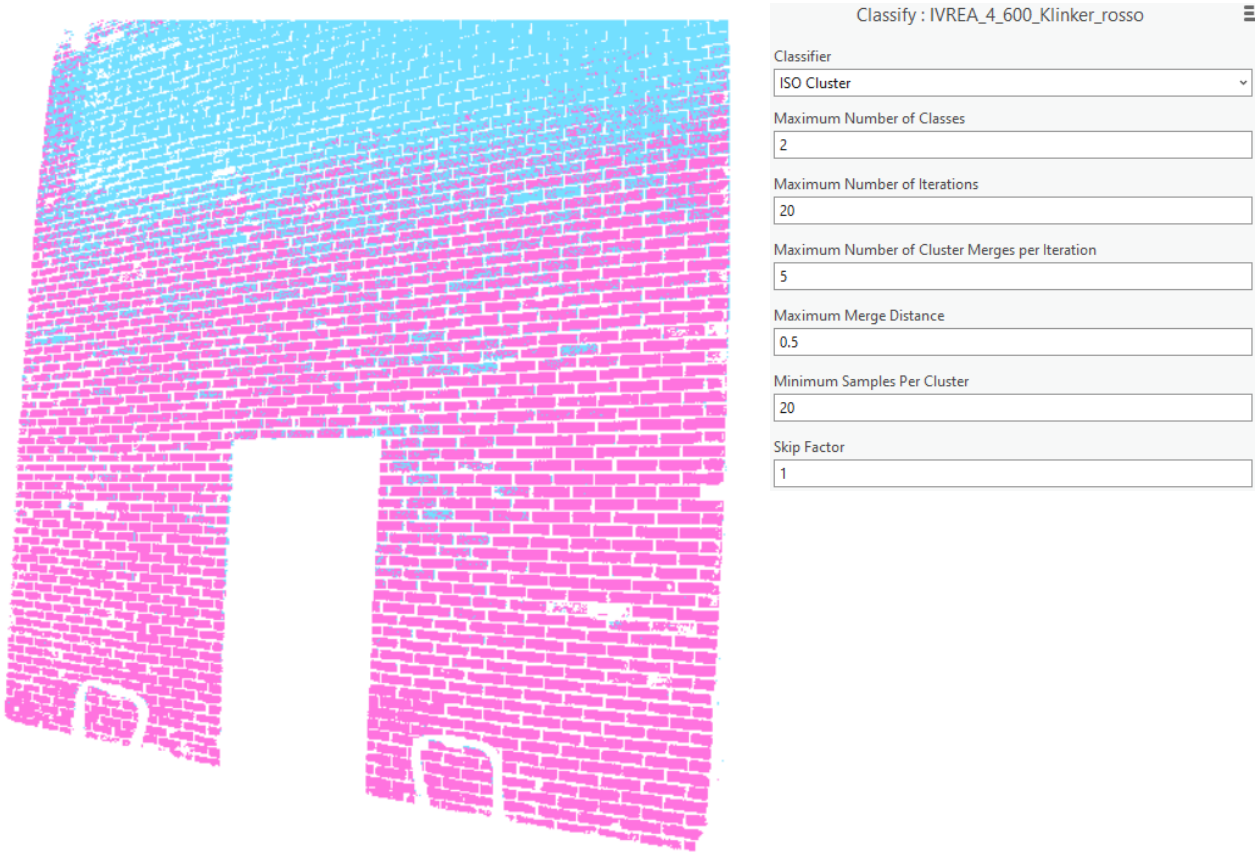


Figura 4.3-45: Segmentazione non supervisionata con ISOcluster delle piastrelle in clinker rosso, facciata nord, creazione di due classi

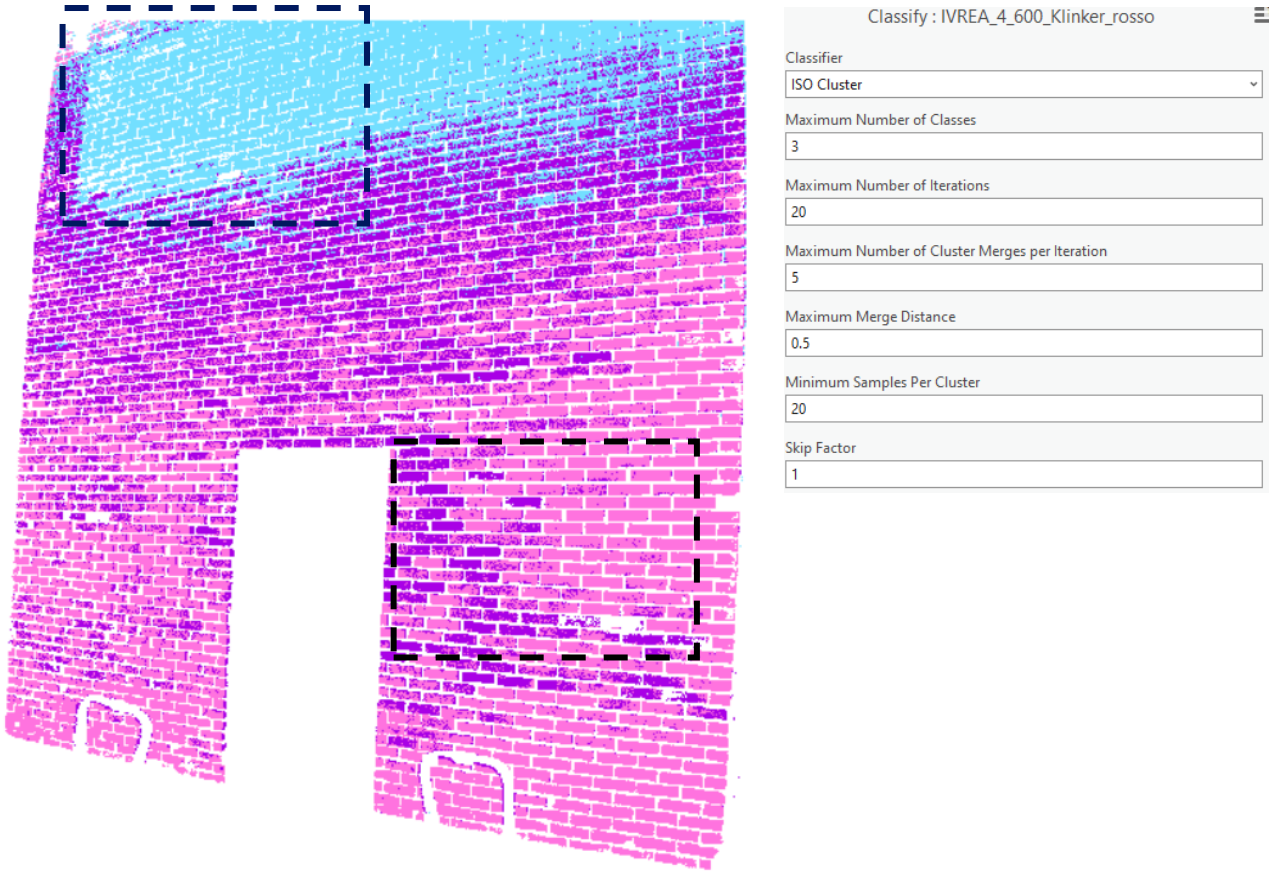


Figura 4.3-44: Segmentazione non supervisionata con ISOcluster delle piastrelle in clinker rosso, facciata nord, creazione di tre classi

Figura 4.3-46: IVREA_4_600, dettaglio piastrelle soggette a riflessione

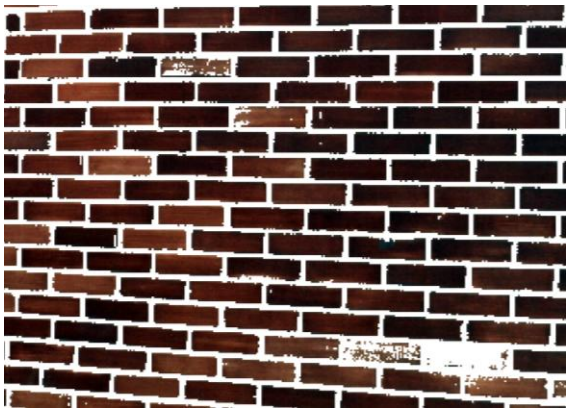


Figura 4.3-47: IVREA_4_600, variazione cromatica delle piastrelle

La segmentazione con creazione di due soli *cluster* porta l'algoritmo a differenziare le piastrelle situate nella parte superiore dell'immagine da quelle ad una quota inferiore, come ben visibile nella figura 3-46. Tale risultato sembra prevalentemente influenzato dalle differenti condizioni di esposizione alla luce naturale delle piastrelle, fattore accentuato dalla loro caratteristica alta riflettività, dovuta allo strato vetrificato a protezione della pittura.

Aumentando il numero di classi a tre, raggiungiamo un equilibrio nella classificazione: vengono create due classi separate che distinguono le piastrelle con tonalità più scure da quelle più chiare, mentre ricadono in una terza classe quelle interessate da fenomeni di riflessione della luce naturale. La classificazione sembra quindi seguire, escludendo la classe "alterata" dal riflesso, le differenti cromie che caratterizzano le piastrelle in clinker ottenute da un processo semiartigianale. Un'ulteriore ipotesi, da approfondire mediante nuove campagne d'indagine sul campo, è quella che alcune piastrelle abbiano subito una variazione cromatica in seguito alla perdita di performance dello strato vetrificato protettivo, con la conseguente esposizione dello strato pittorico agli agenti atmosferici, inducendo l'algoritmo a differenziarne la classificazione.

Immagine: IVREA_4_600 | Algoritmo: ENVI

Analizzando la stessa immagine con l'algoritmo "ENVI" ed effettuando il *tuning* dei settaggi per la segmentazione non supervisionata si è notato che:

- *Spectral detail*: aumentando il dettaglio spettrale l'output risulta più eterogeneo e frammentato, impossibilitando il riconoscimento di un *pattern*.
- *Spatial detail*: è bene ridurre al minimo l'influenza della geometria poiché questa non è rilevante nel distinguere fenomeni di degrado in essere, fatta eccezione per distacchi o lacune che comunque non sono presenti nel caso in esame.
- *Minimum segment size* in pixel: incrementare il valore consente di ridurre sostanzialmente la formazione di classi e quindi rendere più facilmente riconoscibile un *pattern*.

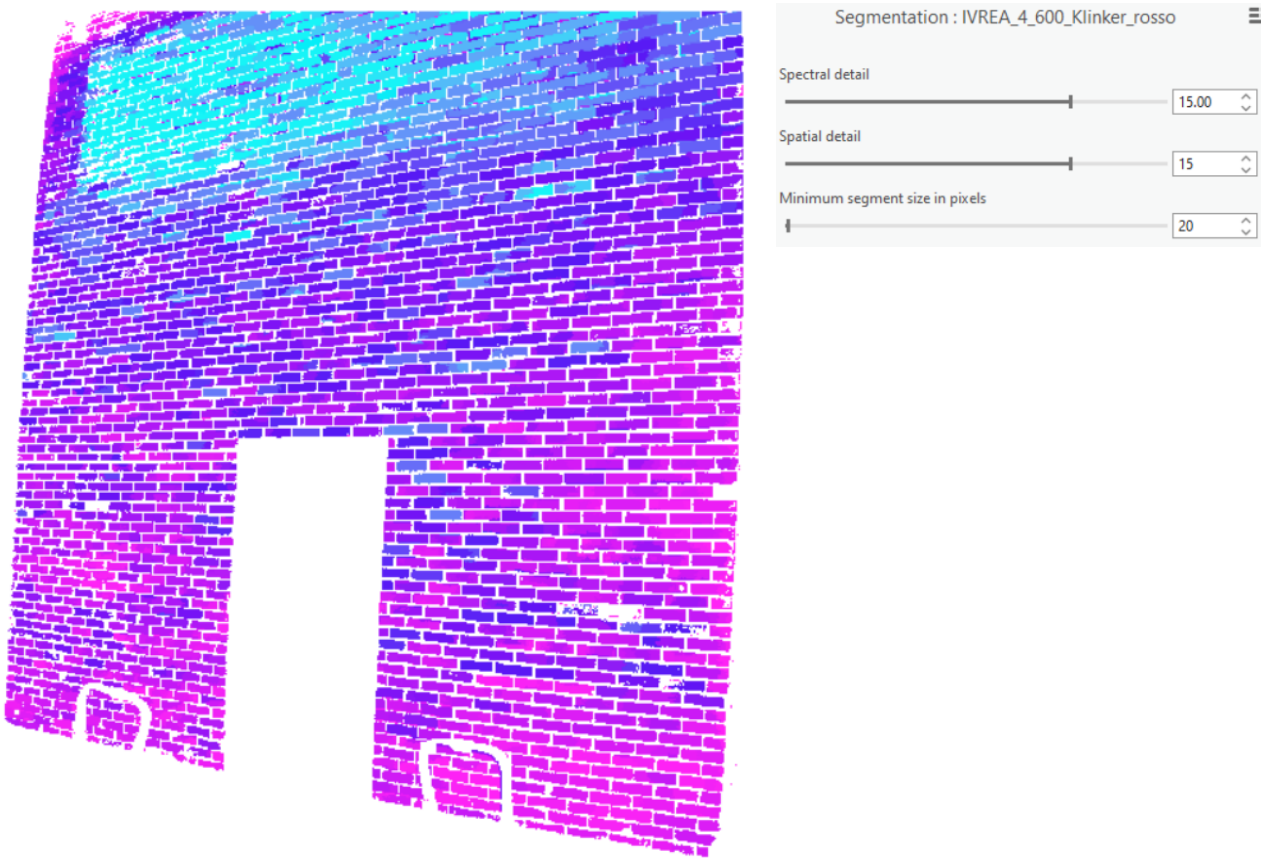


Figura 4.3-48: Segmentazione non supervisionata con algoritmo ENVI delle piastrelle in clinker rosso, facciata nord

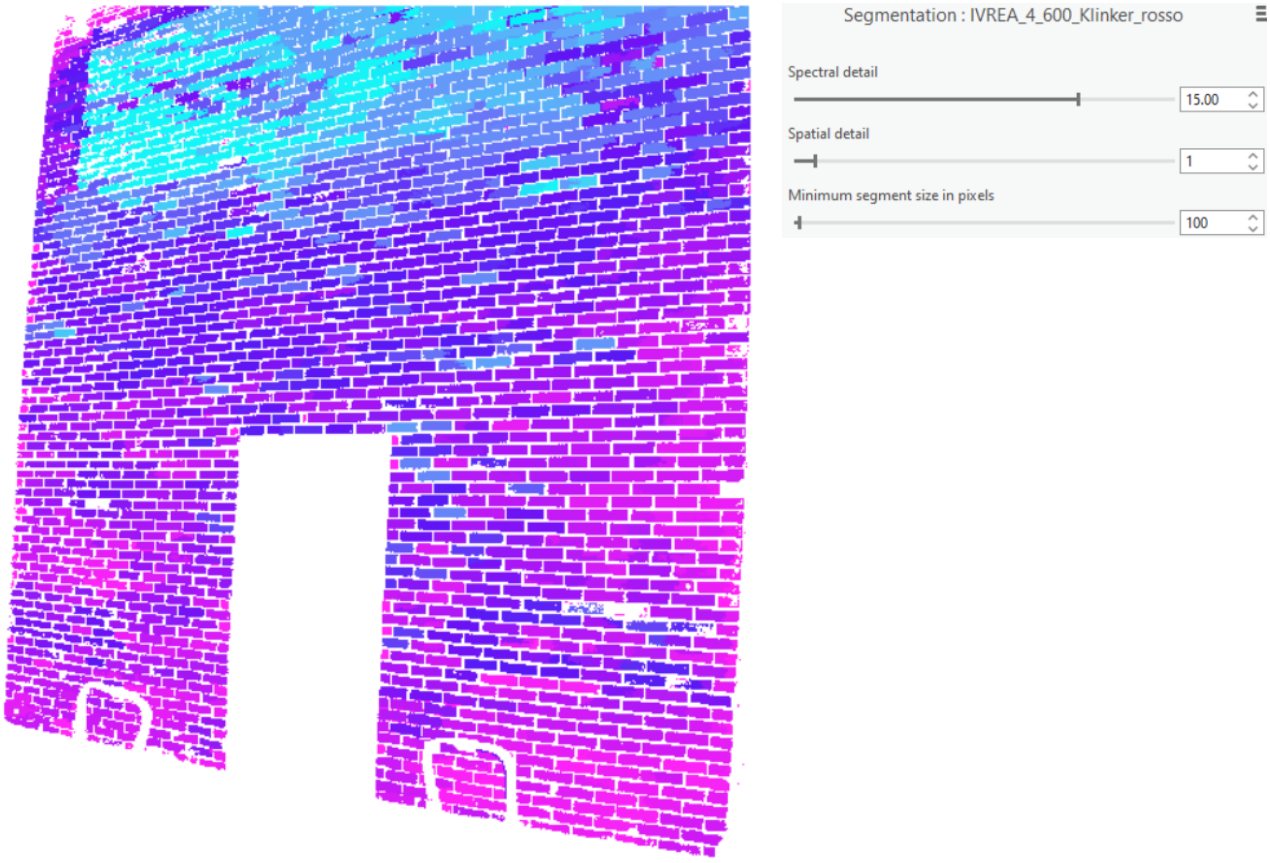


Figura 4.3-49: Segmentazione non supervisionata con algoritmo ENVI delle piastrelle in clinker rosso, facciata nord

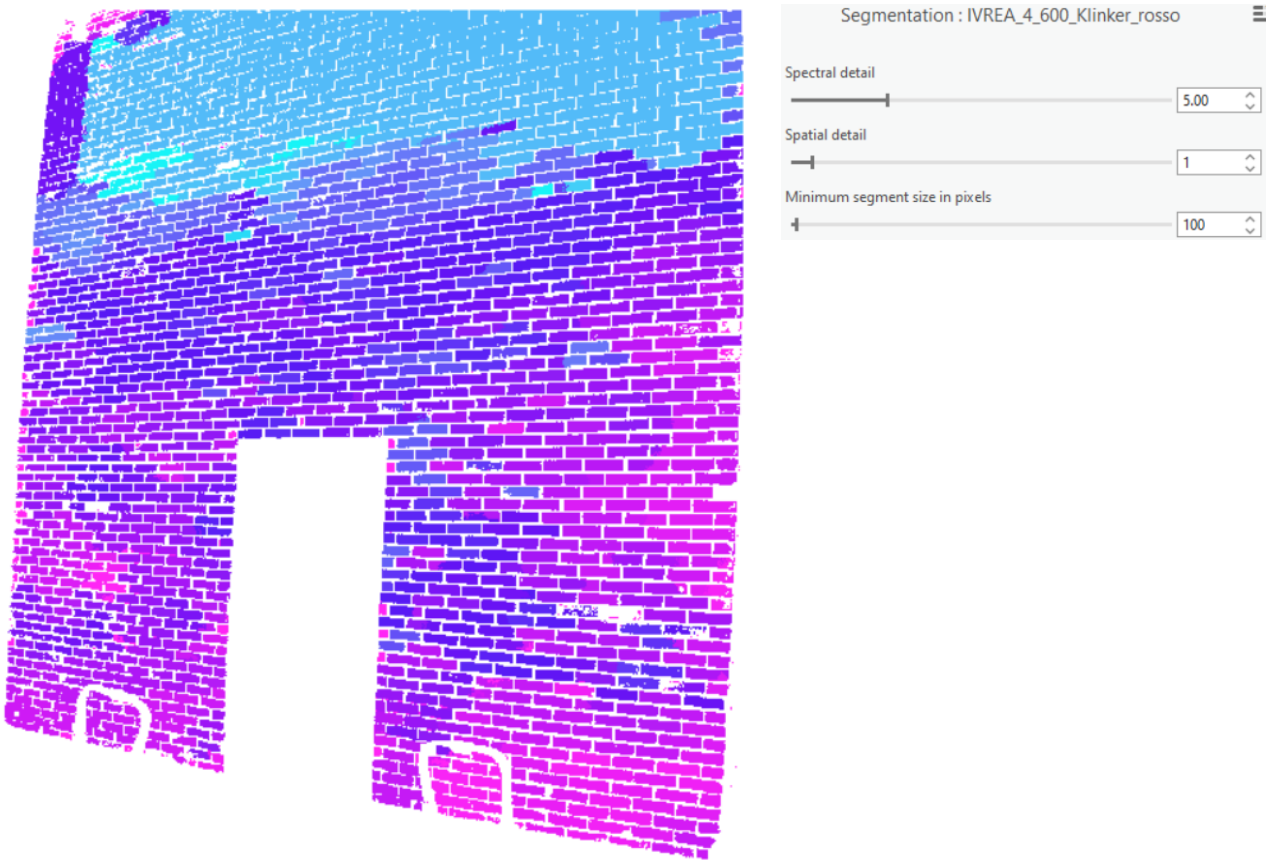


Figura 4.3-51: Segmentazione non supervisionata con algoritmo ENVI delle piastrelle in clinker rosso, facciata nord

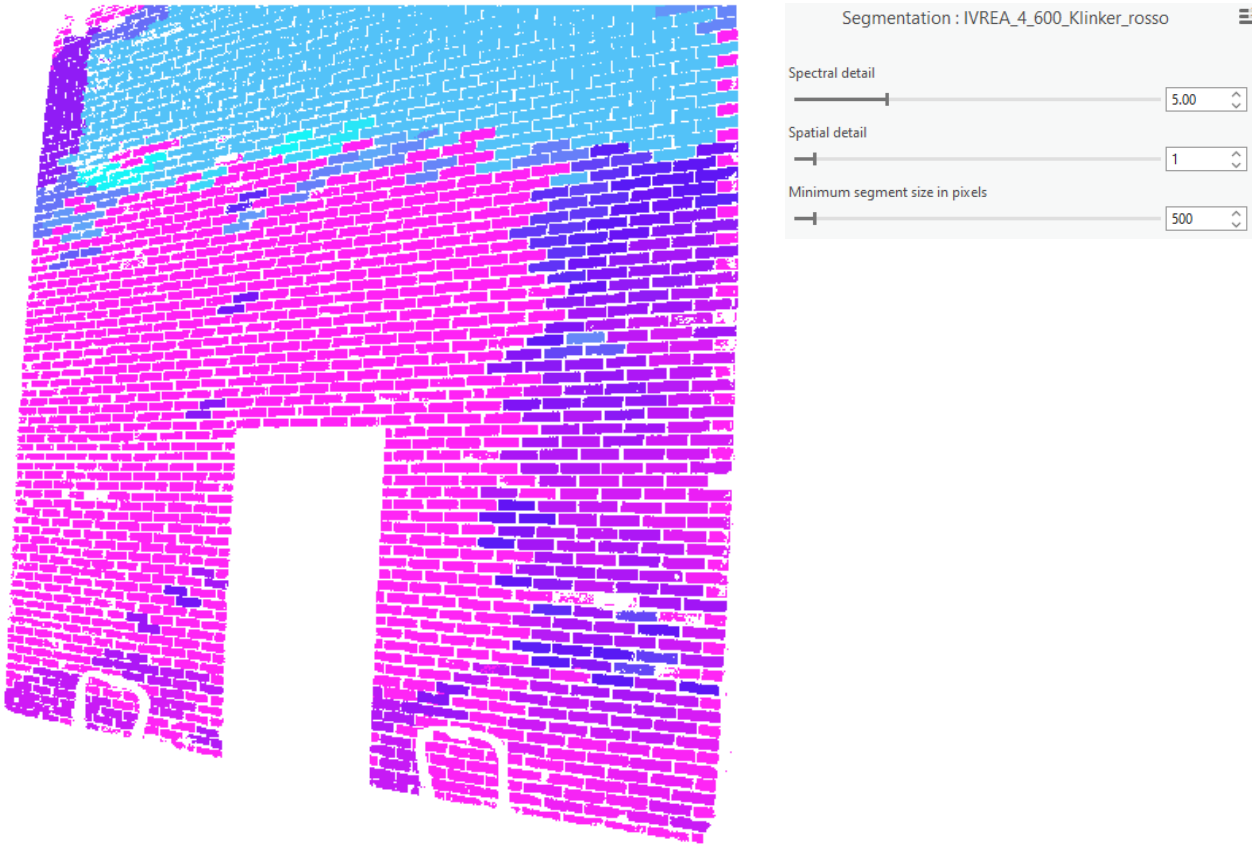


Figura 4.3-50: Segmentazione non supervisionata con algoritmo ENVI delle piastrelle in clinker rosso, facciata nord

I diversi tentativi di segmentazione condotti, agendo sui valori di *spectral detail* e *minimum segment size* in pixel, evidenziano una marcata differenza tra le piastrelle situate sul perimetro inferiore e sul lato destro dell'immagine rispetto a quelle del "corpo centrale". Tali differenze potrebbero essere spiegate in virtù di una differente esposizione ai fenomeni atmosferici:

- Le piastrelle situate entro il primo metro da terra potrebbero risentire degli effetti dell'umidità di risalita, sviluppando degradi o alterazioni correlati.
- Le piastrelle situate sul lato destro invece, poiché si trovano in corrispondenza di un angolo dell'edificio, potrebbero essere state più esposte all'azione combinata di venti e piogge, causandone forme di degrado correlate.

Conclusioni sulla classificazione *unsupervised* dell'immagine IVREA_4_600

Ciò che si può dedurre dall'analisi incrociata degli output ottenuti mediante i due differenti algoritmi è che entrambi riescono a distinguere e separare dal resto delle piastrelle quelle soggette a fenomeni di riflessione, le quali certamente risultano alterate nella loro informazione spettrale da tale esposizione (piastrelle blu – azzurre). I due algoritmi producono risultati discordanti per quanto concerne invece la separazione in classi delle altre piastrelle, rendendo complesso fare parallelismi e riconoscere un pattern comune di degradi e/o alterazioni. Inoltre, la classificazione con ISOcluster risulta più chiara e semplice nel contenere il numero di classi da generare, sebbene tale operazione di controllo dell'output possa comunque essere condotta nel caso della Segmentazione ENVI aumentando il numero minimo di pixel utili per la formazione di una classe.

ISOcluster **Segmentazione ENVI**

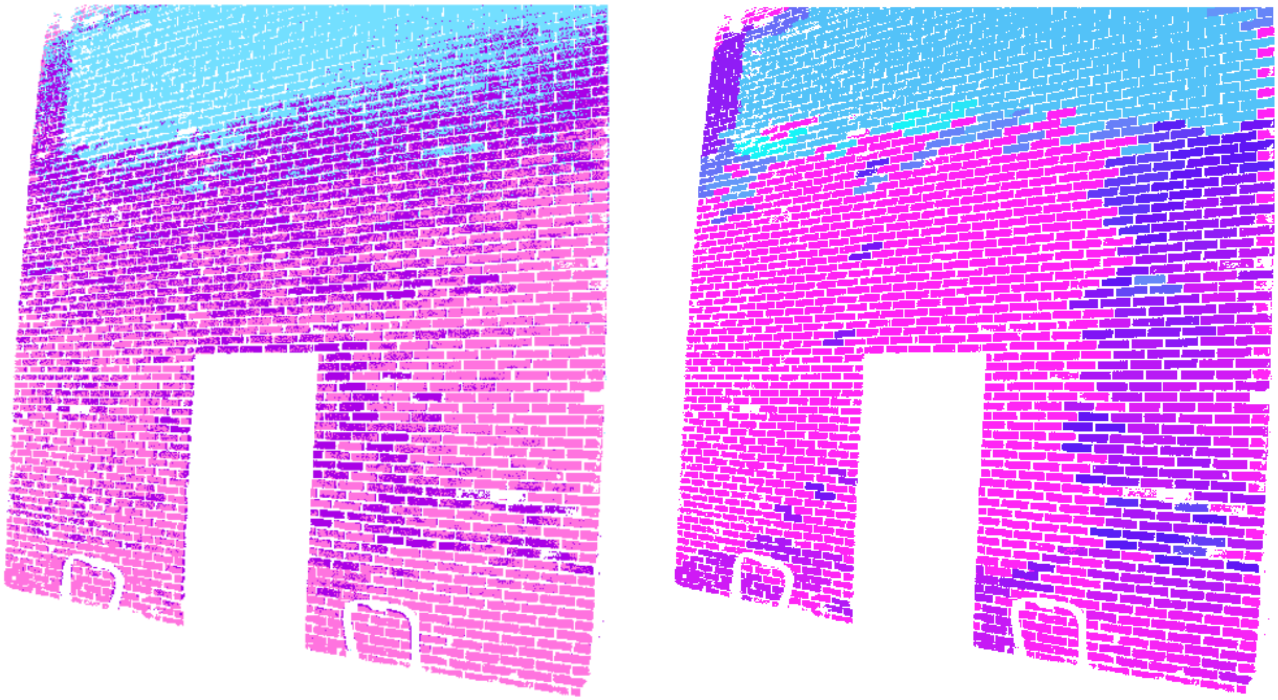
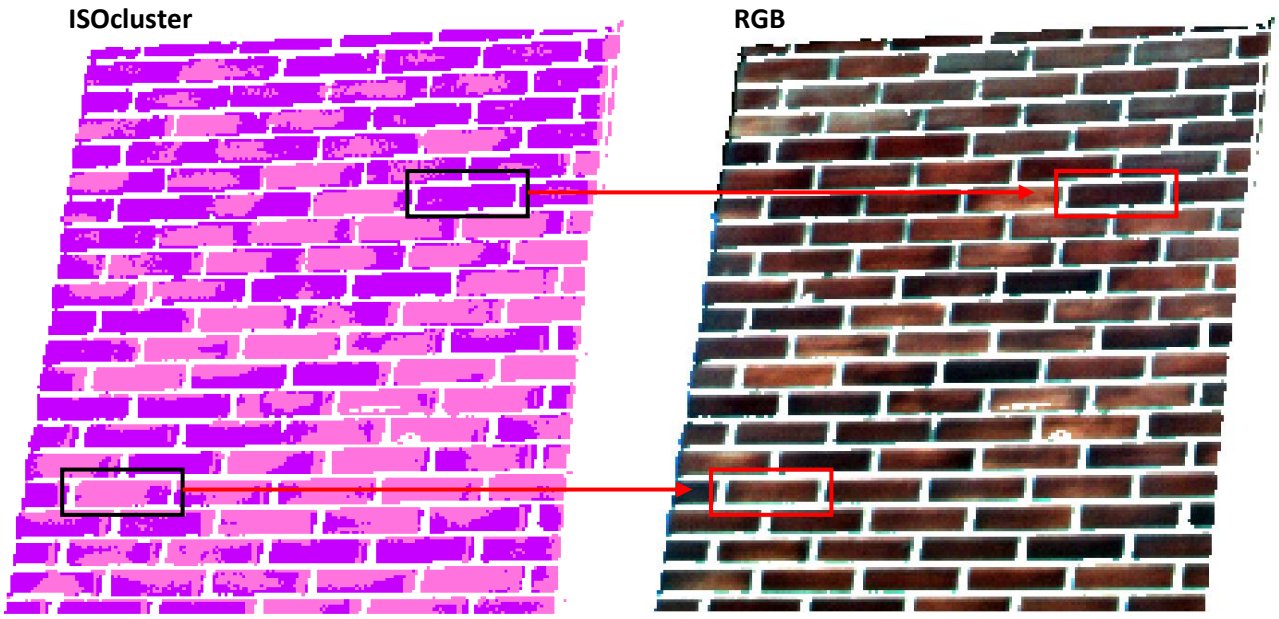


Figura 4.3-52: Confronto tra i due metodi di classificazione non supervisionata; a sinistra l'output dell'ISOcluster (IVREA_4_600_ISOcluster_3_20_5_05_20_1) mentre a destra l'output dell'algoritmo proprietario ENVI (IVREA_4_600_SEG_5_1_500)

Immagine: IVREA_3_20_RED | Algoritmo: ISOcluster

Mediante algoritmo ISOcluster, si analizza una limitata porzione del rivestimento in clinker rosso situata sulla facciata ovest dell'edificio. L'immagine che contiene tali informazione (IVREA_3_20) inquadra anche parte del paramento murario rivestito in piastrelle blu, ma si è deciso di analizzare separatamente le due tipologie di piastrelle per facilitare il riconoscimento di eventuali anomalie nel rivestimento, potendo infatti in tal modo limitare il numero di classi generate al minimo. Poiché in questo caso, a differenza dell'immagine IVREA_4_600, la superficie in clinker rosso analizzata non è soggetta a disturbi di riflessione della luce naturale, si è scelto di limitare la generazione di *cluster* a due classi, sempre nel tentativo di distinguere tra una classe di piastrelle in buono stato ed una di piastrelle soggette a degrado. Il risultato ottenuto porta a conclusioni simili a quelle fatte in precedenza per la parete esposta a nord: i clinker rossi vengono sostanzialmente divisi in base alle caratteristiche della loro pittura, ovvero indicativamente operando una distinzione tra quelle più chiare e quelle più scure. In questo caso risulta più complesso elaborare ipotesi su potenziali degradi o alterazioni, non essendo chiaramente distinguibile un *pattern* di classificazione.



Classify : IVREA_3_20_Klinker_rosso

Classifier
ISO Cluster

Maximum Number of Classes
2

Maximum Number of Iterations
20

Maximum Number of Cluster Merges per Iteration
5

Maximum Merge Distance
1

Minimum Samples Per Cluster
20

Skip Factor
1

Figura 4.3-53: Output di segmentazione delle piastrelle in clinker rosso con ISOcluster e rispettivo RGB

Immagine: IVREA_3_20_RED | Algoritmo: ENVI

Sulla base dell'esperienza condotta con l'immagine della facciata nord, si è condotta la segmentazione delle stesse piastrelle rosse con l'algoritmo ENVI e due diversi settaggi, privilegiando in entrambi i casi il dettaglio spettrale rispetto a quello spaziale ma andando ad agire in particolare sul *Minimum segment size per pixels*.

In questo caso il primo tentativo non consente di elaborare ipotesi su *pattern* di degrado a causa dell'elevato numero di classi individuate. Il secondo output offerto dalla segmentazione, invece, ottenuto aumentando il numero minimo di pixel richiesti per la formazione di una classe, offre validi spunti per un futuro sopralluogo focalizzato sulle dieci piastrelle di colore azzurro individuate come differenti rispetto alle altre dall'algoritmo di classificazione.

Figura 4.3-54: Output di segmentazione delle piastrelle in linker rosso ottenuti variando i parametri di segmentazione ENVI

Conclusioni sulla classificazione unsupervised dell'immagine IVREA_3_20_RED

Analizzando gli output di classificazione non supervisionata operata mediante i due differenti algoritmi sulla texture di piastrelle in clinker rosso presenti sulla facciata ovest della Centrale Termica, non si può giungere ad una interpretazione univoca. Mentre l'immagine restituita dall'ISOcluster non consente di elaborare ipotesi su eventuali degradi, la segmentazione ENVI offre una netta distinzione tra piastrelle, orientando i futuri sopralluoghi all'analisi delle stesse. Anche in questo caso, tuttavia, come già visto nella IVREA_4_600, non vi è corrispondenza tra i due algoritmi.

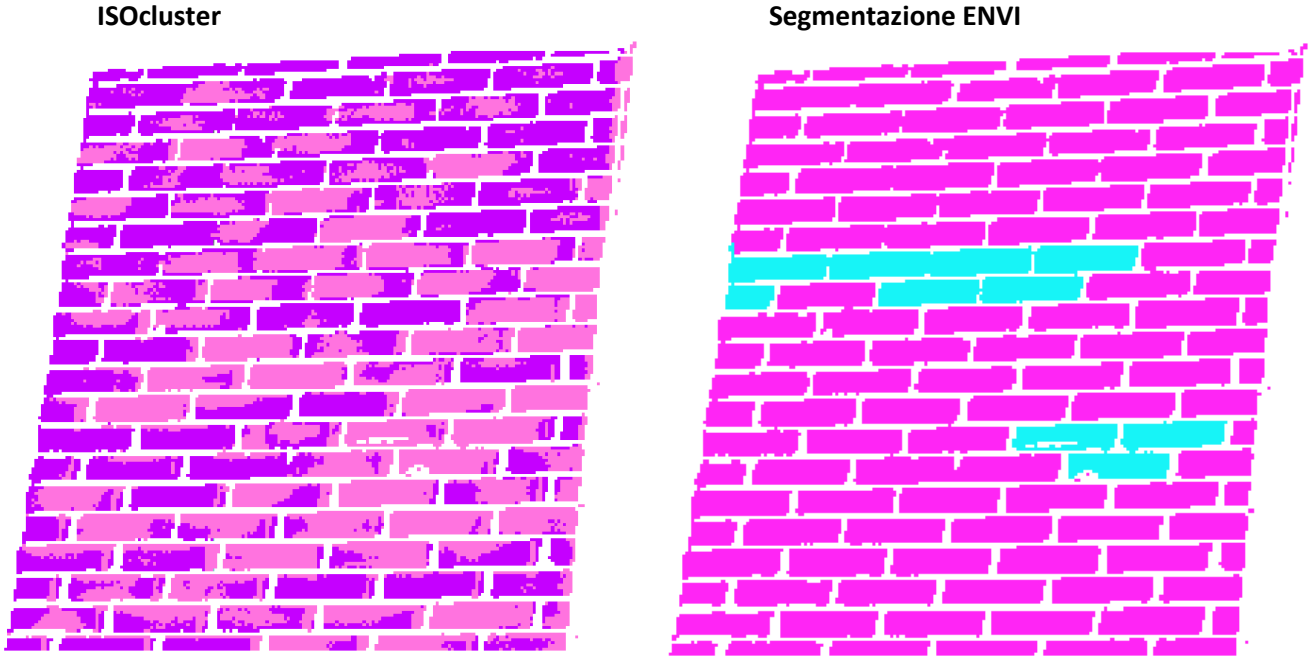


Figura 4.3-55: Confronto tra i due metodi di classificazione non supervisionata; a sinistra l'output dell'ISOcluster (IVREA_3_20_RED_ISOcluster_2_20_5_05_20_1) mentre a destra l'output dell'algoritmo proprietario ENVI (IVREA_3_20_RED_SEG_5_1_800)

Figura 4.3-56: Localizzazione delle piastrelle in clinker rosso da indagare ulteriormente sulla facciata ovest dell'edificio

Immagine: IVREA_3_20_BLU | Algoritmo: ISOcluster

La porzione di rivestimento esterno oggetto di analisi è quella in clinker blu situata sulla facciata ovest dell'edificio, che è stato analizzato escludendo il rivestimento in piastrelle rosse per le ragioni precedentemente esposte. Anche in questo caso, non essendo visibili chiari fenomeni di riflessione della luce solare che potrebbero alterare la classificazione, si è proceduto con i *settings* di base e ponendo come tetto massimo la formazione di due *cluster*. L'algoritmo ha così generato due classi, una rappresentata in color viola ed una con il colore rosa, dove la prima risulta essere quella maggioritaria. La seconda classe invece si concentra sul lato inferiore destro della texture in clinker, pur interessando qualche altra area limitata in dimensioni come quella evidenziata sulla sinistra dell'immagine.

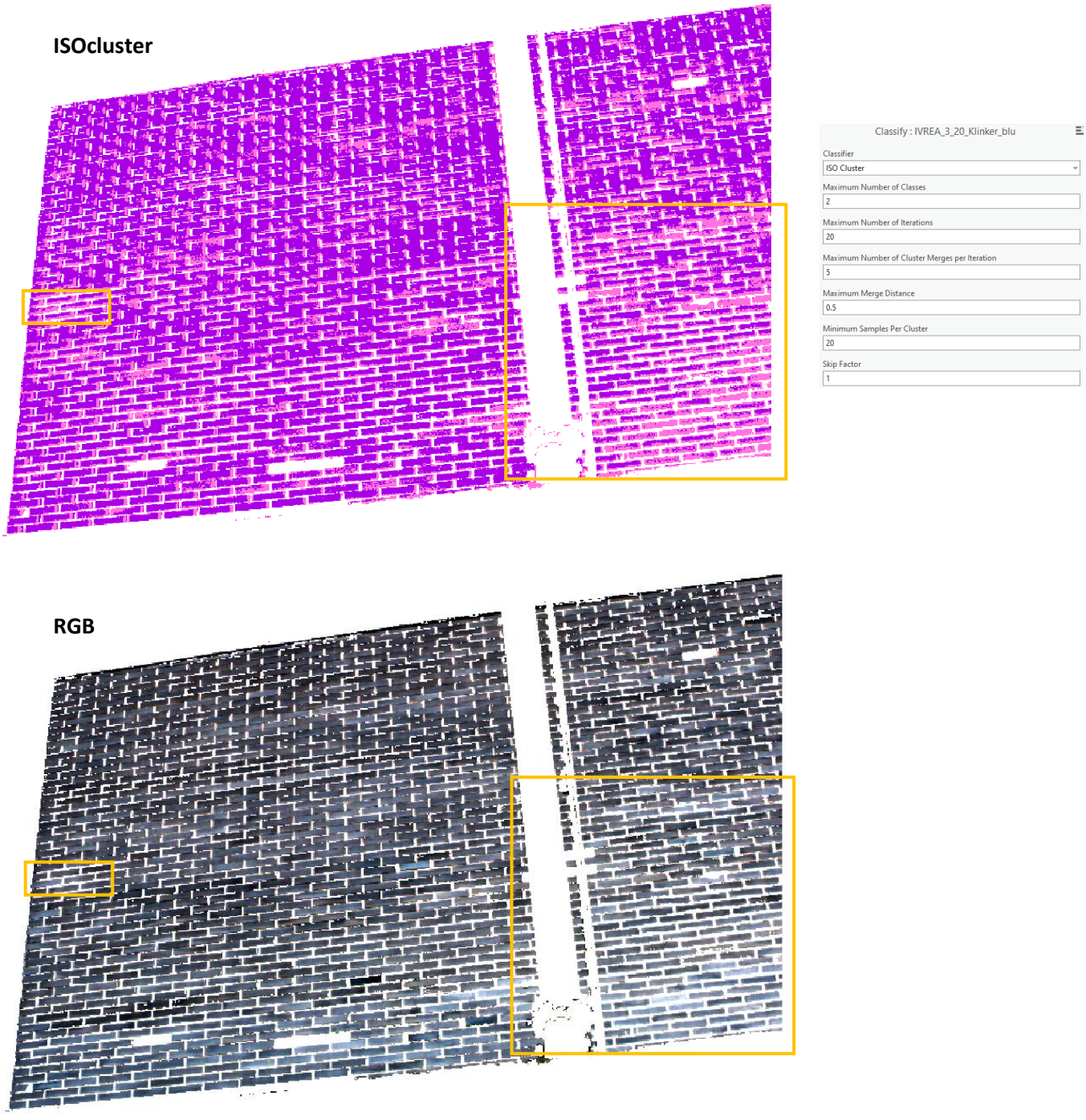


Figura 4.3-57: Output di segmentazione delle piastrelle in clinker blu con ISOcluster e rispettivo RGB

Immagine: IVREA_3_20_BLU | Algoritmo: ENVI

Allo stesso modo è stata condotta la classificazione dei clinker blu mediante l'algoritmo di segmentazione ENVI, mantenendo i settaggi che avevano dato i risultati migliori. In entrambi i casi qui di seguito riportati si può facilmente osservare come l'algoritmo rilevi una differenza nell'informazione spettrale tra le piastrelle della parte inferiore e quelle della parte superiore, dividendole a loro volta in altri due gruppi. Si sottolinea inoltre come un piccolo gruppo di quattro piastrelle, situato sulla sinistra del paramento murario, venga costantemente classificato in modo diverso rispetto alle piastrelle che lo circondano, facenti parte del gruppo visibilmente più esteso. Infine si osserva una piastrella nello specifico (rettangolo rosso): questa, benché sia evidente che si tratti di una piastrella di formato differente rispetto a quelle impiegate per rivestire la Centrale Termica, non viene riconosciuta come diversa dalle altre. Anche aumentando il peso dello *Spatial detail*, fino a ribaltare i rapporti fino ad ora usati, non è stato possibile favorirne il riconoscimento.

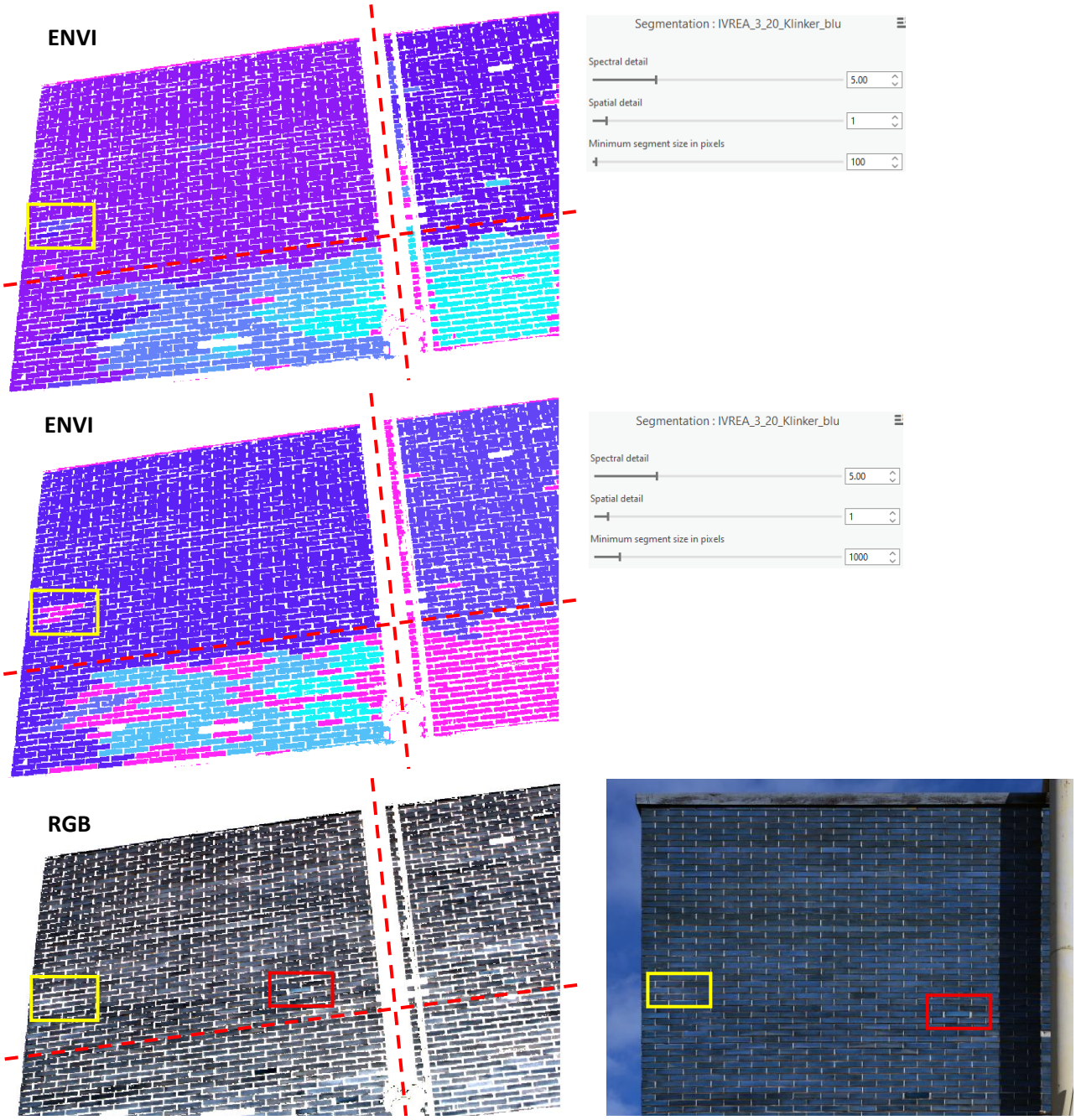


Figura 4.3-58: Output di segmentazione delle piastrelle in clinker rosso ottenuti variando i parametri di segmentazione ENVI e corrispettivo RGB

Conclusioni sulla classificazione *unsupervised* dell'immagine IVREA_3_20_BLU

Confrontando i risultati ottenuti dalla classificazione non supervisionata delle piastrelle in clinker blu, situate sulla facciata ovest dell'edificio, è possibile individuare delle similitudini. Entrambe, infatti, sono concordi nel rilevare delle differenze nel dato spettrale delle piastrelle situate sul lato inferiore destro dell'immagine, indicate dal rettangolo arancione. La Segmentazione ENVI ha evidenziato inoltre, in tutti i casi testati, un piccolo agglomerato di piastrelle sul lato sinistro del paramento murario, trovando parziale riscontro nella classificazione ISOcluster, dove i pixel appartenenti a tali piastrelle risultano circa egualmente ripartiti tra le due classi create. Una differente esposizione agli agenti atmosferici delle piastrelle situate nella parte inferiore potrebbe averne determinato un degrado differenziato, spiegando sostanzialmente la peculiare segmentazione ENVI, mentre risulta più complesso elaborare ipotesi circa l'agglomerato delle quattro piastrelle situate sulla sinistra. Per entrambi i casi risulta necessario condurre approfondite analisi sul campo, sia nel tentativo di raccogliere informazioni su eventuali degradi in essere, sia catturando ulteriori immagini, eventualmente ad una quota differente e/o in condizioni di esposizione solare differenti.

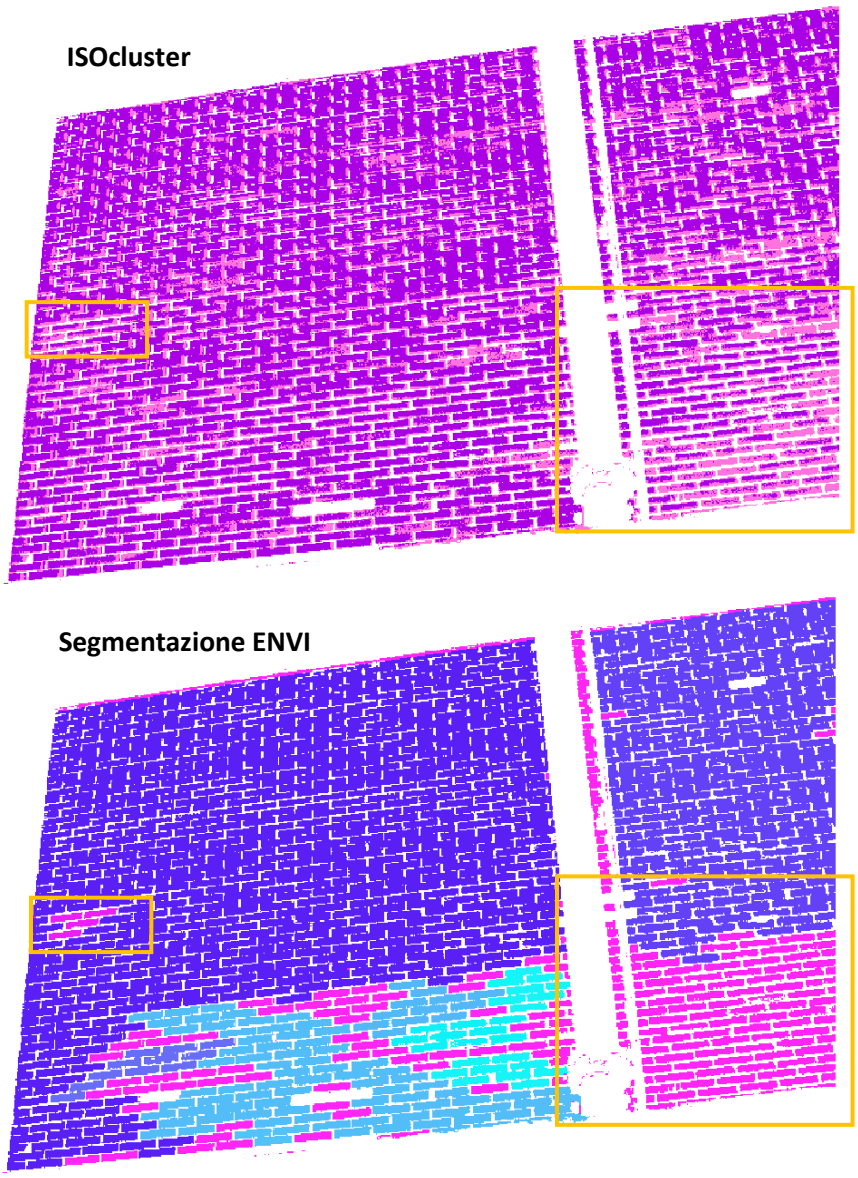


Figura 4.3-59: Confronto tra i due metodi di classificazione non supervisionata; a sinistra l'output dell'ISOcluster (IVREA_3_20_BLU_ISOcluster_2_20_5_05_20_1) mentre a destra l'output dell'algoritmo proprietario ENVI (IVREA_3_20_BLU_SEG_5_1_1000)

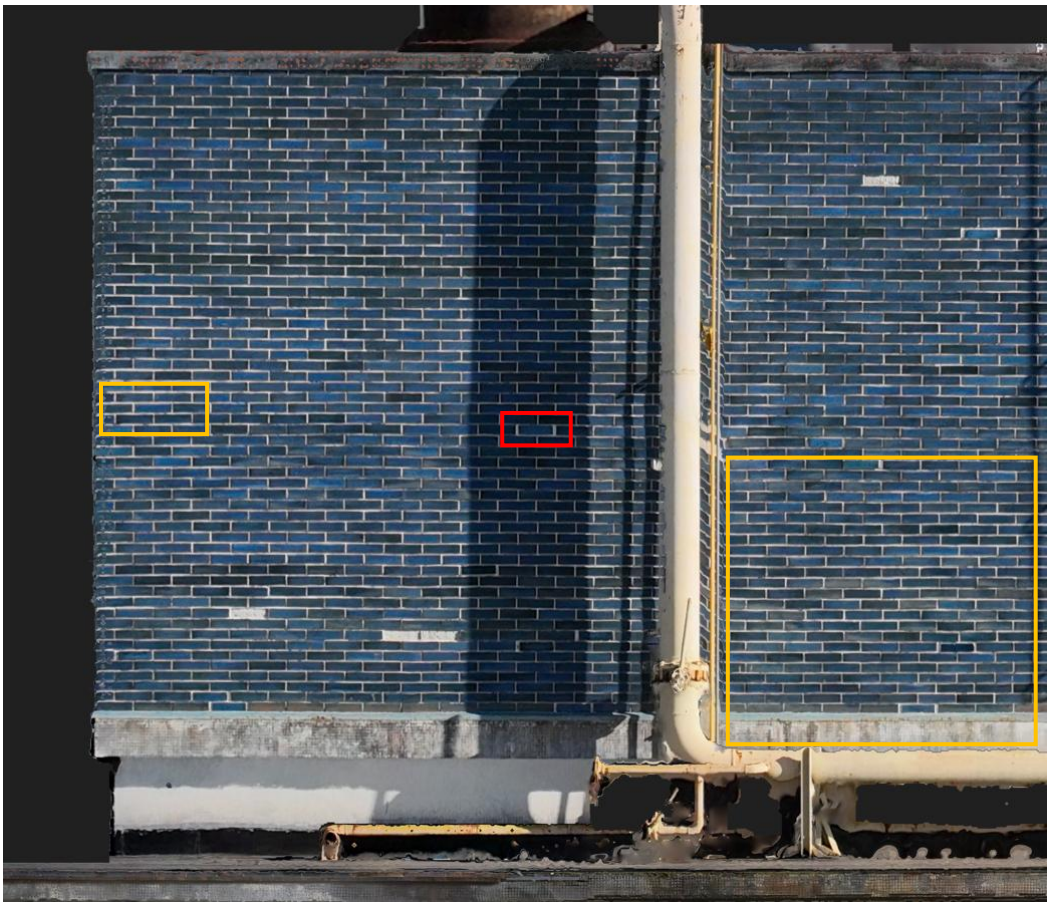


Figura 4.3-60: Facciata ovest, aree del rivestimento in clinker blu da analizzare nel dettaglio sul campo

4.3.6.6 Segmentazione delle immagini iperspettrali: le conclusioni

Il presente lavoro ha affrontato il tema del riconoscimento automatizzato dei degradi a cui sono soggetti gli edifici del Novecento, con un focus particolare sul clinker, un materiale di rivestimento che ha caratterizzato l'architettura del secondo dopoguerra. La classificazione supervisionata condotta sui quattro set di immagini iperspettrali ha portato, in due casi, a risultati soddisfacenti con gli algoritmi *Support vector machine* e *Maximum likelihood*: mediante calcolo delle matrici di confusione sono emersi valori di "K di Cohen" superiori a 0.9 e accuratezza superiori al 95% nel riconoscimento delle classi di "clinker". La classificazione sugli ulteriori set di dati ha invece evidenziato alcuni fattori che possono influenzare negativamente la segmentazione, come una eccessiva distanza di presa, angoli di presa troppo ampi rispetto al piano oggetto di studio, le condizioni di illuminazione non omogenee e gli errori nel settaggio dei valori di ISO del sensore.

I tentativi successivi di classificazione non supervisionata delle piastrelle in clinker sono stati condotti sperimentando due algoritmi: l'ISOCluster e la segmentazione ENVI. Sebbene non sia stato possibile riconoscere un *pattern* comune di classificazione nel caso dell'immagine della parte bassa dell'edificio, è stato comunque possibile avanzare ipotesi sulle patologie in essere su alcune piastrelle; nel caso dell'immagine della parte alta si è potuto invece individuare più chiaramente delle aree potenzialmente soggette a fenomeni di degrado e che dovranno essere indagate sul campo grazie agli output simili ottenuti con i due algoritmi.

I risultati ottenuti indicano pertanto le aree da indagare ulteriormente in un secondo sopralluogo, il quale permetterà di determinare le eventuali patologie in essere e di procedere con la determinazione delle loro firme iperspettrali, implementando l'uso di un pannello per la correzione radiometrica. Tali informazioni potranno poi essere inserite all'interno di un modello HBIM dell'edificio e rese confrontabili con nuove acquisizioni, contribuendo alla manutenzione programmata dell'edificio.

4.4 H-BIM *As-Built* della Centrale Termica Olivetti

4.4.1 Definizioni utili

4.4.1.1 Building Information Model

«Il BIM non è un software, ma una metodologia integrata e collaborativa basata su un modello di edificio digitale che contiene le informazioni necessarie per gestire l'edificio durante tutto il suo ciclo di vita, dalla progettazione e costruzione, alla manutenzione e alla gestione post-utilizzo».[149]

In particolare, si parla di *Historical Building Information Model* (HBIM) quando si opera un processo inverso di ricostruzione della geometria, dei componenti e delle tecnologie architettoniche di un edificio esistente.

Le tecnologie di rilievo che si sono sviluppate negli ultimi decenni, dal LiDAR alla fotogrammetria, sono diventati strumenti estremamente efficaci nel rilievo di edifici esistenti e dalle geometrie irregolari. Le nuvole di punti ricavabili attraverso questo tipo di rilievi sono dunque una base informativa fondamentale nella realizzazione di un modello BIM di un edificio storico, specialmente dal punto di vista del contenuto geometrico del modello stesso, in un processo chiamato *Scan-to-BIM.*

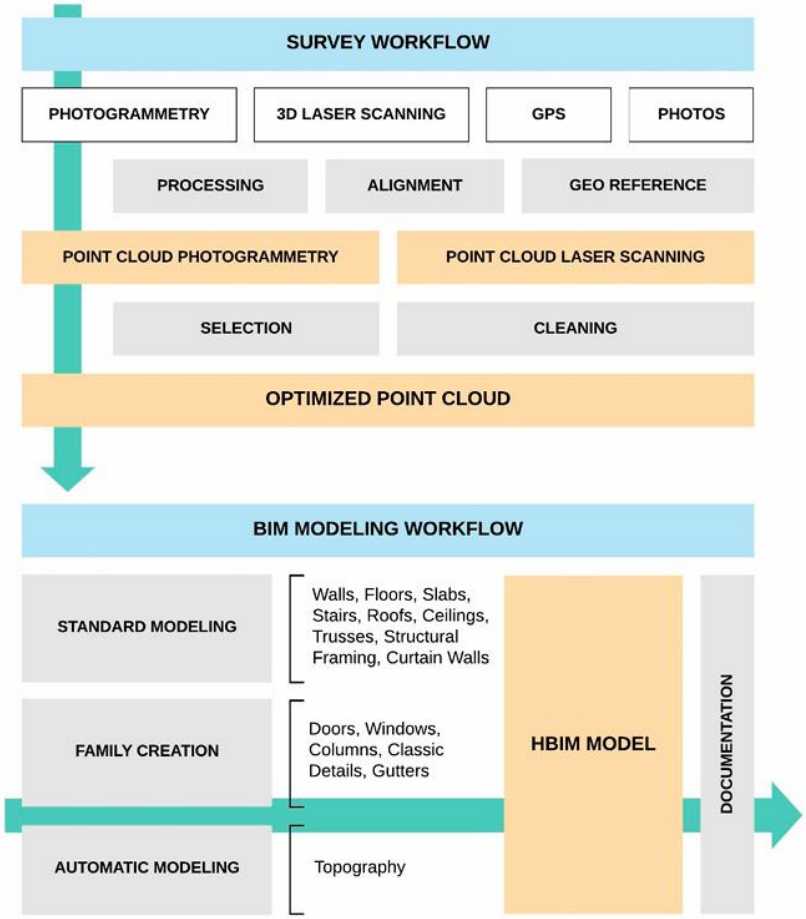


Figura 4.4-1: Processo Scan-to-BIM (ROCHA et al. 2020)

Lo sviluppo di modelli HBIM rappresenta, in molti casi, un'autentica sfida di indagine, analisi e modellazione dell'esistente. Le irregolarità riscontrabili specialmente negli edifici preindustriali, le modifiche che possono essersi susseguite nel corso della storia, i danneggiamenti e le alterazioni dovuti all'azione del tempo e

[149] ROCHA et al. 2020.

dell'uomo, determinano un elevato numero di variabili che richiedono un'attenta analisi delle finalità della modellazione. La gestione delle risorse passa dunque necessariamente attraverso un primo step fondamentale, ovvero determinare quale funzione dovrà assolvere il modello e quindi definire il livello di sviluppo complessivo del modello stesso (*Level of Detail*, LOD).

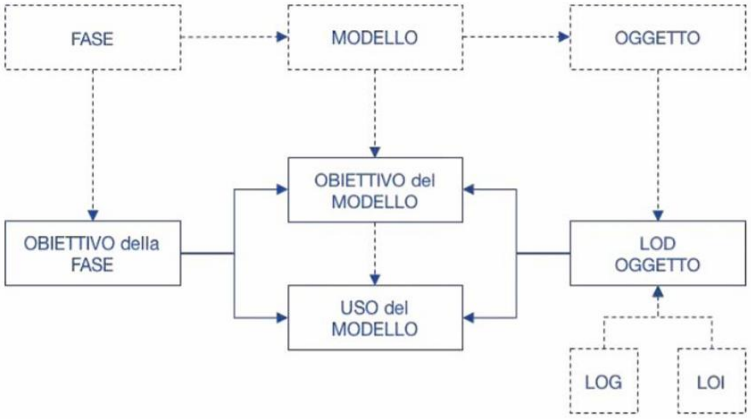


Figura 4.4-2: Schema di strutturazione dei LOD (LOG+LOI) italiani (Pavan A., Mirarchi C., Giani M. 2022, BIM: Metodi e strumenti. Progettare, costruire e gestire nell'era digitale)

4.4.1.2 Level of Detail (LOD)

La complessità della modellazione BIM richiede la definizione precisa della "scala di dettaglio" sia da un punto di vista "geometrico" (*Level of Geometry*, LOG) che da un punto di vista "informativo" (*Level of Information*, LOI). La prima normativa nazionale di riferimento che è stata sviluppata per la definizione di questi livelli è stata ad opera dell'American Institutes of Architects (AIA) nel 2004, cha ha dato poi il via ad una proliferazione di normative nazionali cui si è aggiunta l'Italia nel 2017, con la UNI 11227-4:2017.

Sebbene non esista dunque un'unica normativa condivisa tra i paesi, la normativa statunitense è certamente una tra quelle più consolidate[150]. Essa è strutturata per livelli LOD, ciascuno dei quali richiede, per essere raggiunto, specifici requisiti del modello:

- LOD 100: l'elemento del modello può essere rappresentato graficamente nel modello con un simbolo o un'altra rappresentazione generica, ma non soddisfa i requisiti per LOD 200. Le informazioni relative all'elemento del modello (ad esempio, costo per piede quadrato, tonnellaggio di HVAC, ecc.) possono essere ricavate da altri elementi del modello.
- LOD 200: l'elemento del modello è rappresentato graficamente e genericamente all'interno del modello con quantità, dimensioni, forma, posizione e orientamento approssimativi.
- LOD 300: l'elemento del modello, così come progettato, è rappresentato graficamente all'interno del modello in modo tale che la sua quantità, dimensione, forma, posizione e orientamento possano essere misurati.
- LOD 350: l'elemento del modello, così come progettato, è rappresentato graficamente all'interno del modello in modo tale che la sua quantità, dimensione, forma, posizione, orientamento e le interfacce con elementi del modello adiacenti o dipendenti possano essere misurate.
- LOD 400: l'elemento del modello è rappresentato graficamente all'interno del modello con un livello di dettaglio sufficiente per la fabbricazione, l'assemblaggio e l'installazione.

[150] AIA Contract Document E201-2022.

- LOD 500: l'Elemento Modello è una rappresentazione grafica di una condizione esistente o costruita, sviluppata attraverso una combinazione di osservazione, verifica sul campo o interpolazione. Il livello di accuratezza deve essere annotato o allegato all'Elemento Modello.

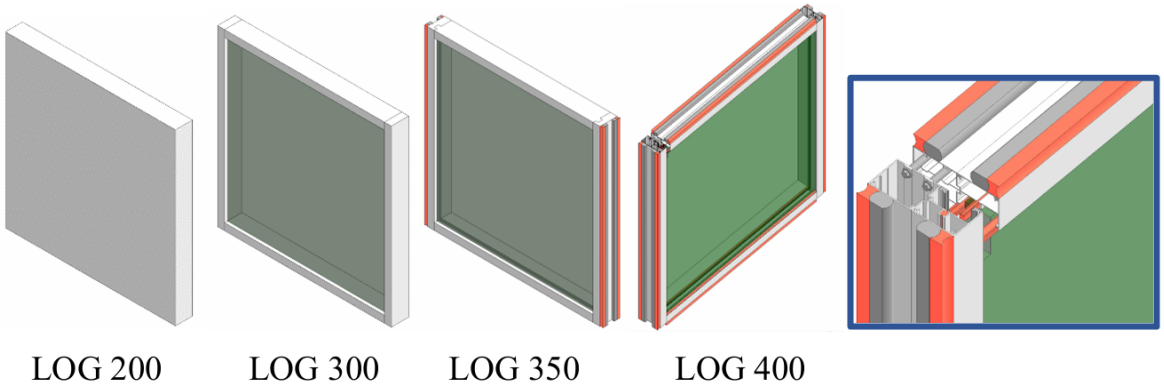


Figura 4.4-3: Livello di dettaglio geometrico della modellazione BIM (ABUALDENIEN, BORRMANN 2020)

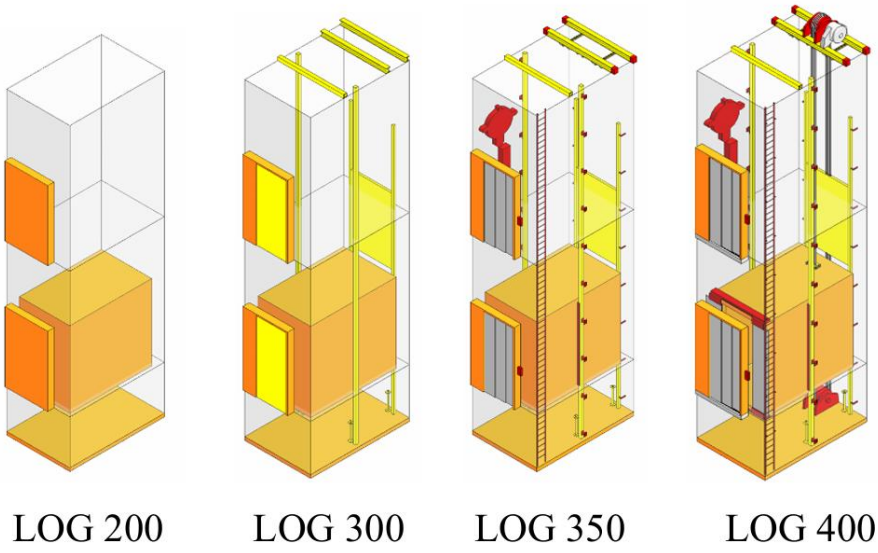


Figura 4.4-4: Livello di dettaglio geometrico della modellazione BIM (ABUALDENIEN, BORRMANN 2020)

Analizzando invece lo schema di sviluppo dei LOD "italiani", espressi nella UNI 11227-4:2017, osserviamo una certa coerenza rispetto alla normativa proposta dall'AIA. A differenza di questa e di altre normative nazionali, vengono tuttavia approfonditi dei livelli legati alla manutenzione ed al restauro dell'edificio, un'attenzione senz'altro determinata dal vasto patrimonio storico-culturale diffuso su tutto il territorio italiano[151]. I livelli di LOD sono:

- LOD "A" (oggetto simbolico): le caratteristiche quali-quantitative (prestazioni, dimensioni, forma, ubicazione, orientamento, ecc.) sono indicative.
- LOD "B" (oggetto generico): le caratteristiche quali-quantitative sono approssimate.
- LOD "C" (oggetto definito): le caratteristiche quali-quantitative sono definite in via generica nel rispetto dei limiti della legislazione vigente e delle norme tecniche di riferimento.
- LOD "D" (oggetto dettagliato): le caratteristiche quali-quantitative sono specifiche di una pluralità definita di prodotti similari. Viene definita anche l'interfaccia con altri sistemi specifici.

[151] FERRARETTI, MAI, SEITI 2017-2018.

- LOD “E” (oggetto specifico): le caratteristiche quali-quantitative sono specifiche di un singolo sistema produttivo legato al prodotto definito. Viene anche definito il dettaglio relativo alla fabbricazione, assemblaggio e installazione.
- LOD “F” (oggetto eseguito): virtualizzazione verificata sul luogo dello specifico sistema costruito (as-built). Le caratteristiche quali-quantitative sono specifiche del singolo sistema costruito/installato. Sono anche definiti gli interventi di gestione, manutenzione e/o riparazione e sostituzione lungo l’intero ciclo di vita dell’opera.
- LOD “G” (oggetto aggiornato): virtualizzazione aggiornata dello stato di fatto in un tempo definito rispetto a quanto costruito/eseguito/installato. Le caratteristiche quali-quantitative sono aggiornate rispetto ad un precedente stato di fatto.

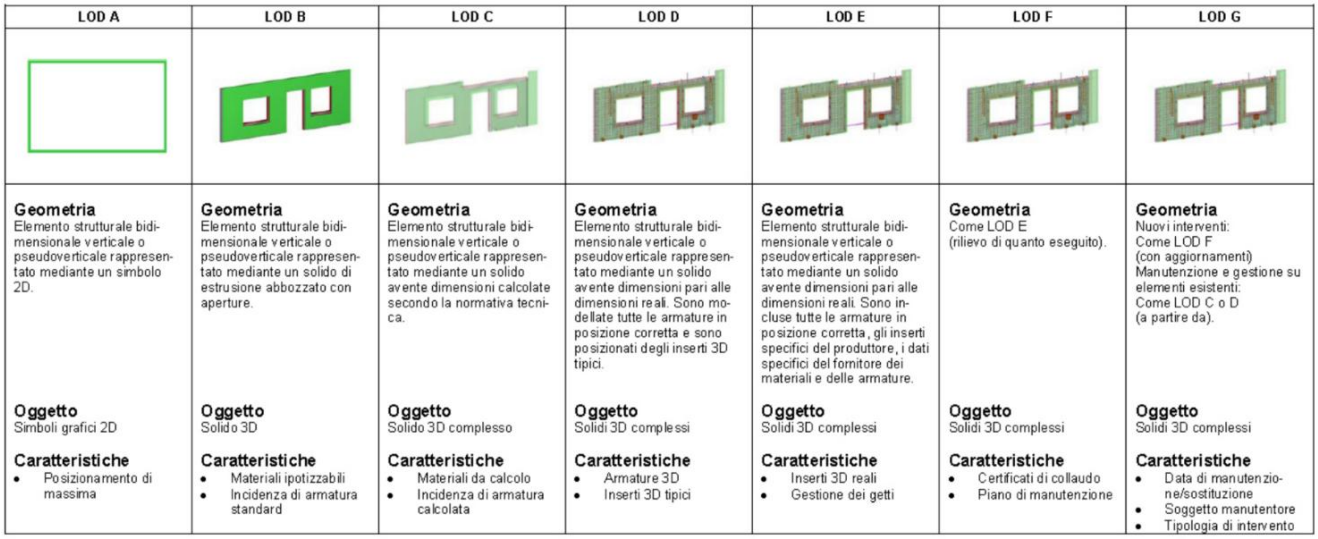


Figura 4.4-5: Esempio dei vari livelli di sviluppo che può raggiungere un oggetto "BIM" (Dispense del corso di Conoscenza del Patrimonio Costruito A.A. 2021/2022)

4.4.1.3 Level of Reliability (LoR)

Nel caso della modellazione HBIM, laddove dunque il manufatto edilizio è esistente e deve essere descritto attraverso diversi livelli geometrici ed informativi, diventa di assoluto rilievo indicare il *Level of Reliability* (LOR) delle componenti del modello. Per il professionista coinvolto nell’utilizzo del modello HBIM, il quale non necessariamente coincide con la persona che lo ha realizzato, risulta decisivo conoscere questo tipo di informazione, per programmare eventuali campagne di indagine integrative.

Seguendo la distinzione fino ad ora adottata tra “geometria” (LOG) e “informazione” (LOI) per la definizione del LOD, allo stesso modo anche LOR si costituisce di due indici: il *Level of Accuracy* (LoA), riferito alla precisione del dato geometrico come deviazione dalla realtà, e il *Level of Quality* (LoQ), che descrive invece l’affidabilità del contenuto informativo. Maiezza[152] propone delle scale di valori standardizzate, costituite in entrambi i casi da tre livelli.

LoA:

- “Livello basso” se più del 70% delle superfici del modello distano più di 5 cm dalla nuvola di punti
- “Livello medio” se il 70% delle superfici del modello ha una deviazione compresa tra 2 e 5 cm
- “Livello alto” se più del 70% delle superfici del modello ha una deviazione inferiore a 2 cm

[152] MAIEZZA 2019.

LoQ:

- "Bassa affidabilità" se il contenuto informativo del modello si basa esclusivamente su fonti indirette che consentono solo ipotesi su stratigrafie e tecniche costruttive
- "Media affidabilità" se si utilizzano fonti primarie che consentono una modellazione più accurata, seppure siano ancora presenti dubbi su alcuni elementi
- "Alta affidabilità" se sono utilizzate fonti dirette, che consentono una completa conoscenza del manufatto

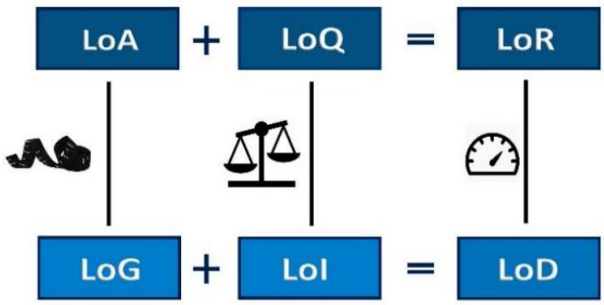


Figura 4.4-7: Sinergia tra la componenti che definiscono il LOD ed il LOR (MAIEZZA 2019)

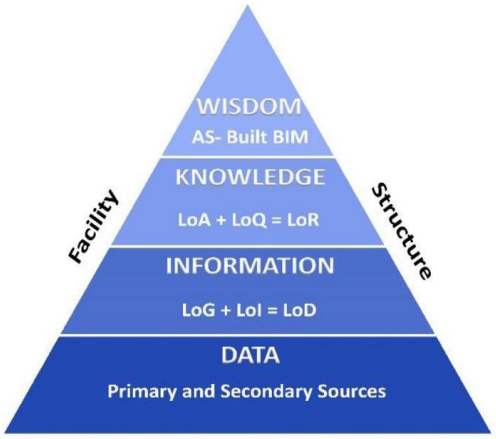


Figura 4.4-7: Piramide concettuale del processo di conoscenza e modellazione BIM (MAIEZZA 2019)

4.4.2 Obbiettivi e processo di modellazione

4.4.2.1 Definizione del LOD

La normativa italiana richiede, per i modelli BIM finalizzati della manutenzione e restauro, il raggiungimento di un livello di sviluppo pari al LOD "F" o "G": il conseguimento del LOD "F" prevede di specificare gli interventi di gestione, manutenzione e/o riparazione e sostituzione degli elementi dell'edificio, mentre il LOD "G" richiede in aggiunta di tenere traccia delle fasi di sviluppo/modifica dell'edificio stesso.

Né le numerose informazioni raccolte durante la campagna di rilievo, né l'approfondita indagine d'archivio, permettono tuttavia di specificare questo tipo di informazioni e raggiungere i più elevati livelli di LOD.

Questo è dovuto principalmente a tre motivi:

- La mancata autorizzazione della proprietà ad entrare all'interno dell'edificio, che ha impedito l'acquisizione dettagliata di alcuni locali, in particolare quelli del piano seminterrato. Per questi si è fatto ricorso quasi unicamente ai disegni tecnici d'archivio, i quali tuttavia possono non rappresentare il reale stato delle cose.
- L'indagine d'archivio condotta sui disegni tecnici originali ha consentito di determinare un gran numero di stratigrafie e materiali, ma dovrebbe essere integrata da indagini *in situ* (distruttive e non), per ottenere una caratterizzazione puntuale di ciascun elemento edilizio.
- Ricostruire eventuali interventi di modifica e/o manutenzione del manufatto edilizio durante il corso della sua vita richiede una ulteriore ricerca d'archivio mirata all'individuazione di eventuali documenti prodotti e conservati dalla Olivetti. Tale ricerca, esulando dalle finalità di questa tesi, non è stata effettuata.

La modellazione BIM, date le informazioni a disposizione, è stata dunque condotta al fine di raggiungere un diffuso livello di dettaglio pari al LOD "D".

4.4.2.2 Workflow

La modellazione in BIM della Centrale Termica Olivetti si è basata su due fonti di informazione principali:

a) La nuvola di punti, ideale fonte di informazione geometrica per tutte le superfici esterne e diverse superfici interne

b) I disegni tecnici originali, complementari nel definire alcune superfici interne ed essenziali per la conoscenza delle stratigrafie delle componenti edilizie

Al fine di ottimizzare al meglio la modellazione e massimizzare LOD e LOR, è stato messo a punto il seguente *workflow*, caratterizzato da sette fasi ed alcuni processi iterativi:

1) Studio approfondito dei disegni tecnici d'archivio
2) Modellazione in Revit con metodo Scan-to-BIM
3) Individuazione degli elementi architettonici "non parametrici"e disegno degli stessi in CAD
4) Modellazione dei componenti architettonici "non parametrici" con impiego del CAD a supporto
5) Caratterizzazione dei materiali e delle stratigrafie sulla base dei documenti d'archivio e dei sopralluoghi *in situ*
6) Processo iterativo di controllo e verifica tra la documentazione d'archivio e i dati del rilievo
7) Controllo finale sull'affidabilità e la qualità dei dati BIM

4.4.2.3 Highlights modellazione

Sebbene la Centrale Termica Olivetti presenti tutte le imperfezioni di un manufatto realizzato in opera con tecniche semiartigianali, le sue geometrie rimangono comunque più regolari di edifici storici che hanno subito lunghi processi di trasformazione; tale caratteristica ha reso più semplice la sua modellazione nell'ambiente software di Autodesk Revit, che ricordiamo essere stato sviluppato inizialmente per modelli BIM di nuovi fabbricati.

Nel corso del processo di modellazione dell'edificio sono stati impiegati diversi strumenti messi a disposizione del software Autodesk Revit. Di seguito si riportano alcuni punti di interesse della modellazione:

a) Per la creazione della superficie topografica è stata utilizzata una funzione di Revit che consente di utilizzare un file di testo contenente un insieme di punti geolocalizzati per l'individuazione automatica della superficie; i punti impiegati sono quelli ricavati dal processo fotogrammetrico che ha visto l'impiego delle immagini UAV.

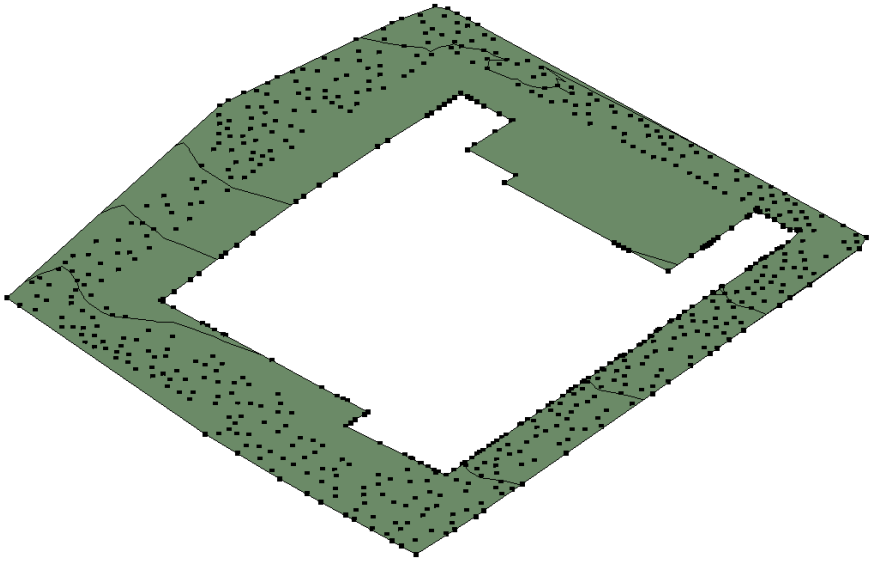


Figura 4.4-8: La base topografica ricavata dalla nuvola di punti UAV

b) Dopo l'inserimento della nuvola di punti, è stato fondamentale il posizionamento degli elementi di disegno "Griglia" e "Linee di livello", che hanno consentito di determinare i punti di riferimento per il posizionamento di travi e solai.

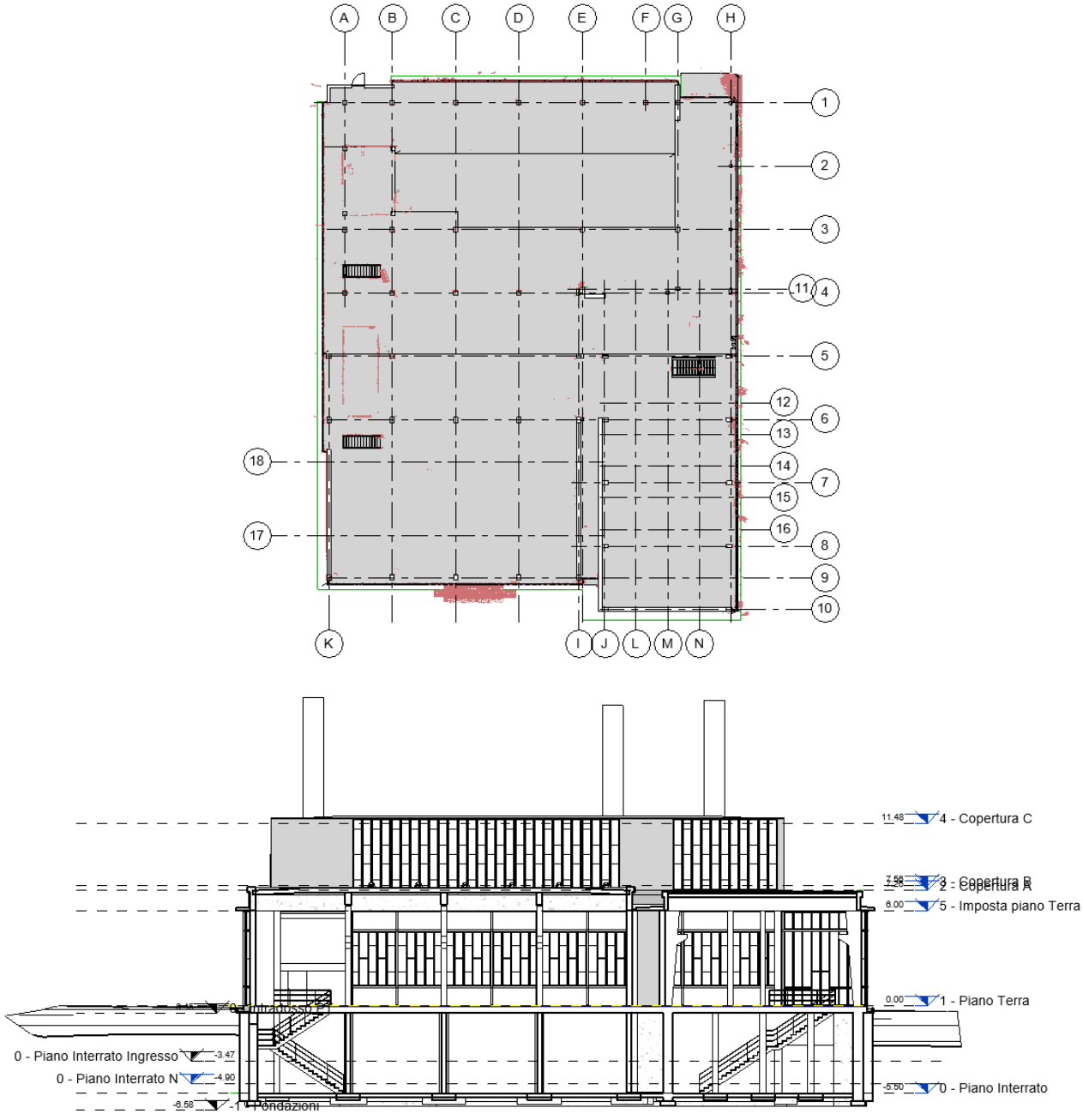


Figura 4.4-9: Disegno delle linee di Livello sulla base del rilievo e dei documenti di archivio

c) Per la modellazione di tutte quelle componenti edilizie che non presentavano particolari forme geometriche (muri, solai, pilastri, coperture), sono state utilizzate le famiglie di sistema già presenti nella libreria Revit, opportunamente modificate o integrate nelle loro stratigrafie.

d) Per le componenti edilizie più complesse, come gli infissi o i pilastri carroponte, è stata adottata la strategia della modellazione *in situ*, supportata dall'import di dettagli CAD per conseguire la massima precisione.

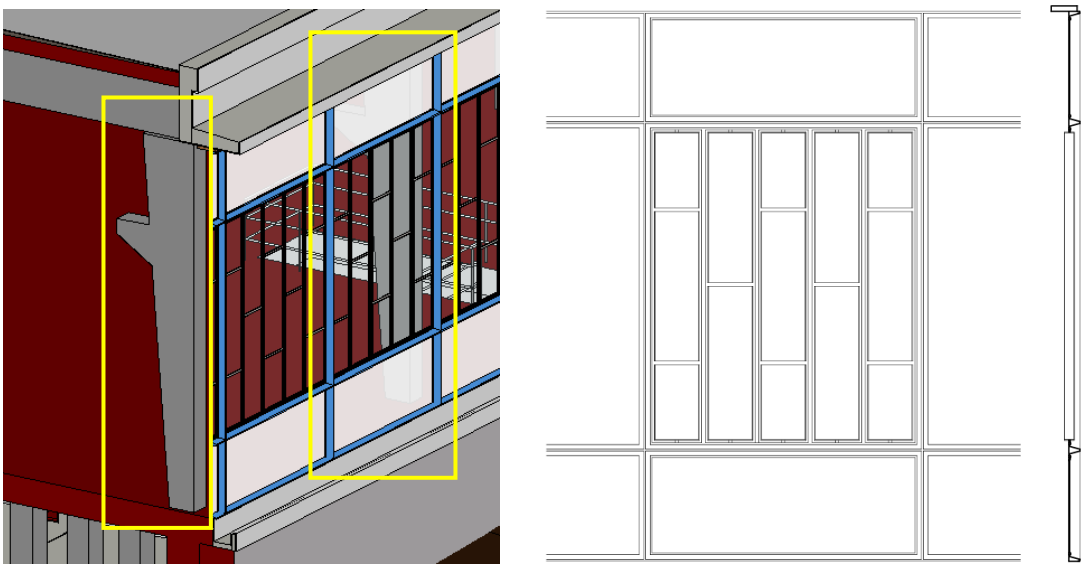


Figura 4.4-11: Sulla sinistra due elementi modellati in situ (pilastro e infisso); sulla destra dettaglio CAD dell'infisso esistente, propedeutico alla modellazione

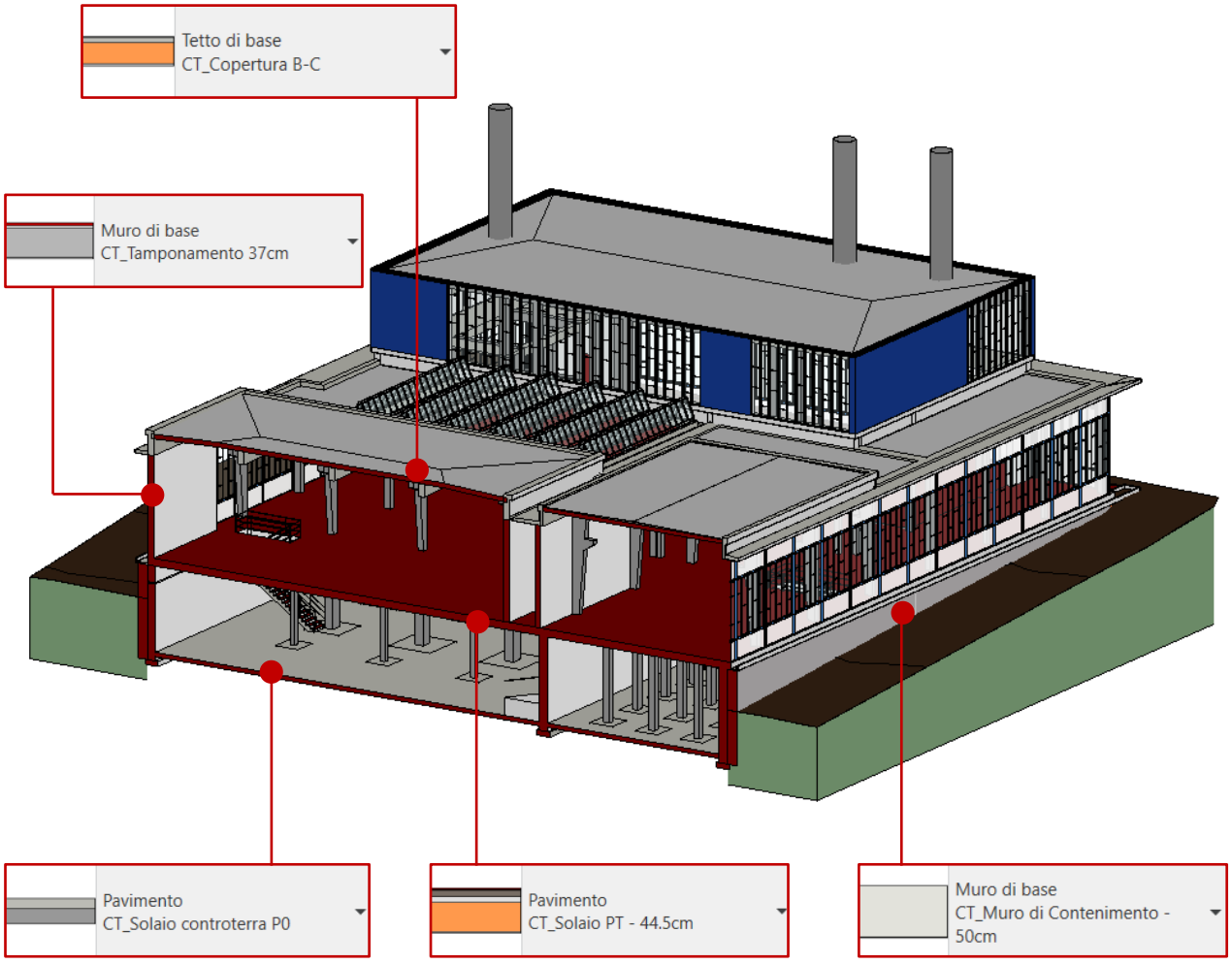


Figura 4.4-12: Impiego delle famiglie di sistema nella modellazione

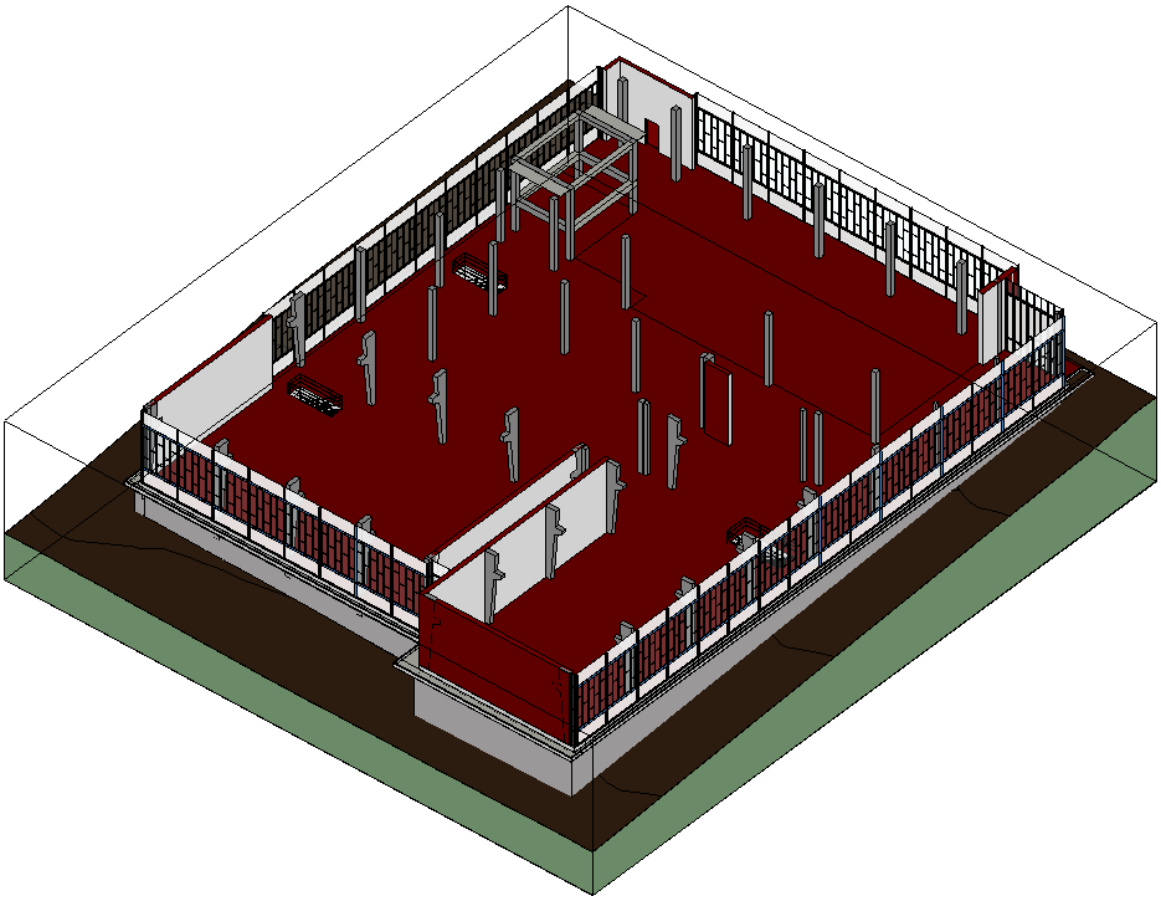


Figura 4.4-14: H-BIM Centrale termica, piano terra

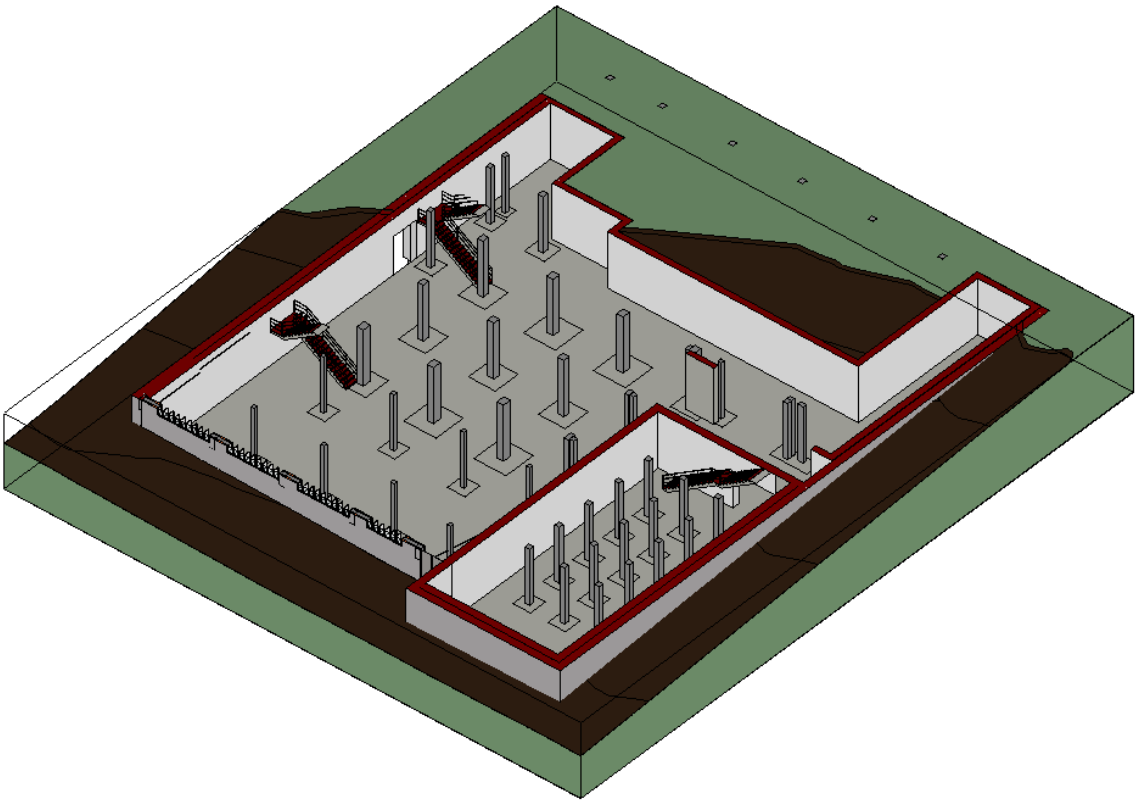


Figura 4.4-13: H-BIM Centrale termica, piano interrato

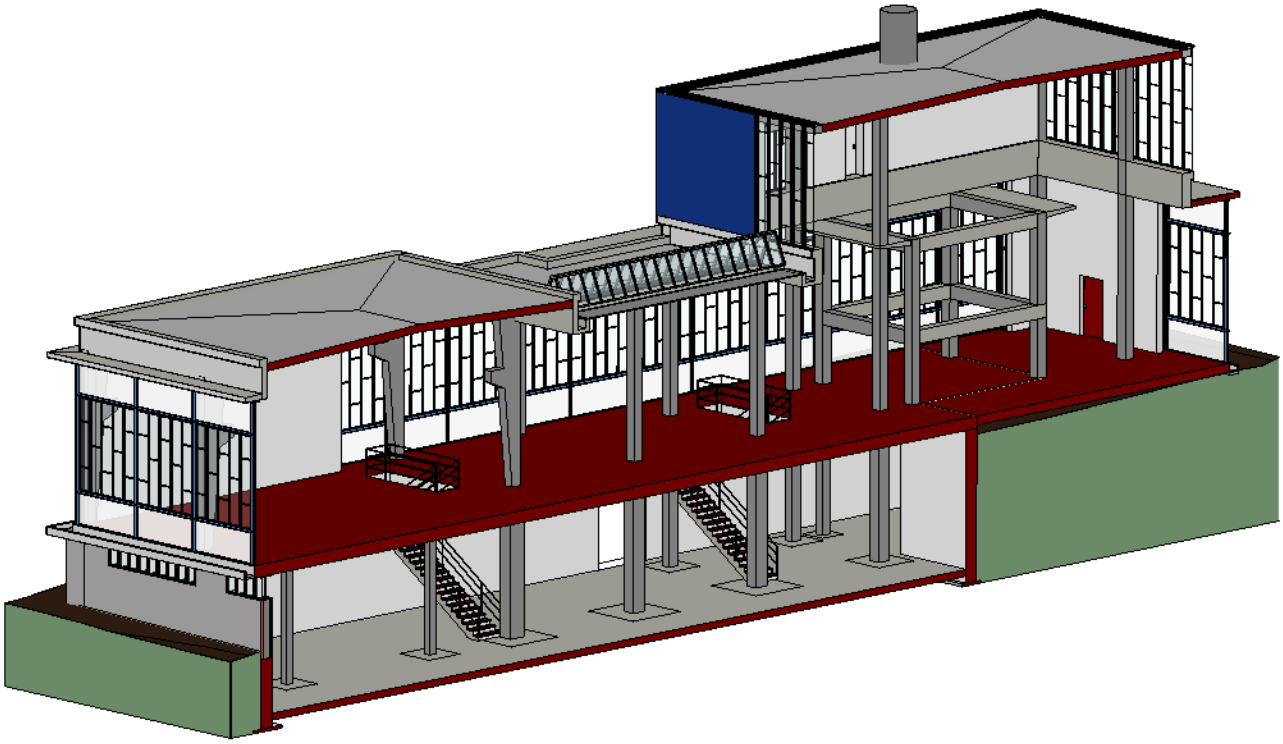


Figura 4.4-15: H-BIM Centrale termica, sezione longitudinale

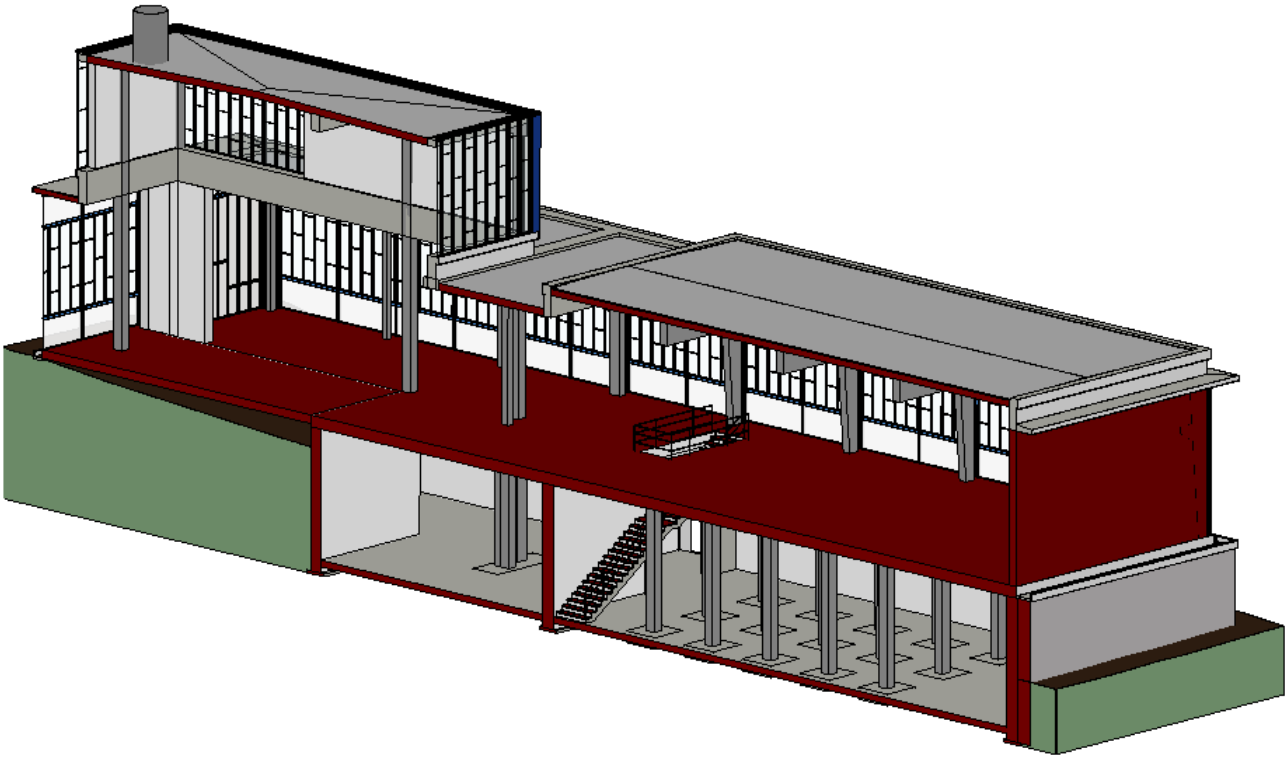


Figura 4.4-16: H-BIM Centrale termica, sezione longitudinale

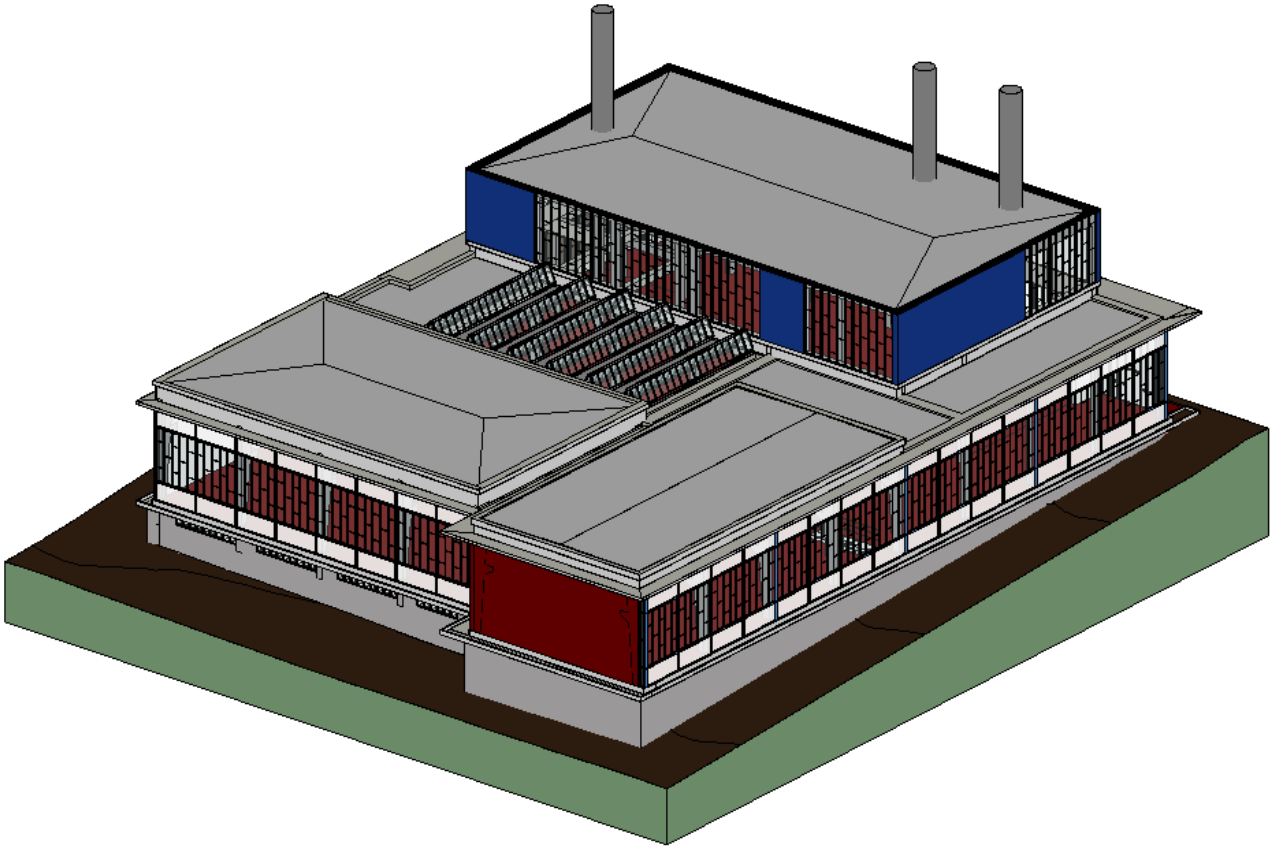


Figura 4.4-17: H-BIM Centrale termica, vista 3D assonometrica

4.4.3 Risultati della modellazione

4.4.3.1 Level of Reliability (LOR)

Come visto in precedenza, l'indicatore LoR si costituisce di due componenti, il *Level of Accuracy*, e il *Level of Quality*.

Il ***Level of Accuracy*** (LoA) è stato valutato sulla base di un'analisi di *Face Deviation*, ovvero determinando la distanza che sussiste tra le superfici del modello e i punti della nuvola. Attraverso l'utilizzo di Autodesk Point Layout è stato quindi possibile generare le mappe di *Face Deviation* che mostrano la coerenza modello-nuvola mediante un gradiente di colori. Si noti che questo tipo di analisi è stata condotta solamente per le superfici esterne dell'edificio – e quindi per i quattro prospetti – essendo il rilievo stato fatto solamente dall'esterno.

Osservando i risultati dell'analisi si può notare come la maggior parte delle superfici, sia opache che trasparenti, si discosti non più di 2 centimetri dalla nuvola di punti, confermando la generale bontà della modellazione. Sussistono tuttavia dei casi dove questo errore aumenta sino ai 5 centimetri, come nel caso dei cordoli delle coperture e più in generale per le parti superiori dell'edificio, che ricordiamo essere state rilevate mediante drone e quindi soggette ad errori superiori. Tenendo in considerazione tali osservazioni, si ritiene di poter attribuire al modello un **Level of Accuracy "Alto"** per le strutture fuori terra.

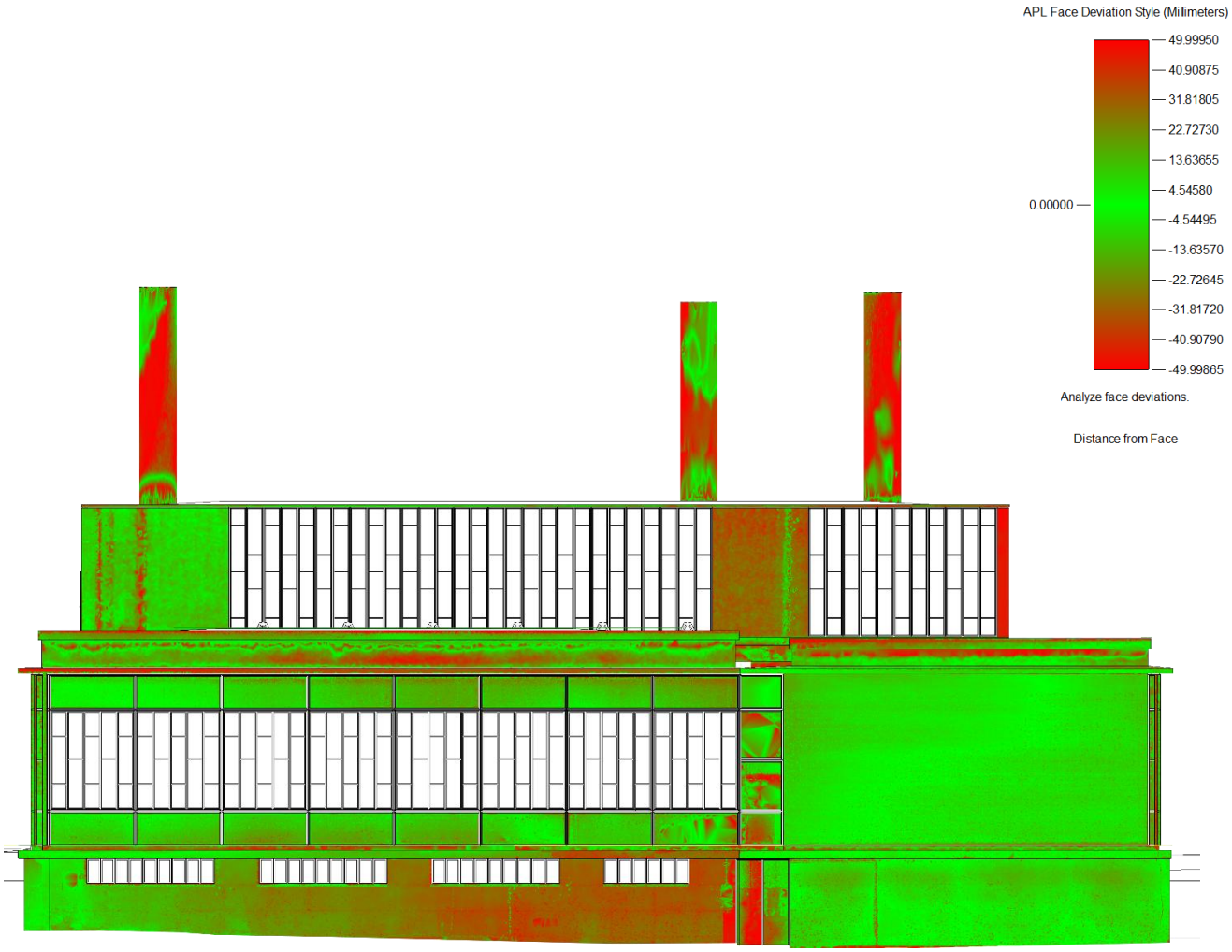


Figura 4.4-18: Face deviation prospetto sud

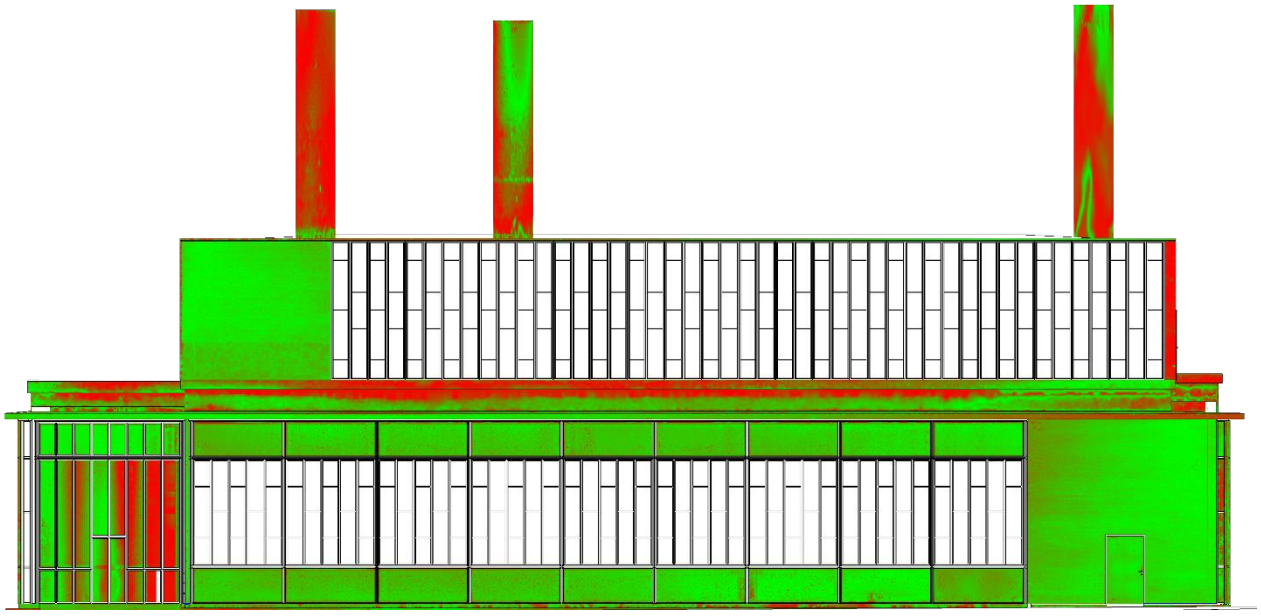


Figura 4.4-21: Face deviation prospetto nord

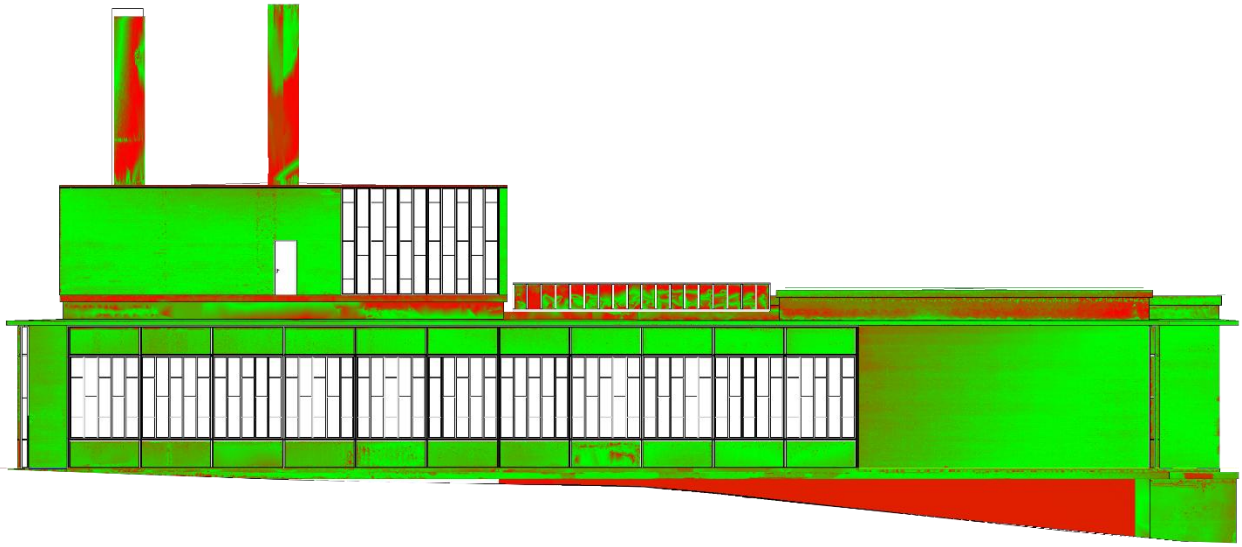


Figura 4.4-21: Face deviation prospetto ovest

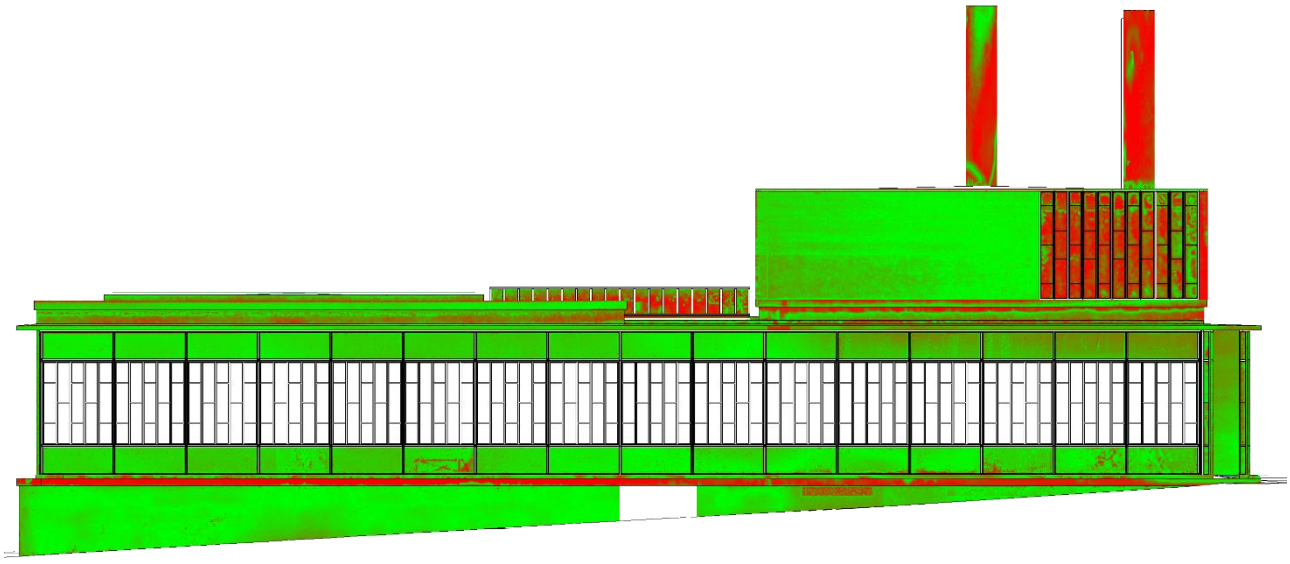


Figura 4.4-21: Face deviation prospetto est

Per la **determinazione del *Level of Quality* (LoQ)** occorre invece fare considerazioni diverse. La definizione di questo livello dipende strettamente dal tipo di fonti che sono state utilizzate per determinare stratigrafie e tecniche costruttive, e quindi dal grado di conoscenza della struttura stessa. Grazie al supporto dell'Archivio Storico Olivetti, è stato possibile accedere e consultare i disegni tecnici che sono stati redatti durante le varie fasi di progettazione e realizzazione, una fonte primaria di eccezionale valore. Sebbene quindi non sia stato possibile, eseguire prove distruttive e non per la determinazione delle stratigrafie degli elementi costruttivi, la completezza della documentazione archivistica ha consentito di determinare con un certo grado di sicurezza la composizione delle strutture di tutto l'edificio. Per tali ragioni si ritiene di poter attribuire a tutti gli elementi modellati un ***Level of Quality* "Medio"**.

4.4.4 Conclusioni

Lo scopo della modellazione BIM della Centrale Termica è stato quello di aumentare il grado di conoscenza relativo a tale edificio e di ottimizzare futuri interventi di manutenzione e/o trasformazione dell'edificio stesso, attraverso una modellazione il più fedele possibile di tipo *"As-Built"*.

La precisa modellazione geometrica, il dettaglio delle stratigrafie e delle caratteristiche dei materiali da costruzione hanno permesso di raggiungere i requisiti previsti dalla UNI 11227-4:2017 per il LOD "D". L'analisi sul LOR condotta nel paragrafo precedente ha infine messo in luce una "elevata" affidabilità geometrica e una "media" qualità del dato.

Oltre alle entità geometriche modellate e alle informazioni di tipo stratigrafico, all'interno del modello è presente anche la nuvola di punti impiegata per la modellazione e le ortofoto dei prospetti generate dal processo di fotogrammetria terrestre visto al cap. 4.3.4. Queste consentiranno al futuro utilizzatore di verificare la bontà della modellazione e allo stesso tempo di avere informazioni aggiuntive sulle facciate della Centrale Termica, come ad esempio quelle che riguardano i processi di degrado e alterazione in essere.

Naturalmente il modello presenta le criticità e aree di miglioramento che abbiamo visto in precedenza. Come sappiamo, il livello di dettaglio, affidabilità e qualità della modellazione del piano interrato è inferiore rispetto al resto del modello, essendo basata quasi esclusivamente sulle documentazioni d'archivio. Per aumentare significativamente il grado di conoscenza e lo sviluppo del modello sarà quindi necessario eseguire anche un sopralluogo interno all'edificio, che ne indaghi le geometrie, le strutture ed il suo stato di conservazione.

4.4.5 Sviluppi futuri

L'integrazione dei modelli HBIM con informazioni rielaborate da Intelligenza Artificiale rappresenta oggi la frontiera della manutenzione programmata, la quale passa da una logica di tipo reattiva a quella predittiva. All'interno di questo contesto di ricerca, le immagini iperspettrali possono rappresentare un dato informativo fondamentale: superando i limiti dello spettro visibile (RGB), questa tecnologia permette infatti di identificare degradi e alterazioni di varia natura attraverso le loro "firme spettrali". Fotografando nel tempo gli edifici storici oggetto dell'analisi sarà quindi possibile identificare in modo automatizzato il degrado, inserire il dato informativo all'interno del modello HBIM ed infine tenere traccia dell'evoluzione stessa dei fenomeni in essere, dotando il progettista di un gemello digitale aggiornato e affidabile.

L'implementazione di tali informazioni altamente complesse all'interno di un modello HBIM richiede tuttavia una struttura logica del modello adatta, affidabile e condivisa. Il rischio sarebbe infatti quello di avere un gran numero di informazioni senza riuscire tuttavia ad estrapolarle e metterle a sistema, con un modello HBIM inefficiente. Diversi ricercatori hanno rivolto i propri sforzi negli ultimi anni attorno a questo tema di ricerca: tra questi vi è il progetto MAIN10ANCE del Politecnico di Torino.

Il progetto MAIN10ANCE[153] è consistito nel creare un *framework* e *workflow* attorno al quale realizzare modelli digitali di manufatti storici orientati alla manutenzione predittiva e facilmente ispezionabili dalle numerose professionalità coinvolte in un progetto di restauro. In particolare vi è l'implementazione, all'interno della scala di dettaglio americana dei modelli BIM, del LOD 5: un livello prettamente informativo/alfanumerico che consente di contenere i dati tabulari relativi ai piani di manutenzione, rendendo il modello interattivo dal punto di vista della manutenzione. Grazie a questa piattaforma è possibile, ad esempio, programmare le attività di manutenzione attraverso matrici di priorità, le quali consentono di ottimizzare le risorse e guidare gli interventi dei diversi attori (restauratori, artigiani, enti pubblici e gestori).

Nuove campagne di indagine iperspettrale e l'implementazione dei risultati mediante il protocollo MAIN10ANCE rappresentano la naturale evoluzione del lavoro di modellazione HBIM fin qui condotto per la Centrale Termica Olivetti.

[153] MATRONE et al. 2023.

5 Il progetto

5.1 Un metodo per il Progetto

Il progetto nasce dalla volontà di offrire una prospettiva di recupero e riuso ad una delle architetture più interessanti del patrimonio costruito olivettiano: la Centrale Termica Olivetti. Nonostante il suo valore, è un edificio che non è stato interessato da progetti di rifunzionalizzazione, a differenza di quanto accaduto per le Officine ICO, il Centro Servizi Sociali e la scuola di Borgo Olivetti. Una struttura che, sebbene sia dismessa da tempo, si presenta con un discreto grado di conservazione e un grande potenziale di recupero grazie alle sue generose volumetrie, alla bellezza della sua pelle trasparente e mediterranea e la luminosità dei suoi interni. A ciò si aggiunge la centralità all'interno del Sito UNESCO e la prossimità al Museo Tecnologic@mente, elementi che ne rafforzano il potenziale pubblico.

La buona riuscita dell'intervento non dipende solo dalla qualità della soluzione architettonica proposta, ma anche da una convergenza di molteplici fattori quali:

- l'interesse della comunità e l'individuazione di un mix funzionale valido;
- la fattibilità tecnica ed economica degli interventi;
- la compatibilità delle nuove funzioni con l'infrastruttura esistente;
- la salvaguardia dell'identità formale e materica dell'opera;
- l'adeguamento ai requisiti prestazionali contemporanei.

Consapevoli di tale complessità, si è data massima rilevanza alla fase conoscitiva. Come affrontato nei capitoli precedenti, la ricerca è partita dall'analisi della storia eporediese, con particolare attenzione alla straordinaria e poliedrica esperienza olivettiana, per coglierne il profondo *genius loci*. Questa indagine dal taglio teorico è stata successivamente integrata da una indagine sul campo, attraverso il dialogo con fondazioni e associazioni afferenti all'esperienza della Olivetti, custodi ancora oggi della sua eredità immateriale.

Successivamente, il focus si è spostato sulla Centrale Termica ed il suo progettista, Eduardo Vittoria. La vita e le opere dell'architetto napoletano sono state analizzate al fine di ricostruirne il pensiero progettuale. La geometria e lo stato di fatto dell'edificio sono state indagati con un alto livello di approfondimento, grazie ad un rilievo condotto con le più avanzate tecnologie e a una ricerca archivistica mirata allo studio dei dettagli costruttivi dell'edificio.

Su queste solide fondamenta è stata elaborata una proposta progettuale che fosse coerente con la storia del manufatto e, altresì, concreta nel rispondere alle esigenze e interessi della comunità. Il progetto ha dovuto conciliare la tutela dell'immagine e delle volumetrie esistenti con le necessità funzionali delle nuove attività. All'interno di questo processo sono stati anche trattati in forma semplificata i temi energetico-impiantistici e strutturali, per far sì che il progetto architettonico e di tutela dell'edificio procedesse in simbiosi con i nuovi requisiti prestazionali, diventati più severi sia per la naturale evoluzione normativa, sia per i cambi di destinazione d'uso previsti.

Questo approccio al progetto altamente interdisciplinare ha portato allo sviluppo di:

- un modello HBIM finalizzato alla gestione e manutenzione dell'esistente (cap. 4.4);
- un'analisi dello stato di degrado delle facciate con relative proposte di intervento;
- un progetto architettonico di rifunzionalizzazione;
- valutazioni preliminari nei campi dell'impiantistica e delle strutture;
- approfondimenti tecnici e dettagli costruttivi sino alla scala 1:5.

5.2 Degrado e alterazioni in facciata: proposte di intervento

La Centrale Termica Olivetti presenta tutti i problemi che possono colpire un edificio realizzato con materiali innovativi, sottoposto a oltre trent'anni di utilizzo industriale, ai quali ne sono seguiti altrettanti di abbandono e incuria. Un progetto di recupero e rifunzionalizzazione di questo edificio deve porsi anzitutto il tema della conservazione della sua immagine, fortemente minacciata da diversi processi di degrado in atto da tempo. Per questo motivo si è deciso di condurre un'analisi dei degradi e delle alterazioni in essere, seguendo una metodologia condivisa dalla letteratura scientifica, cercando di stabilirne la natura e le cause, arrivando infine a formulare delle strategie di intervento coerenti con l'approccio al restauro del moderno visto al cap. 3.8.

Data la centralità del progetto architettonico all'interno di questa tesi, si è ritenuto accettabile ridurre il campo di analisi ad una sola delle quattro facciate dell'edificio, dando priorità all'applicazione di una metodologia di analisi e intervento rispetto alla completezza quantitativa dello studio. Il prospetto che verrà presso in esame è quello sud, una scelta motivata dall'estesa presenza di tutti i materiali di rivestimento, una maggiore qualità degli elaborati fotogrammetrici e l'eterogeneità dei fenomeni di degrado e alterazione in essere.

Dalle risultanze dell'analisi svolta nei capitoli precedenti, è stato quindi possibile avanzare delle ipotesi di intervento. Il criterio che ne ha guidato la formulazione è stato quello del ripristino dell'integrità formale dell'edificio, un principio che è diventato prassi nell'ambito del recupero del moderno. L'identificazione delle singole azioni manutentive e di ripristino ha seguito esempi noti dalla letteratura di riferimento, così come la verifica della loro fattibilità e adeguatezza da parte dei relatori di questa tesi, dotati di ampia esperienza professionale nel settore del restauro e del recupero del moderno.

LEGENDA DEI DEGRADI E DELLE ALTERAZIONI

NorMal UNI 11182/2006

Fessurazione

Colonizzazione Biologica

Macchia

Macchia da ossidi

Mancanza

Ossidazione

Fronte di risalita

Sostituzione impropria

Degrado antropico: graffito vandalico

Erosione per abrasione

Pittura incoerente (su graniglia)

Pittura incoerente (su mosaico)

MATERIALE	DEGRADO (UNI 11182:2006)	CAUSE	INTERVENTI NECESSARI
Graniglia	**Degrado antropico: applicazione di pittura incoerente.**	Approccio manutentivo errato dal punto di vista della conservazione verificatosi probabilmente nel tentativo di restituire vivacità al rivestimento.	Decapaggio chimico della pittura incoerente tramite sverniciatore in gel e successivo lavaggio con acqua a bassa pressione, assicurando la completa asportazione dei residui senza alterare la rugosità superficiale o la struttura del legante cementizio originale del rivestimento in graniglia
	Esfoliazione* Degradazione che si manifesta con distacco, spesso seguito da caduta, di uno o più strati superficiali subparalleli tra loro (sfoglie).	Scarsa adesione agli inerti che caratterizzano la graniglia. Dilavamento. Indebolimento dovuto a cicli di evaporazione dell'umidità, anche coadiuvati dalla formazione di efflorescenze.	Vedi intervento per "Degrado antropico: applicazione di pittura incoerente"
	Degrado antropico: graffito vandalico.	Apposizione indesiderata sulla superficie di vernici colorate.	Se dovesse risultare inefficace l'intervento già operato per la rimozione della pittura incoerente, valutare la pulizia del graffito mediante impacchi con solventi a base di tensioattivi biodegradabili, evitando in ogni caso l'impiego di soluzioni acide, lesive per la componente marmorea del rivestimento. Soluzione da confermare in base alla natura della pittura.
	Fessurazione Degradazione che si manifesta con la formazione di soluzioni di continuità nel materiale e che può implicare lo spostamento reciproco delle parti.	Principalmente dovuta all'esposizione a sud e all'assenza di aggetti in grado di proiettare ombre, portando alla dilatazione termica del supporto in muratura e della stessa graniglia, con la formazione di giunti termici "naturali" con un passo piuttosto regolare di circa 2 metri. Tra le cause secondarie vi sono: (I) ipotetico fenomeno di dissesto del paramento murario non strutturale (evidente sull'angolo ad est); (II) cicli di gelo/disgelo favoriti da una scarsa protezione alle piogge.	Verifica della tenuta del rivestimento in graniglia nell'intorno della fessurazione, con eventuali iniezioni retro-corticali di resine dalle proprietà chimiche ed elastiche compatibili con i materiali in opera, per ripristinare un'ottimale adesione alla muratura. Stuccatura delle fessurazioni mediante malte cementizie a tono.
	Colonizzazione biologica. Presenza riscontrabile macroscopicamente di micro e/o macrorganismi (alghe, funghi, licheni, muschi, piante superiori).	Si concentra nell'angolo Ovest della facciata, dove è evidente la presenza di una forte infiltrazione d'acqua nella muratura. Poiché essa coincide anche con il posizionamento di uno dei pluviali annegati nei pilastri, si ipotizza una rottura dell'elemento con conseguente dispersione dell'acqua meteorica nella muratura sottostante.	Impiego di prodotti biocidi a largo spettro operando anche una rimozione meccanica con spazzole morbide qualora si rendesse necessario. Bonifica da ripetere a distanza di 2 settimane per eliminazione di spore residue.
	Macchia (I) Alterazione che si manifesta con pigmentazione accidentale e localizzata della superficie; è correlata alla presenza di materiale estraneo al substrato (per esempio ruggine, sali di rame, sostanze organiche, vernici).	Macchie da depositi di ossidi di ferro: fenomeno causato dalla presenza di elementi in ferro, quali tubazioni e scossaline, i cui prodotti dell'ossidazione vengono depositati per dilavamento sul rivestimento in graniglia sottostante.	Rimozione delle macchie da ossidazione mediante impacchi estrattivi in polpa di cellulosa additivata con agenti chelanti (EDTA); l'azione sequestrante consente l'asportazione selettiva dei depositi di ossidi di ferro senza aggredire la matrice cementizia o la componente marmorea del rivestimento originale. Alternativamente applicare impacchi di gel con acido orto-fosforico e successiva neutralizzazione basica con tampone e pulitura con acqua de-ionizzata a bassa pressione, per la conversione degli ossidi in sali trasparenti.
	Macchia (II)	Macchie dovute all'azione di dilavamento concentratasi nei punti dove la pensilina in aggetto risulta maggiormente danneggiata o in corrispondenza dei canali di scolo della pensilina/fioriera. Si ipotizza che l'azione di dilavamento abbia portato a un degrado differenziale la pittura incoerente applicata sulla graniglia, altresì non si può escludere che anche la pittura incoerente applicata sulle tesserine in clinker della pensilina, degradata a sua volta, si sia depositata dopo processi di alterazione chimico-fisica ai	Detergenza delle macchie mediante lavaggi con soluzioni a base di tensioattivi neutri; l'intervento è finalizzato alla rimozione dei depositi atmosferici e incoerenti. Alternativamente applicazione a coprenza crescente di pittura tono su tono.

		bordi dell'area dilavata, contribuendo alla formazione di macchie dall'aspetto frastagliato.	
	Mancanza. Caduta e perdita di parti.	Le mancanze del rivestimento in graniglia sono principalmente ascrivibili alla perdita di adesione tra lo strato di rivestimento e quello di supporto. Nei primi centimetri da terra la risalita di umidità e la sua evaporazione hanno compromesso nel tempo la tenuta chimico-fisica dell'impasto cementizio, anche a causa di piccoli fenomeni di efflorescenza. Alla sinistra dell'ingresso al seminterrato è ben evidente un'importante mancanza di graniglia, determinata con ogni probabilità da sollecitazioni meccaniche dovute all'utilizzo della porta così come al tipo di substrato, in questo caso cementizio, in grado di offrire una minore adesione meccanica.	Al termine delle precedenti operazioni di pulizia si prevede di procedere con il ripristino delle mancanze del rivestimento in graniglia. Questo dovrà essere eseguito operando in prima istanza una campionatura della composizione chimico-fisica del legante cementizio e dei frammenti di marmo dell'impasto. Si procederà quindi in seguito alla riproduzione dell'impasto in graniglia secondo i parametri ricavati dalle indagini, al fine di ottenere un ripristino del rivestimento metodologicamente e formalmente coerente.
	Fronte di risalita umidità. Limite di mitigazione dell'acqua che si manifesta con la formazione di efflorescenze e/o perdita di materiale. È generalmente accompagnato da variazioni della saturazione del colore nella zona sottostante.	Si manifesta entro il primo metro da terra ed è naturalmente causato dal contatto della muratura con il terreno e dalla sua continuità fisica, favorendo la risalita per capillarità. Favorito anche dalla natura porosa dei materiali soggetti al fenomeno, con un substrato realizzato in mattoni semi-forati e una finitura a base cementizia.	Operare una pulizia delle macchie conseguenti la risalita di umidità secondo i seguenti passaggi: (I) lavaggio con acqua deionizzata a bassa pressione, (II) impacchi estrattivi con sepiolite e acqua distillata. Per contrastare il fenomeno della risalita dell'umidità si prevede, congiuntamente con l'installazione dei nuovi infissi previsti da progetto architettonico, la formazione di fori di aerazione alla base dei nuovi infissi al fine di dissipare l'umidità di risalita sfruttando l'intercapedine esistente del muro a "cassavuota".
	Erosione per abrasione. Asportazione di materiale dalla superficie dovuta a processi di natura diversa.	Data la conformazione delle abrasioni e il loro concentrarsi in prossimità dell'accesso al seminterrato, si ritiene che le cause siano di natura meccanica, dovute ad azioni abrasive verificatesi durante fasi di lavorazione o stoccaggio materiali.	Da valutare la necessità di un intervento di ripristino a valle degli interventi di pulitura previsti. Se dovessero rimanere evidenti le erosioni si prevedrebbe l'applicazione di una boiacca cementizia pigmentata data a spatola e poi parzialmente rimossa al fine di saturare esclusivamente le microporosità della superficie.
Tesserine mosaico	**Degrado antropico: applicazione di pittura incoerente.**	Approccio manutentivo errato dal punto di vista della conservazione verificatosi probabilmente nel tentativo di restituire vivacità al rivestimento.	Rimozione della pittura incoerente tramite indebolimento della stessa con vapore saturo a 60°- 70° e successiva spazzolatura meccanica da operarsi con filamenti in nylon o saggina, evitando categoricamente l'impiego di spazzole metalliche, al fine di preservare lo strato superficiale delle tessere.
	Fessurazione. Degradazione che si manifesta con la formazione di soluzioni di continuità nel materiale e che può implicare lo spostamento reciproco delle parti.	L'ossidazione delle armature e la loro espansione in termini volumetrici causa deformazioni del copriferro in calcestruzzo fino alla sua espulsione, determinando dapprima la formazione di fessurazioni nel rivestimento mosaicato e successivamente la sua espulsione. Alternativamente si verifica in corrispondenza di grandi sporgenze della pensilina cementizia, la quale è andata incontro a deformazioni plastiche che hanno causato la formazione di fessure nel rivestimento in mosaico, in corrispondenza della cerniera plastica. L'ultima dinamica vede il degrado della malta di posa delle tesserine, tendenzialmente ascrivibile a infiltrazioni d'acqua.	Verificare la corretta adesione al substrato cementizio. Se l'adesione risulta parzialmente compromessa procedere, a seconda della gravità del caso, o con l'iniezione di una resina epossidica o con l'intervento previsto per il degrado di tipo "Mancanza". Per correggere il difetto estetico dato dalla fessurazione, procedere con una stuccatura della stessa mediante malta cementizia con colore campionato su quello originale.
	Macchia. Alterazione che si manifesta con pigmentazione accidentale e localizzata della superficie; è	Macchie da depositi di ossidi di ferro: fenomeno causato dalla presenza di elementi in ferro, quali tubazioni e scossaline, i cui prodotti dell'ossidazione vengono depositati per dilavamento sul rivestimento in mosaico.	Impacchi con gel di acido orto-fosforico per la conversione degli ossidi in fosfato ferrico (solubile); spazzolatura meccanica con elementi in nylon o saggina; successiva rimozione del gel e neutralizzazione acidità con

	correlata alla presenza di materiale estraneo al substrato (per esempio ruggine, sali di rame, sostanze organiche, vernici).		impacco basico per preservare i giunti in malta. L'intervento consente l'asportazione selettiva dei depositi ferrosi senza aggredire chimicamente la matrice cementizia o la finitura ceramica delle tesserine.
Piastrelle in clinker	**Mancanza.** Caduta e perdita di parti.	Fenomeno causato prevalentemente dal degrado del cordolo cementizio di supporto, con il distacco di intere porzioni di esso, comprese porzioni di rivestimento mosaicato. Ad esso si aggiunge l'azione di infiltrazione dell'acqua meteorica tra il substrato di supporto e il rivestimento, la quale in azione combinata con i cicli di gelo/disgelo compromette l'adesione delle tesserine al cordolo cementizio, causandone nel tempo il distacco.	La prima fase vede la verifica dell'adesione al substrato cementizio di tutte le porzioni di rivestimento in tesserine, con la rimozione controllata di tutte le parti che evidenziano segnali di distacco. La seconda fase vede la pulizia e il ripristino del substrato cementizio, impiegando malte cementizie a presa rapida e a ritiro compensato. La terza fase prevede il ripristino delle mancanze del rivestimento mediante l'impiego delle tesserine preservate originali oppure, laddove non fossero sufficienti, integrando con nuove tesserine di geometria e colorazione assimilabili alle originali.
	Mancanza. Caduta e perdita di parti.	Perdita di adesione della piastrella in clinker, attribuibile principalmente al degrado della malta di posa causato dall'esposizione agli agenti atmosferici. Nei punti angolari dei paramenti murari è attribuibile anche a fenomeni di espansione termica che hanno portato alla formazione di tensioni tali da compromettere la tenuta della piastrella al supporto murario.	Riproduzione delle piastrelle in clinker mediante analisi chimico-fisica dell'impasto e sperimentazione di tecnologie di stampa 3D o produzione artigianale. Posa delle piastrelle integrative con mappatura dell'intervento per garantirne la tracciabilità rispetto alla materia storica.
	Sostituzione impropria. Sostituzione dei materiali originali con nuovi materiali incoerenti in termini di composizione chimico-fisica distinguibili macroscopicamente.	In seguito alla caduta di alcune piastrelle in clinker, al fine di ripristinare il rivestimento, sono state impiegate piastrelle di formato e pigmentazione diverse, probabilmente provenienti dal vicino edificio dei servizi sociali.	Valutazione critica del valore storico-documentale delle piastrelle improprie provenienti da contesti olivettiani. Rimozione degli elementi incongrui e sostituzione secondo le prescrizioni indicate per la "Mancanza"
Ferro	**Ossidazione.** Creazione della patina di ossido di ferro.	Telaio infissi: dovuta al degrado della pittura di rivestimento e alla conseguente esposizione dei componenti metallici agli agenti atmosferici.	Decapaggio chimico e pulizia meccanica abrasiva dei telai metallici. Protezione anticorrosiva mediante *primer* epossidico ai fosfati di zinco e successiva verniciatura finale con smalto poliuretanico, ripristinando la cromia azzurra originale identificata durante le indagini stratigrafiche preliminari.
Calcestruzzo armato	**Mancanza** Caduta e perdita di parti.	La progressiva de-passivazione del calcestruzzo ne indebolisce la protezione nei confronti dell'ossidazione, portando nel tempo alla formazione di ossidi di ferro sulla superficie esterna delle barre in ferro, con in conseguente aumento di volume e l'espulsione del copriferro in calcestruzzo. Il fenomeno può essere facilitato da errori progettuali o in fase di esecuzione, che potrebbero aver portato a spessori di copriferro insufficienti.	Scasso e pulizia del calcestruzzo ammalorato lungo tutto lo sviluppo dell'ossidazione, messa a nudo dei tondini metallici tramite microsabbiatura, applicazione di boiacca cementizia passivante, ripristino del calcestruzzo mediante malta cementizia tissotropica fibrorinforzata a presa rapida e antiritiro, posa della finitura.

5.3 Il concept della rifunzionalizzazione: “La Centrale”

Dall’indagine sulla città di Ivrea è emerso il ritratto di una città che ha chiaramente accusato la perdita del suo più grande motore economico, sociale e culturale del ‘900, ma che ancora oggi conserva la sua eredità e si innova ripensando quel vuoto lasciato dalla “sua” azienda.

L’economia eporediese è ancora caratterizzata da una forte concentrazione di imprese nell’ambito dell’industria avanzata, dal comparto manifatturiero Hi-Tech a quello ICT/Software, consentendole di competere con realtà economiche ben più grandi come quella di Torino.

Il comparto dell’istruzione pubblica rimane uno dei più solidi di tutta la regione, con la presenza di una moltitudine di indirizzi offerti dai due licei e i due istituti tecnici presenti sul territorio, come testimoniato anche dal tasso di possesso del diploma ben superiore al dato regionale. Un *asset* educativo che attira studenti da tutta l’area del canavese e continua a crescere in termini di iscrizioni.

La riscoperta e valorizzazione del patrimonio architettonico, artistico e d’impresa è un processo tutt’ora in evoluzione ma che si è consolidato come un elemento di innovazione per la città di Ivrea. Il riconoscimento UNESCO avvenuto nel 2018 unito alle numerose mostre temporanee tenutesi presso il Museo Civico Garda a tema Olivetti e gli sforzi compiuti dalla Fondazione Natale Capellaro in ambito museale e didattico hanno portato a un raddoppio degli arrivi di turisti nel giro di dieci anni.

Ivrea non è esente dalle problematiche economiche e demografiche che interessano tutte le città di medie dimensioni, all’interno del contesto regionale e nazionale. Al grande calo demografico avvenuto in seguito alla chiusura della Olivetti ne è seguito uno più lento e strutturale. Il calo delle nascite e l’invecchiamento della popolazione porta ad avere più famiglie ma sempre più piccole. Il tessuto produttivo è frammentato e costituito per lo più da piccole imprese. L’offerta formativa dei licei e degli istituti tecnici sconta un ritardo strutturale dovuto alle politiche nazionali, faticando nel fornire i più avanzati strumenti ai suoi studenti.

Dalle interviste alle associazioni e fondazioni olivettiane emerge come la loro crescente attività debba fare i conti con una infrastruttura frammentata e sottodimensionata. Un limite di spazi e risorse che rischia di limitare la crescita di queste realtà e compromettere lo sviluppo culturale, turistico e didattico di Ivrea.

Da questo contesto nasce la proposta di **trasformare la ex Centrale Termica Olivetti in un grande polo culturale ad alto valore aggiunto per la sua società**. Per riprendere quel disegno di società che crede «nei valori spirituali, nei valori della scienza, crede nei valori dell'arte, della cultura […]»[154].

“La Centrale” del patrimonio Olivetti.

“La Centrale” per la formazione dei giovani.

“La Centrale” per la crescita del territorio.

L’ex Centrale Termica Olivetti diventa dunque “La Centrale”, reinterpretata in veste di un luogo dove **aggregare funzioni e attività delle due realtà più importanti** per la divulgazione della cultura olivettiana: **l’Associazione Archivio Storico Olivetti e la Fondazione Natale Capellaro**.

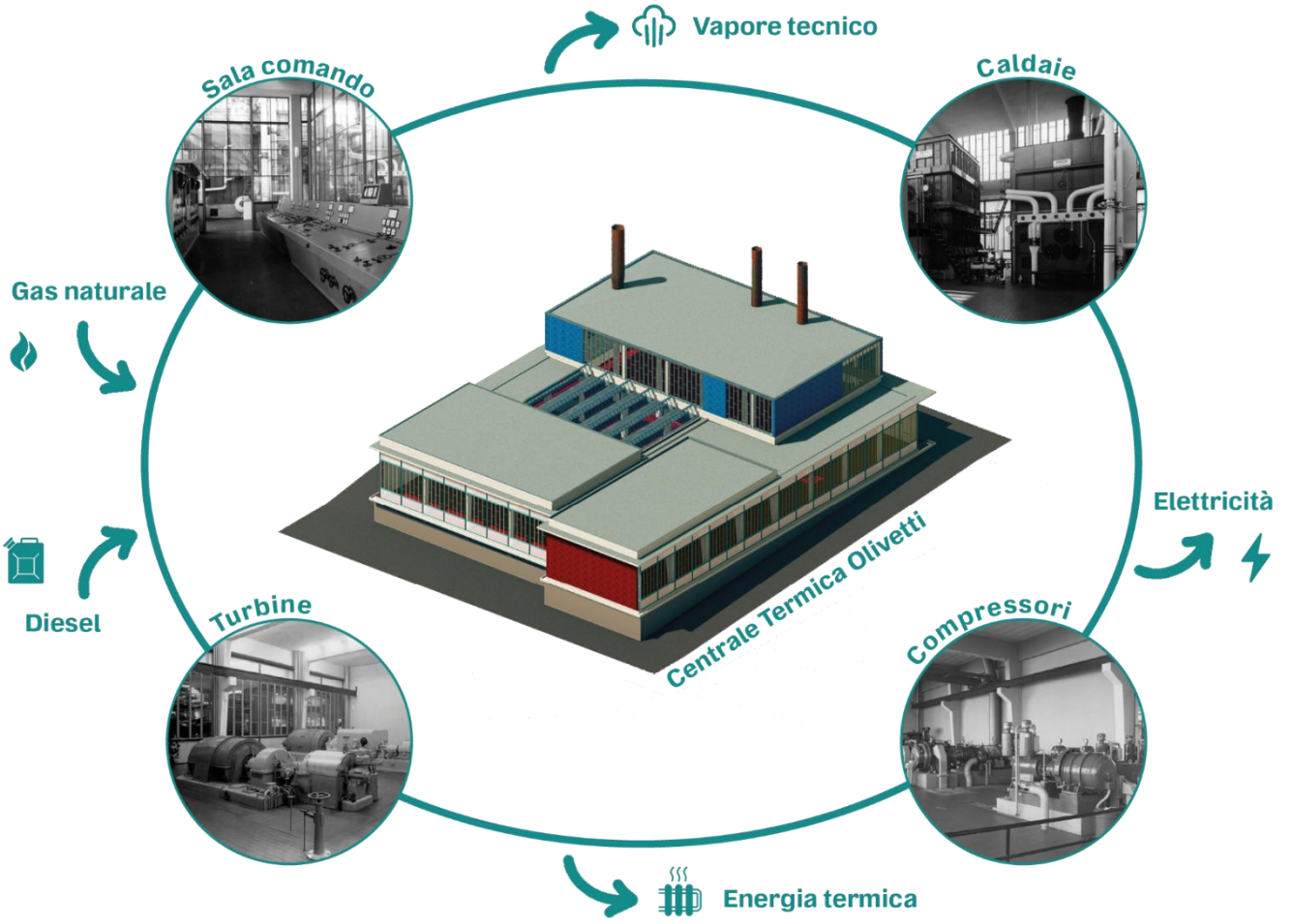
Il primo obiettivo che il progetto si propone di conseguire è quello di riunire il vasto patrimonio documentale conservato dall’Archivio Storico Olivetti in un’unica struttura in grado di garantire i più elevati standard conservativi. Ad oggi, infatti, gli oltre 7200 metri lineari di documentazione si trovano in quattro strutture diverse, di cui la metà fuori Ivrea, con alcune situazioni che hanno carattere di temporaneità. Riportare l’intero fondo archivistico a Ivrea non sarebbe quindi solo un atto simbolico, ma una concreta azione per la

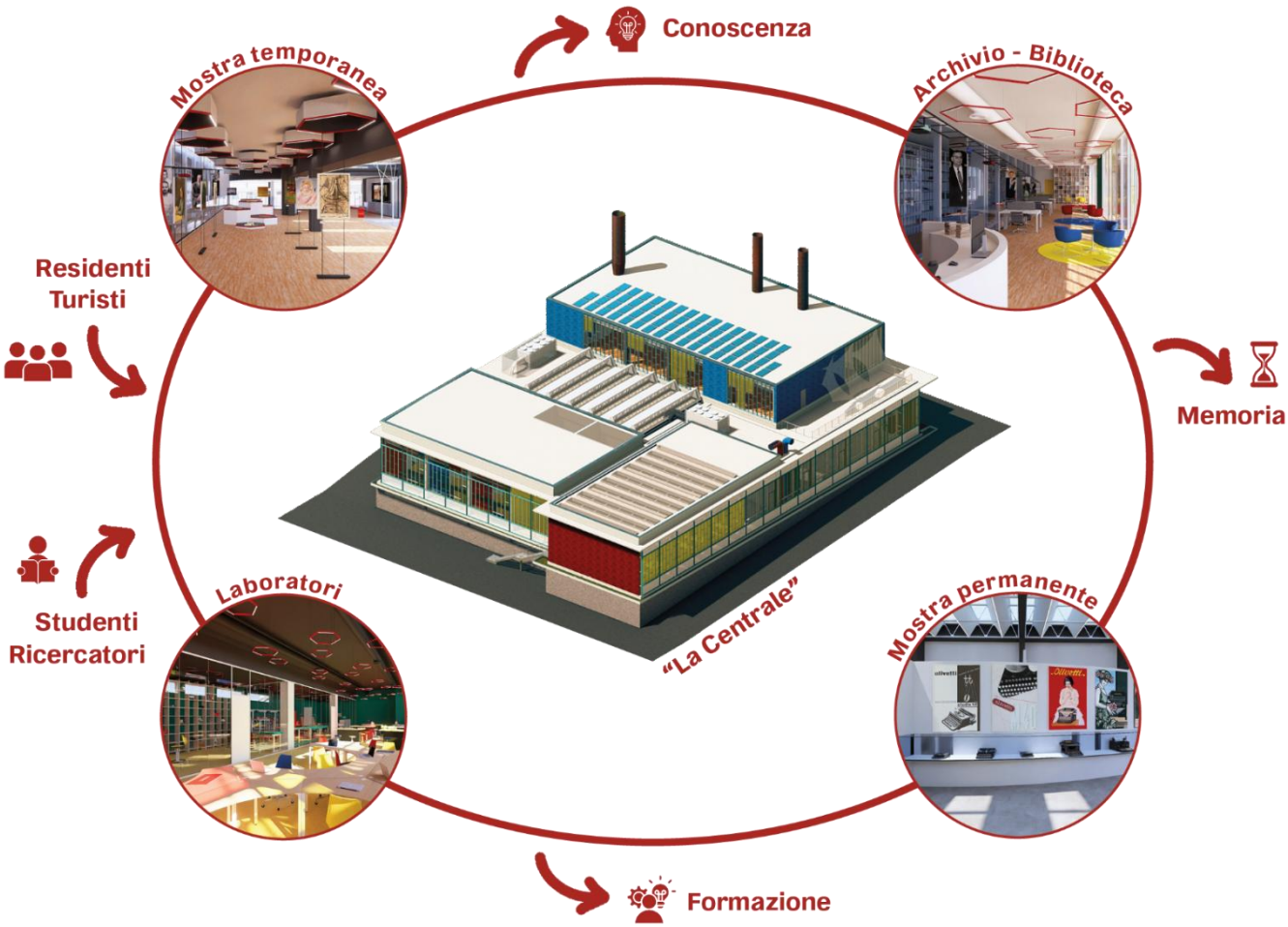
[154] OLIVETTI 2015, 218

sua conservazione e, in seconda istanza, per la sua divulgazione. Riavvicinare uffici amministrativi e fondo archivistico consentirebbe infatti di ridurre i tempi di accesso ai documenti, erogarne più rapidamente la consultazione ai ricercatori, conseguire una diffusa digitalizzazione del patrimonio grazie ai nuovi spazi dedicati al restauro. A supporto delle funzioni divulgative dell'Archivio Storico Olivetti vi è inoltre la progettazione di una biblioteca olivettiana aperta al pubblico, per rendere accessibili in uno spazio rinnovato e stimolante i 21.000 titoli ereditati da diversi centri culturali dell'azienda.

La seconda direttrice di sviluppo del progetto punta invece alla valorizzazione delle attività che già oggi vengono svolte dai volontari della Fondazione Natale Capellaro, ovvero quelle dei laboratori didattici e della musealizzazione dei prodotti Olivetti, ma che necessitano di un ulteriore salto di qualità, fino ad ora reso impossibile non certo per l'impegno dei volontari, che da vent'anni mettono impegno e passione, ma per via della ristrettezza di fondi. Ecco allora che, immaginando di avere a disposizione sufficienti risorse economiche, le ampie e luminose volumetrie de "La Centrale" diventano la dimora ideale di queste funzioni vitali per l'intero comparto culturale e didattico a tema Olivetti. Si tratta, nel concreto, dell'allestimento di una mostra permanente che accompagni il visitatore attraverso le diverse epoche della produzione Olivetti, dalla macchina per scrivere al personal computer, dal calcolo meccanico a quello elettronico. Parallelamente sono stati ricavati anche ampi spazi per le mostre temporanee, che potranno ospitare approfondimenti tematici legati alle innumerevoli ramificazioni dell'universo Olivetti, ma anche mostre culturali non necessariamente riconducibili alla produzione dell'azienda, riproponendo quella commistione tra macchine e arte che nel dopoguerra diventò un tratto distintivo della Olivetti. A questi due spazi espositivi si aggiungono, a compimento dell'esperienza, quelli laboratoriali pensati in particolare per le numerose comitive scolastiche che vi fanno visita. Un laboratorio creativo dove esprimere le proprie emozioni e sperimentare il potere dell'immaginazione; un laboratorio fab-lab dove scoprire il mondo della tecnica attraverso un approccio didattico *learning by doing*; un auditorium dove partecipare a lezioni di pensiero o mettere in scena progetti teatrali; un'officina dedicata alla riparazione delle macchine Olivetti.

Ecco che "La Centrale" diventa così un laboratorio di cultura e didattica altamente avanzato e integrato, capace di mettere a sistema il *know-how* di due realtà consolidate e farle collaborare da vicino. Un luogo che ritrova valore e posto nella società facendosi protettore della memoria olivettiana, divulgatore della sua straordinaria produzione e fonte di sperimentazione per le nuove generazioni di studenti.


Vapore tecnico
Sala comando
Caldaie
Gas naturale
Elettricità
Centrale Termica Olivetti
Diesel
Turbine
Compressori
Energia termica


Conoscenza
Mostra temporanea
Archivio - Biblioteca
Residenti
Turisti
Memoria
"La Centrale"
Studenti
Ricercatori
Laboratori
Mostra permanente
Formazione

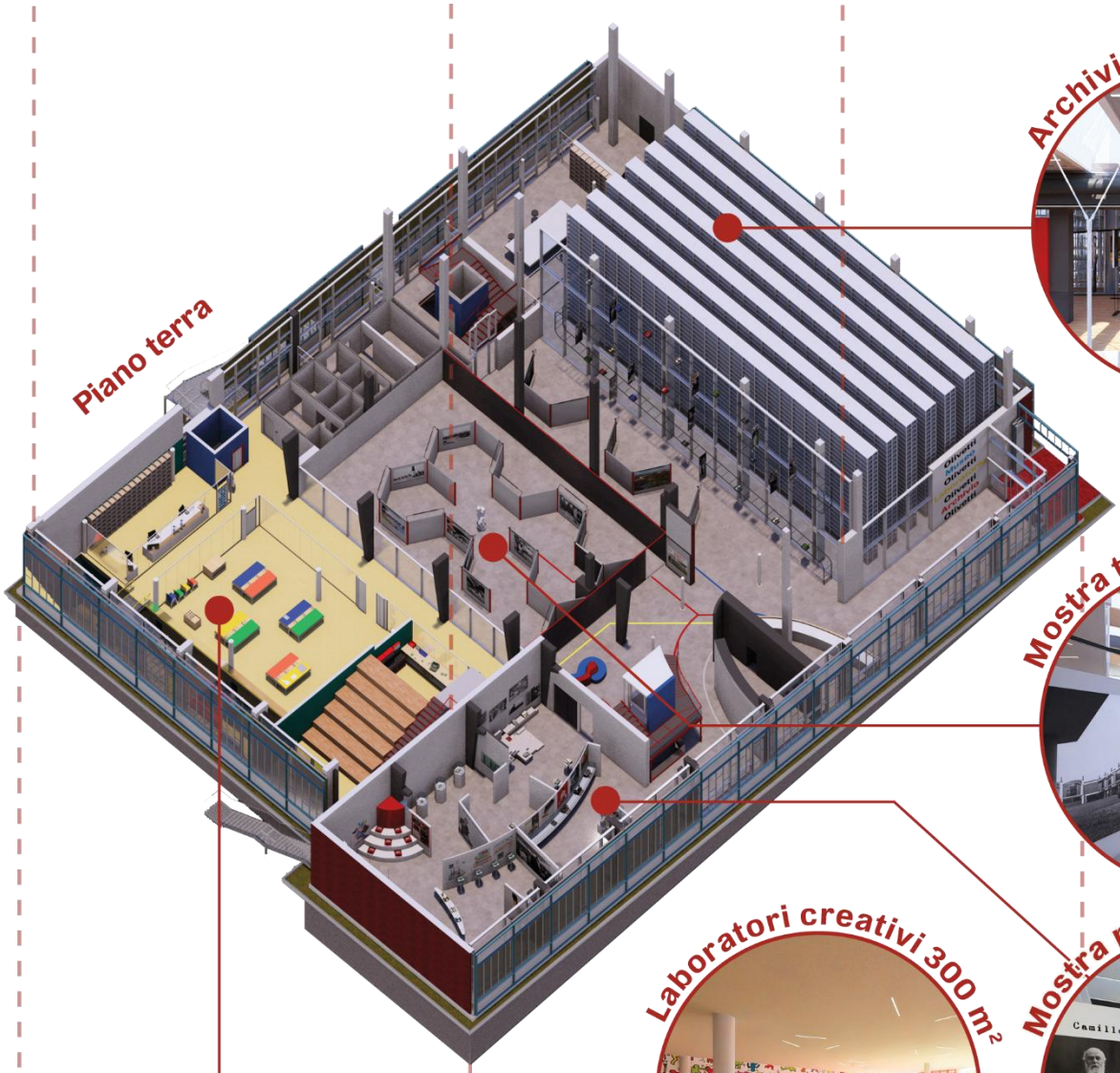
5.4 Funzioni e relazioni spaziali

La Centrale Termica Olivetti si presenta, allo stato di fatto, come un edificio organizzato su due livelli, dove al Piano Terra erano sistemati i macchinari per la produzione di energia, mentre il Piano Interrato era sfruttato per la distribuzione delle centinaia di metri di tubazioni necessarie per gli impianti, che si diramavano per tutto il complesso industriale attraverso il cunicolo Matteotti.

Lo sviluppo del progetto architettonico è stato un processo caratterizzato da una importante sfida compositiva: integrare un programma funzionale denso rispettando l'integrità volumetrica e compositiva originale. È stato dunque adottato un criterio di minimo intervento e massima conservazione per tutto l'involucro visibile dell'edificio, così come quello di massima conservazione degli spazi interni prospicenti la pubblica via. Le generose altezze dei volumi esistenti sono state sfruttate con la realizzazione di nuovi livelli esclusivamente nella parte più interna dell'edificio e sui lati sud e ovest dello stesso, impiegando soluzioni edilizie reversibili. Questo strategia ha consentito di aggiungere un Piano Primo da 860 m^2 e un Piano Secondo nel Volume Caldaie da 200 m^2, fondamentali per garantire la piena funzionalità del progetto.

Figura 5.4-1: sulla sx l'ingresso a "La Centrale", sulla dx la Hall-reception (elaborazione personale)

L'accesso all'edificio da parte del pubblico avviene dal portale principale situato sulla facciata nord, in adiacenza a Via di Vittorio. Una volta entrato, il visitatore raggiunge facilmente il blocco reception di forma semiellittica che funge da vero e proprio centro di distribuzione, generando un campo gravitazionale dal quale si diramano tutti gli ambienti del Piano Terra. Questo spazio semiellittico cuore della Hall è integrato e definito a sua volta dal corpo scale principale, che collega tutti i livelli degli spazi espositivi e adempie ad una funzione di orientamento per l'utente, essendo facilmente individuabile da tutti gli ambienti serviti. Uno spazio che funge da connettore spaziale catturando il movimento del visitatore, informandolo grazie allo staff della struttura, guidandolo nei diversi spazi con la segnaletica orizzontale.

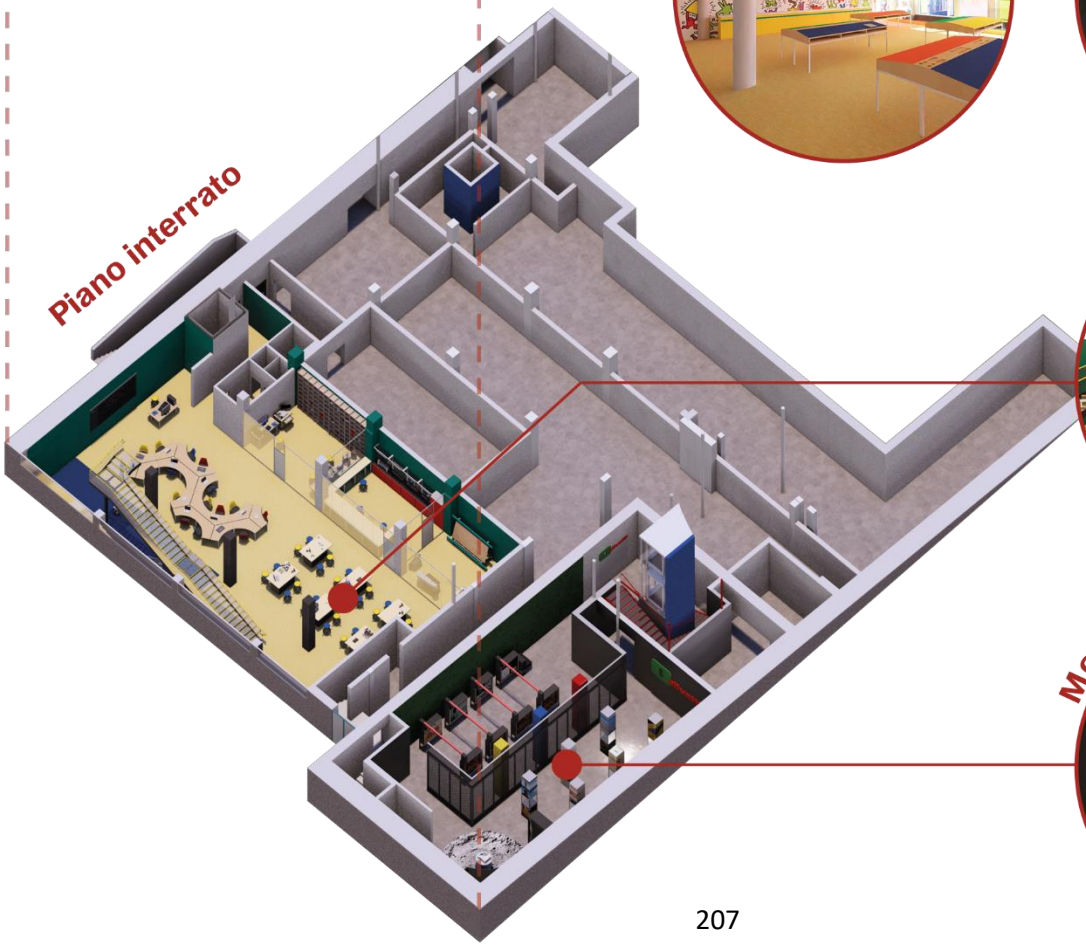

Piano terra

Archivio 430 m² (6.7 Km)

Mostra temporanea 200 m²

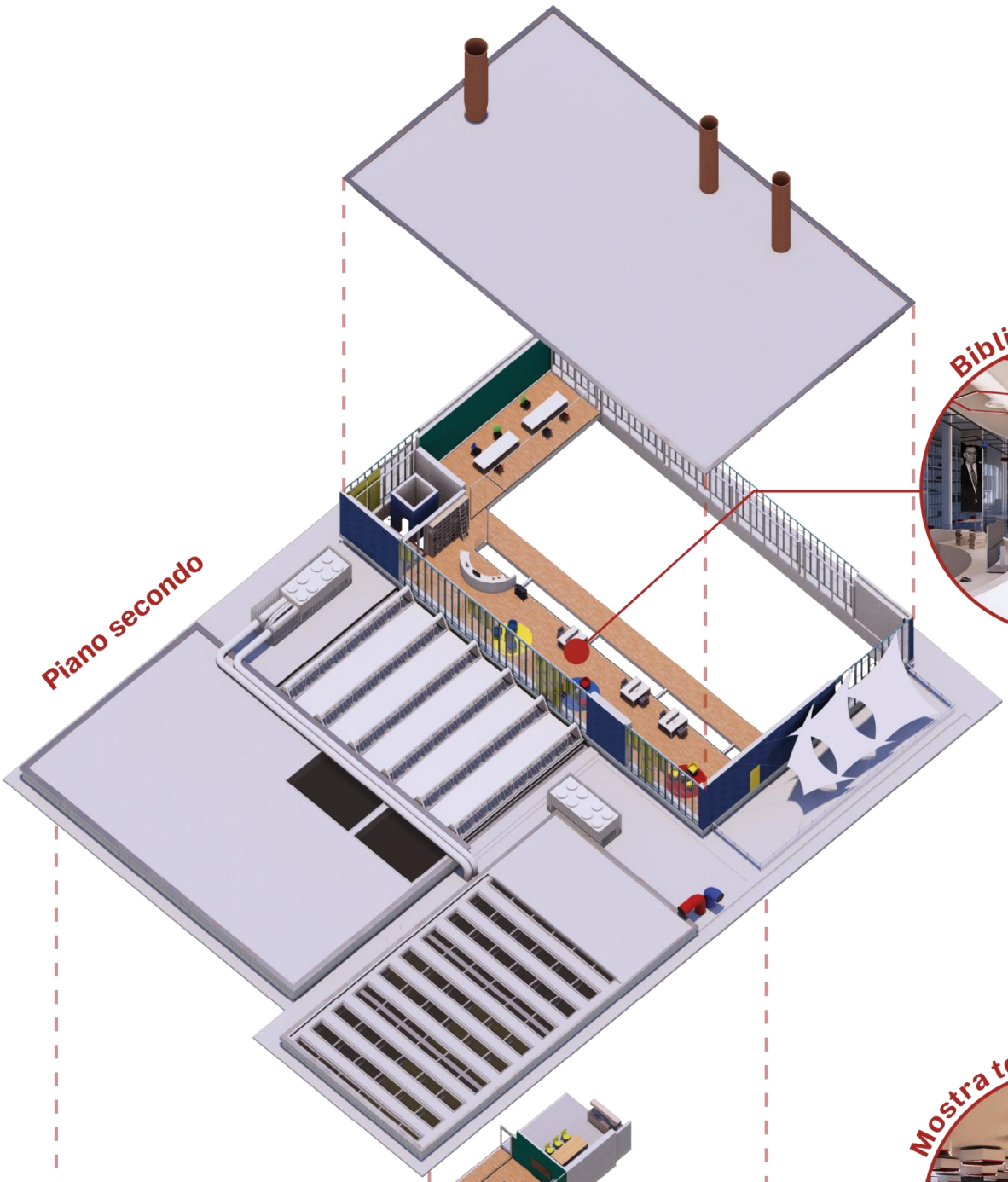
Laboratori creativi 300 m²

Mostra permanente 200 m²
Camillo Olivetti

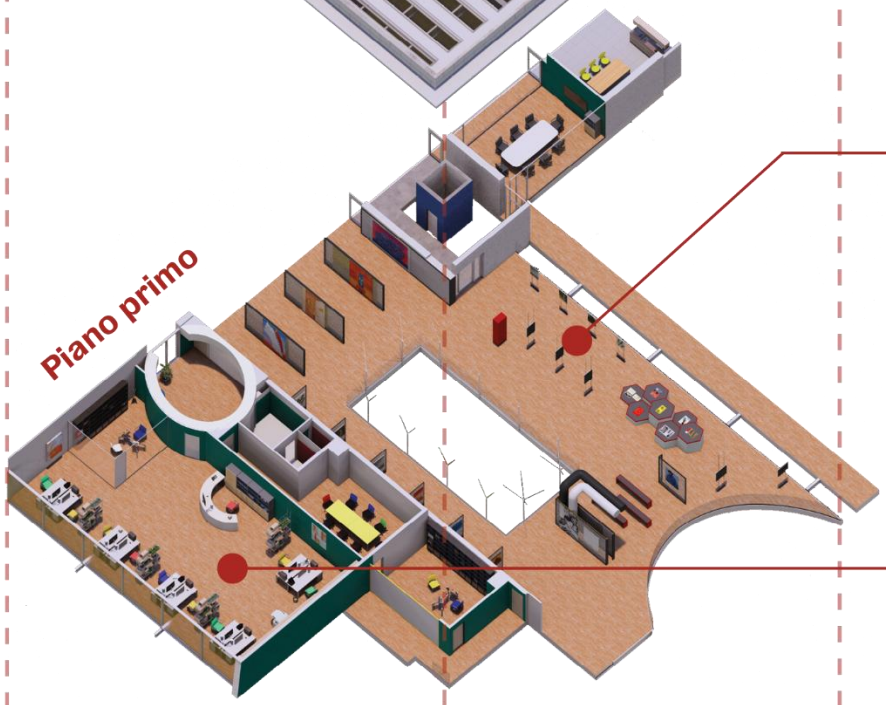

Piano interrato

Fab-Lab 300 m²

Mostra permanente 200 m²
olivetti
NASA
Una storia da raccontare


Piano secondo

Biblioteca 120 m²


Piano primo

Mostra temporanea 320 m²

Uffici 270 m²

La mostra permanente della produzione Olivetti è stata situata alle spalle del blocco reception, all'interno dell'ex Sala Compressori, prospiciente Via di Vittorio. Questa è costituita da quattro sezioni tematiche (la macchina per scrivere, il calcolo meccanico, l'ELEA 9003 e il calcolo elettronico) due delle quali sono situate nel seminterrato sottostante, collegato mediante il corpo scala della Hall, per un totale di circa 400 m^2 espositivi. Il volume del Piano Terra è tagliato longitudinalmente da un setto curvilineo che determina un percorso "a circuito", dal quale si diramano setti aperti che suggeriscono una compartimentazione del percorso, senza che l'insieme del volume ne risulti frammentato. Al fine di migliorare l'illuminazione naturale dello spazio espositivo si è deciso di effettuare un intervento sulla copertura del volume, con la demolizione delle strutture orizzontali in favore della realizzazione di una nuova copertura in struttura metallica caratterizzata da ampie fasce trasparenti, per garantire una illuminazione nadirale. Il percorso espositivo continua poi al Piano Interrato, dove trova sede una replica interattiva del computer ELEA 9003, l'innovazione di Mario Tchou, cui seguono le sale dedicate alla P101 e ai personal computers della Olivetti, in un vero e proprio percorso didattico che conduce il visitatore attraverso l'evoluzione della tecnologia.

Figura 5.4-2: Museo Olivetti (elaborazione personale)

Figura 5.4-3: Museo Olivetti (elaborazione personale)

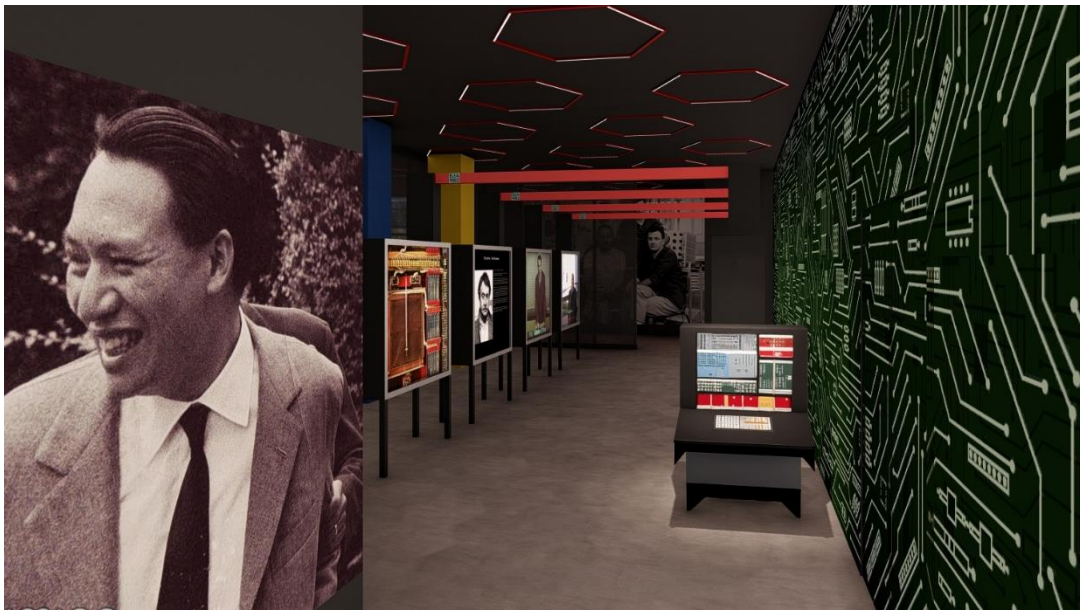


Figura 5.4-5: Museo Olivetti, piano interrato (elaborazione personale)

Figura 5.4-4: Museo Olivetti, piano interrato (elaborazione personale)

Sempre al Piano Terra e in continuità con l'ampio spazio della Hall d'ingresso si trova un'area espositiva liberamente fruibile dai visitatori sul tema della *Città dell'Uomo.* Tale mostra permanente si sviluppa su 120 m^2 e ha il ruolo di illustrare al visitatore quali sono stati gli architetti protagonisti della realizzazione del patrimonio edilizio oggi UNESCO di Ivrea, la qualità architettonica delle loro opere, gli intenti sociali sottesi, senza dimenticare le icone architettoniche diffuse in Italia, Europa e oltre oceano che hanno contribuito a definire lo "stile Olivetti". Uno spazio espositivo caratterizzato su uno dei suoi due lati lunghi dalla imponente vista sull'Archivio Olivetti, resa possibile dalla realizzazione di una facciata vetrata che si sviluppa per tutta l'altezza del volume, la cui percezione è stata esaltata dal "distacco" dei solai dei piani superiori di un metro circa, al fine di garantire una percezione completa dell'ex Volume Caldaie. Al termine della sala e in connessione visiva con la reception è situato un secondo blocco scale, che oltre a collegare tutti i piani dell'edificio e costituire l'unica via di accesso alla Biblioteca ospita anche i servizi igienici a servizio delle mostre e della Biblioteca.

Figura 5.4-7. Mostra "La Città dell'Uomo" (elaborazione personale)

Per quanto riguarda invece gli spazi espositivi della mostra temporanea, questi sono stati inseriti all'interno della corte centrale dell'edificio, un tempo sala di comando degli impianti e caratterizzata da una luminosa copertura a shed. Si è deciso di aumentare la superficie disponibile del Piano Terra realizzando un nuovo ballatoio alla quota di 3.45 metri, sostenuto mediante un sistema di tiranti a V che si collegano ad una nuova copertura a shed, arrivando ad un totale di 520 m^2. La decisione di sostituire l'originale copertura a shed con una nuova è ascrivibile a due motivazioni: la prima è dovuta alla scelta progettuale di realizzare un ballatoio senza pilastri per evitare interferenze al Piano Terra, la seconda è invece legata alla necessità di migliorare le prestazioni energetiche e di sicurezza della copertura esistente, cosa che avrebbe comunque richiesto notevoli interventi sull'esistente. La flessibilità degli spazi è stata garantita dall'adozione, al Piano Terra, di un sistema di pannelli modulari attrezzati, disposti su una griglia esagonale dal lato di 2.20 metri. Sempre al Piano Terra, gli spazi espositivi temporanei sono stati separati dalla Hall e della mostra *Città dell'Uomo* con un semplice sistema di tendaggi oscuranti, consentendo massima flessibilità nella scelta degli allestimenti.

Figura 5.4-6: Mostra Temporanea, Piano Terra (elaborazione personale)

Figura 5.4-9: Mostra Temporanea, Piano Primo (elaborazione personale)

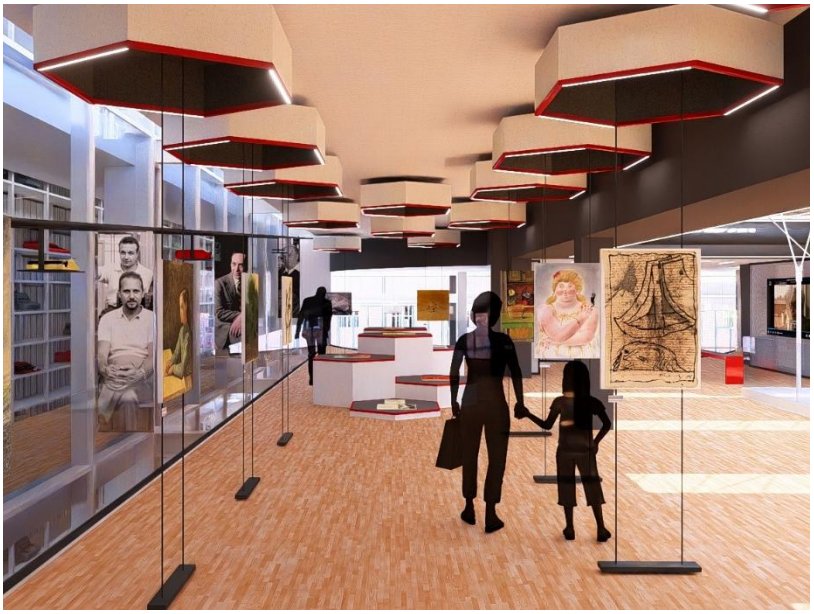


Figura 5.4-8: : Mostra Temporanea, Piano Primo (elaborazione personale)

Un'altra importante funzione che l'edificio ospiterà è quella delle attività laboratoriali per ragazzi, collegate alle tematiche della creatività, del pensiero e della tecnica, in simbiosi con i temi delle mostre. Collocati nel volume sud dell'edificio (ex Locale Turbine), tali spazi si estendono dal Piano Terra a quello Interrato per un totale di 600 m^2 e sono collegati da un corpo scale a sviluppo lineare, oltre che da un montacarichi sul lato ovest. Il vano scale verso il Piano Interrato è addossato alla facciata sud ed è stato ricavato "scavando" il solaio esistente del Piano Terra, consentendo anche di garantire un notevole apporto aggiuntivo di luce solare al piano inferiore, altrimenti illuminato esclusivamente da sottili finestre a nastro. L'ingresso ai laboratori avviene sempre dalla Hall principale, con un corridoio che corre sul lato lungo, separato dalla mostra temporanea con un divisorio vetrato, caratteristica comune a tutte le partizioni dei laboratori, per mantenere trasparenza dello spazio ed esaltare la multifunzionalità dello stesso. Lungo il corridoio e nell'immediato dell'ingresso si trova l'officina di riparazione delle macchine, ricavata al di sotto di una gradonata lignea da cinquanta posti capace di ospitare lezioni frontali e rappresentazioni teatrali. Superato l'auditorium si trova l'ampio laboratorio per le attività creative con ampi tavoli da disegno e una parete

attrezzata, il quale viene separato dall'ufficio del personale didattico da un corridoio di accesso alla scala per il Piano Interrato. Al piano inferiore un'ampia sala ospita i tavoli da lavoro per i laboratori con componentistica elettronica e per la programmazione, integrati sul lato lungo e opposto a quello finestrato da una serie di servizi compartimentati per ragioni di natura funzionale. Si tratta di: un blocco bagni, una sala per la stampa 3D, un'officina con attrezzature che richiedono una formazione e un'area per il taglio dei materiali. Un insieme di attrezzature e spazi che va a formare un fab-lab adatto a numerose attività di sperimentazione e ricerca, sfruttabile quindi anche per attività extra-didattiche, a servizio della cittadinanza.

Figura 5.4-11: Laboratori Piano Terra, Auditorium (elaborazione personale)

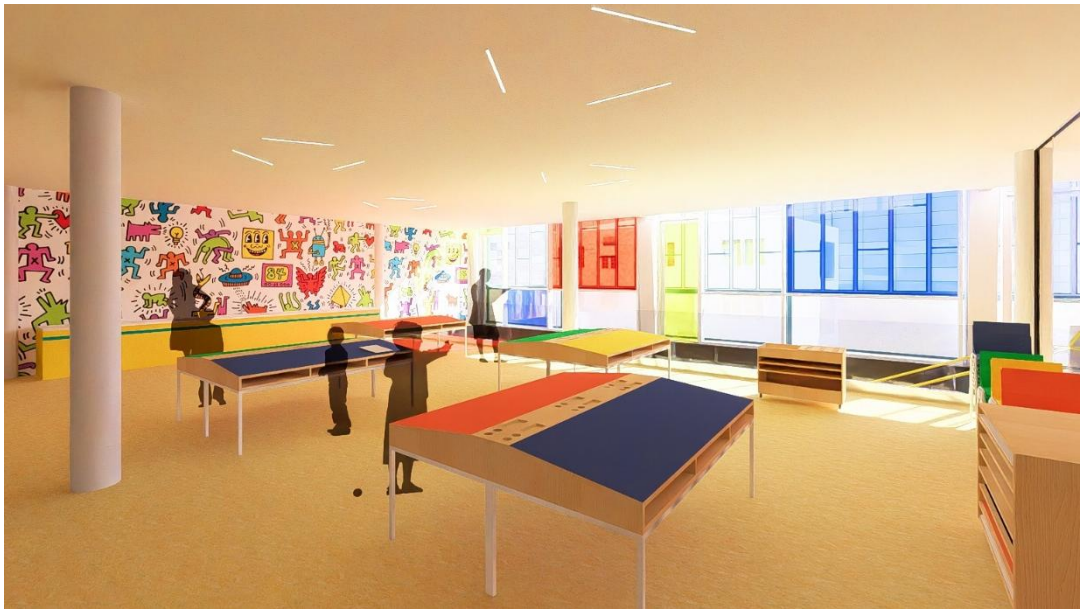


Figura 5.4-10: Laboratorio "creativo", Piano Terra (elaborazione personale)

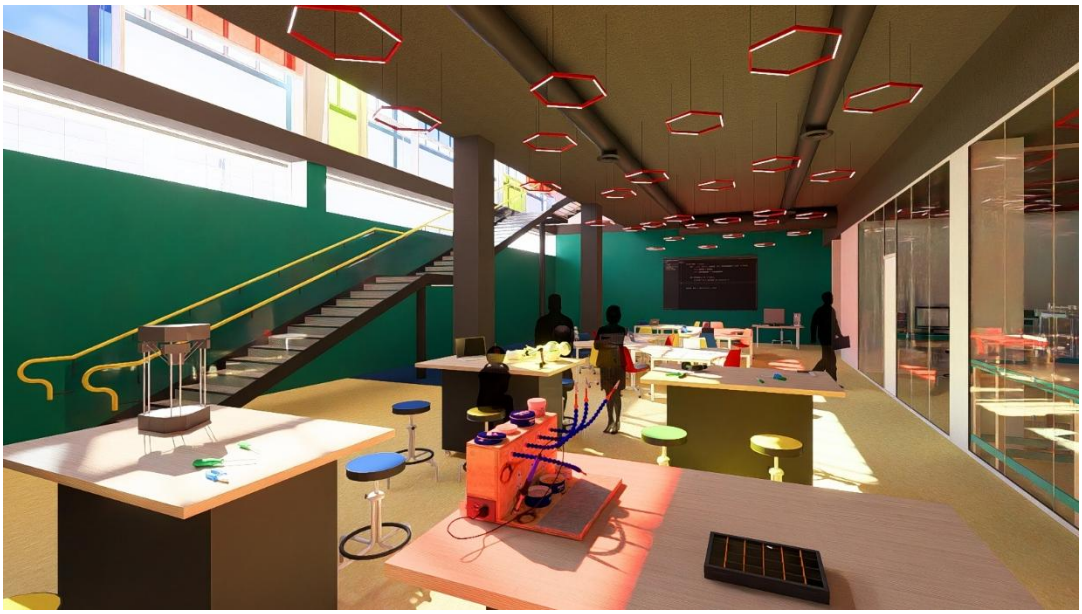


Figura 5.4-12: Laboratorio "Fab-Lab", Piano Interrato (elaborazione personale)

In sinergia con le altre attività della Centrale, vi sono quelle legate alla conservazione e restauro dei fondi archivistici posseduti dall'Archivio Olivetti e quelle di consultazione e prestito bibliotecario. Al Piano terra dell'edificio, in corrispondenza dell'ex Volume Caldaie, trova posto un nuovo archivio ad alta capacità e interamente meccanizzato, in grado di conservare ad Ivrea oltre 6700 metri lineari di documentazione storica grazie a dodici scaffalature alte 10.50 metri. I documenti sono organizzati all'interno di cassette metalliche movimentabili mediante un braccio meccanico; fa eccezione la prima scaffalatura sulla quale trovano spazio i modelli di macchine Olivetti in possesso dell'Archivio e del Museo, le quali fungono da quinta scenica per gli spazi espositivi e bibliotecari che vi si affacciano e sono raggiungibili tramite dei ballatoi in corrispondenza dei due piani fuori terra, interni all'involucro vetrato dell'archivio. Il *desk* presso il quale reperire le cassette di documenti è all'interno del volume dell'archivio al Piano Terra, adiacente al laboratorio di restauro, entrambi raggiungibili attraverso il blocco scale posto sul lato ovest. Il Piano Interrato sottostante è stato anch'esso sfruttato per finalità di conservazione e deposito di documenti e libri, grazie all'installazione di un analogo sistema di scaffalature automatizzate per una capacità pari a 1850 metri lineari. In tal modo è stato possibile coprire l'intero fabbisogno dell'archivio, garantirne uno spazio di espansione e al contempo depositare il patrimonio cartaceo della Biblioteca Olivetti, mettendolo in connessione con la biblioteca del secondo piano mediante un montacarichi automatizzato. Salendo di 12 metri troviamo così la Biblioteca Olivetti, accessibile tramite il blocco scale ovest, alleggerita dall'importante carico che i volumi cartacei avrebbero trasmesso alle strutture esistenti. Caratterizzata da una singola sala a sviluppo lineare su un totale di 200 m^2, beneficia della notevole illuminazione naturale che le vetrate sud del volume caldaie offrono, così come di una vista privilegiata sull'iconica facciata delle Officine ICO. A supporto della funzione principale sono stati pensati anche: una sala di consultazione separata e dedicata all'attività dei ricercatori; l'accesso dal fondo della biblioteca ad una parte della copertura piana sul lato est, in modo da dotare la biblioteca di uno spazio all'aperto per le stagioni più calde.

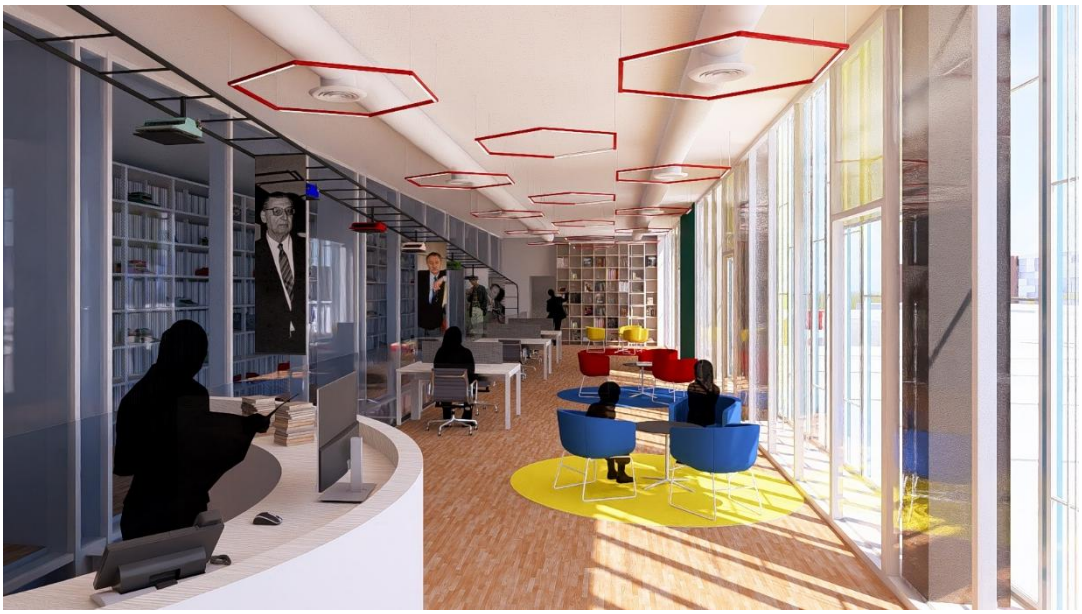


Figura 5.4-14: Biblioteca Olivetti, Piano Secondo (elaborazione personale)

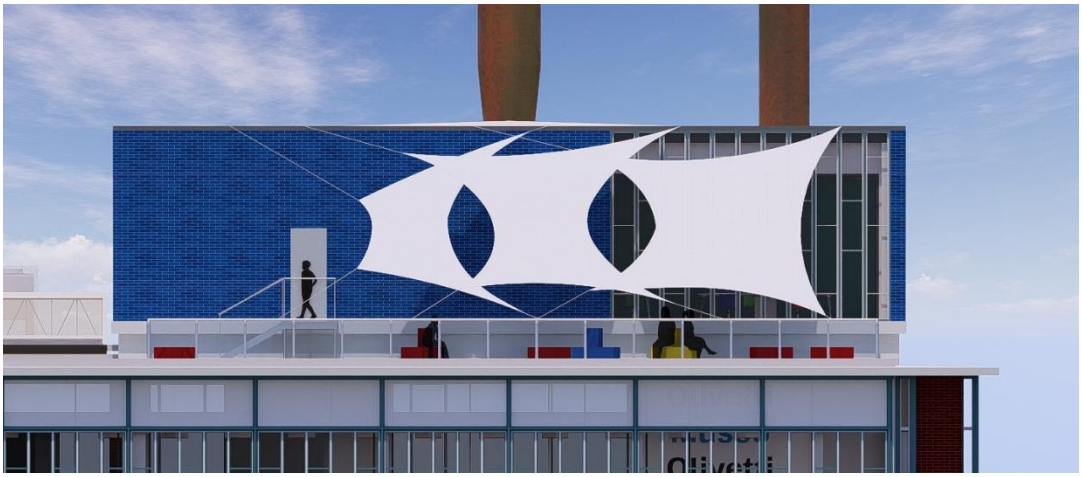


Figura 5.4-13: Terrazza della Biblioteca Olivetti (elaborazione personale)

Al Primo Piano de "La Centrale", all'interno del volume sud, sono situate le attività direzionali dell'Archivio e del Museo/Laboratorio. Nell'ottica di aumentare la collaborazione tra queste due realtà, si è deciso di collocarne gli Uffici in adiacenza l'uno con l'altro, dotandoli di spazi comuni e realizzando le opere divisorio con sistemi a secco, in modo che eventuali modifiche nell'organigramma delle due realtà possano riflettersi facilmente anche sull'organizzazione degli uffici stessi. Attraversando quindi la mostra temporanea del piano primo si accede alla Hall di attesa che distribuisce i flussi dei lavoratori verso i due uffici, dalla quale si può accedere ad un blocco bagni riservato. Per i dipendenti dell'Archivio Storico Olivetti, maggiori in numero e più "sedentari", è stato progettato un ampio ufficio *open-space* che si sviluppa lungo la facciata vetrata sud, potendo così garantire il massimo apporto di luce naturale. Il solaio di nuova realizzazione è stato mantenuto arretrato al fine di non incidere sull'apporto solare dei due piani inferiori, richiedendo la realizzazione di una facciata vetrata che da un lato prevenisse il rischio di caduta, dall'altro consentisse una zonizzazione della climatizzazione e riduzione dell'inquinamento acustico. Per quanto riguarda invece i dipendenti del Museo/Laboratori, si è prevista una sala per attività di *teamwork*, dalla quale è accessibile l'ufficio del direttore. Una minore disponibilità di spazi individuali dovuta alla diversa natura del lavoro dei suoi dipendenti, che possono comunque sfruttare gli ampi spazi dei laboratori e le tre postazioni ufficio dedicate del Piano Terra. A causa della limitata disponibilità di affacci sull'esterno, per questi uffici è stata garantita

un'illuminazione nadirale tramite la completa apertura del solaio di copertura, dove la soletta cementizia è stata sostituita da un sistema in policarbonato. Sul lato opposto del piano, facilmente accessibile dal blocco scale ovest, si trovano i due ambienti di servizio messi in condivisione che le due realtà. Si tratta di un'ampia sala riunioni cui segue un'area ristoro per la cottura e il consumo di cibi.

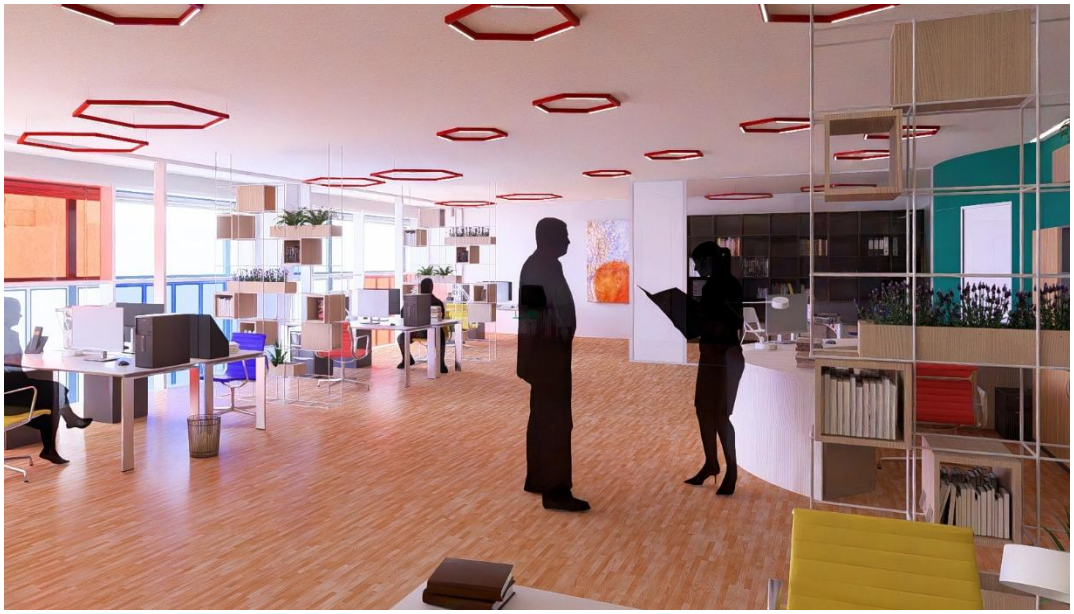


Figura 5.4-15: Uffici, Piano Primo (elaborazione personale)

Al Piano Seminterrato sono state invece destinate le funzioni di magazzinaggio e locali macchine. L'accesso per il carico e lo scarico di materiale al magazzino del Museo, che si estende per 285 m^2, avviene dall'ingresso originale situato sul lato sud dell'edificio. L'unica modifica apportata riguarda lo scivolo di accesso al seminterrato, caratterizzato da elevate pendenze (6%) che ne rendevano impossibile l'utilizzo per il trasporto di materiale: si prevede quindi la sua demolizione in favore dell'installazione di un montacarichi. Lungo il corridoio che conduce al magazzino si trova un portone di accesso alla mostra permanente, garantendo la connessione funzionale tra i due ambienti. Situato in adiacenza al magazzino e in posizione strategica per la distribuzione dei fluidi termovettori si trova il locale tecnico per l'alloggio di pompe e vasi d'espansione per l'impianto termico, oltre che tre differenti locali UTA.

5.5 Contaminazioni: Architettura olivettiana ed Eduardo Vittoria

La grande eredità culturale e architettonica lasciata dai numerosi architetti che hanno avuto il compito di dare sostanza alle visioni degli Olivetti, così come le loro grandi intuizioni e innovazioni, non potevano essere ignorate durante il processo di progettazione del recupero della Centrale Termica. Sono state studiate le strategie espositive adottate nei negozi Olivetti, le soluzioni funzionali degli ambienti di lavoro e il rapporto con l'arte, al fine di riproporne alcuni elementi chiave e offrire all'interno de "La Centrale" una sintesi di essi al visitatore.

5.5.1 I negozi Olivetti

Un tema fondamentale del progetto è stato quello dell'allestimento degli spazi espositivi, dove è emersa la necessità di restituire alle macchine Olivetti il loro ambiente naturale, le vetrine che le ospitavano, gli allestimenti che le rendevano vive. Fortunatamente i negozi Olivetti sono stati progettati e pensati fin dagli anni '30 non per essere dei semplici luoghi di vendita, ma veri e propri musei in scala che elevavano il prodotto al livello dell'arte, sia attraverso un'attenta progettazione degli interni che mediante l'innesto di statue, alto-rilievi e altre opere.

La mostra permanente del Piano Terra narra così una storia fatta non solo di produzioni meccaniche, ma anche di allestimenti ed architettura. Le vetrine di cristallo sostenute da esili telai metallici degli anni '30-'40 riprendono dunque la fase "razionalista" inaugurata da Xanti Schawinsky a Torino nel 1935 dove si esaltano la funzionalità e la purezza della forma che troverà seguito nei progetti "standardizzati" di G.A. Bernasconi sino agli anni '50 [155]. Proprio in quegli anni avverrà tuttavia una vera rottura con i dettami dell'architettura razionalista e i negozi Olivetti cesseranno di essere soluzioni precostituite: le numerose firme e artisti che si susseguiranno nella loro progettazione (studio BBPR, Carlo Scarpa, Ignazio Gardella, Gae Aulenti) troveranno nella ricerca dell'eleganza il loro fondamento. L'intervento di recupero ha previsto un richiamo all'ingresso-salotto del celebre negozio sulla Fifth Avenue a New York, dove il visitatore può avere un primo contatto con la Olivetti battendo i propri pensieri sui tasti della celebre Lettera 22; oppure può immaginare di trovarsi al suo interno grazie alla riproduzione dell'alto-rilievo ad opera di Renato Guttuso situata lungo il percorso espositivo. Non mancano poi i riferimenti al negozio Olivetti di Parigi, progettato da Gae Aulenti, così come il tratto forse più distintivo di Carlo Scarpa, le scale del negozio Olivetti in Piazza San Marco, ancora oggi visitabile.

[155] ZAGNONI 2017.

Figura 5.5-2 Ingresso del negozio Olivetti sulla Fifth Avenue, dove era presente uno spazio filtro prima dell'ingresso, dotato di macchina da prova (https://www.storiaolivetti.it/)

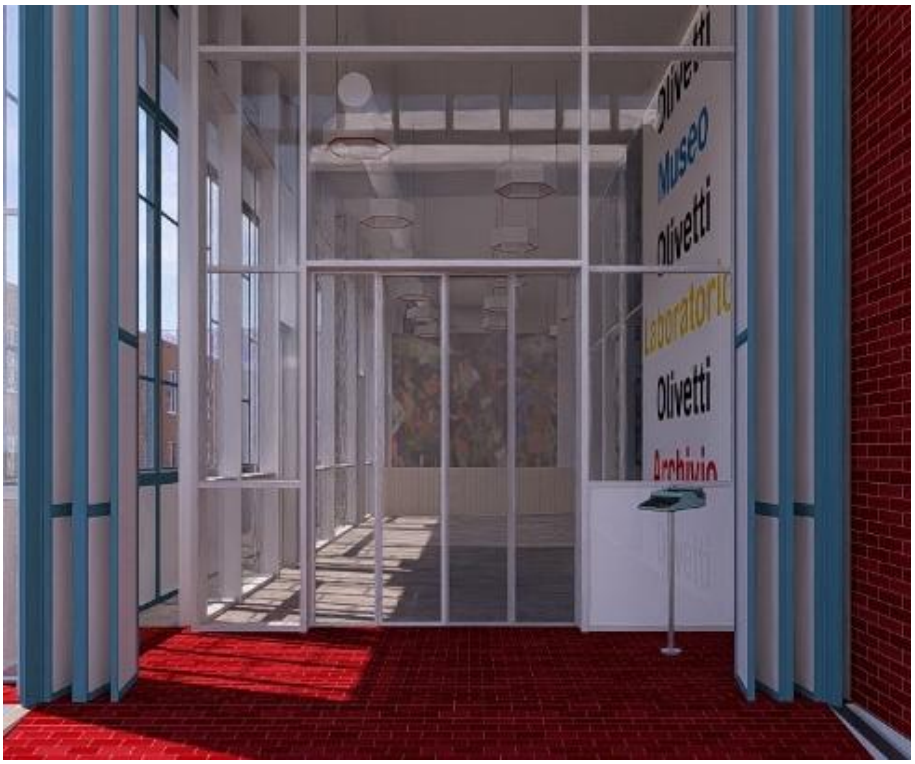


Figura 5.5-1: Ingresso della "Centrale" (elaborazione personale)

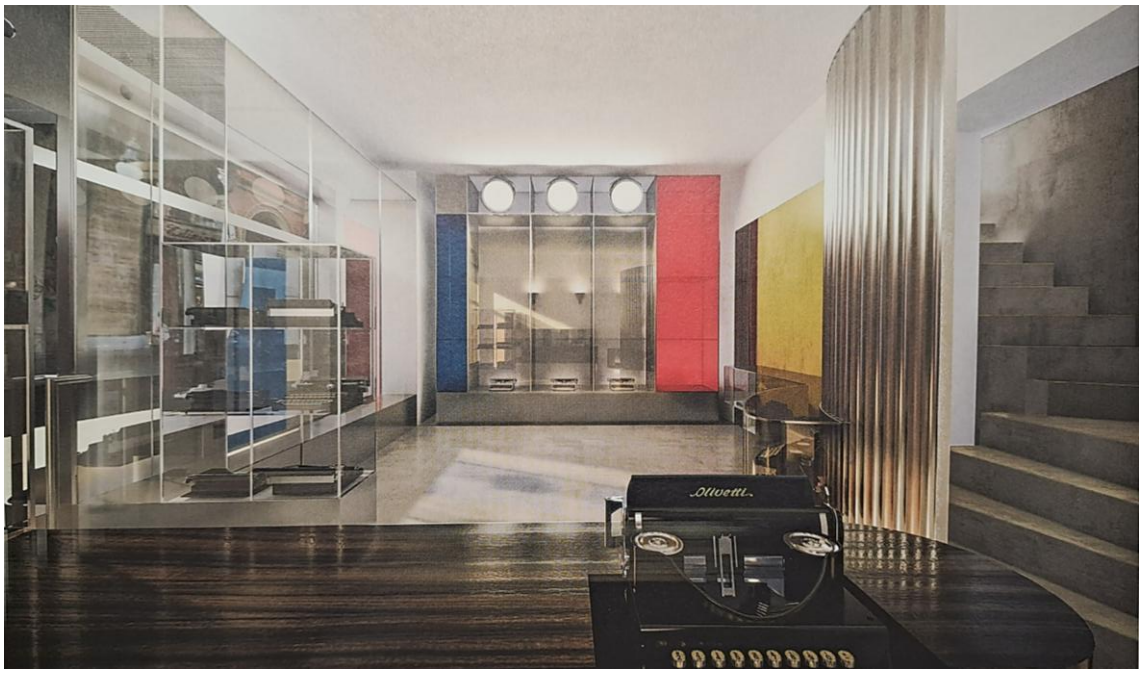


Figura 5.5-4: Rendering a colori del negozio Olivetti di Torino (MANTOVANI, TURCHETTI 2023)

Figura 5.5-3: Mostra permanente del Piano Terra (elaborazione personale)

Figura 5.5-6: Interni del negozio Olivetti sulla Fifth Avenue, in evidenza l'alto-rilievo di Renato Guttuso https://www.storiaolivetti.it/)

Figura 5.5-5: Mostra permanente del Piano Terra (elaborazione personale)

La giustapposizione tra arte e prodotti Olivetti che di frequente veniva proposta dagli architetti, designer ed artisti rappresentava pienamente la visione di Adriano, che vedeva nei suoi prodotti non semplici macchine per scrivere o da calcolo, ma oggetti di design eleganti e poetici. Le opere d'arte non si trovavano poi solo all'interno dei negozi, ma anche nei locali di servizio ai lavoratori come le mense, dove avevano il compito di arricchire il tempo di persone che spesso non avevano mezzi economici o l'istruzione per interessarsene al di fuori di quegli spazi, offrendo altresì un momento di sollievo dal lavoro.

Figura 5.5-7: Sulla sx Negozio Olivetti a San Francisco, esempio di integrazione tra prodotti Olivetti e arte (MANTOVANI, TURCHETTI 2023); sulla dx un dettaglio del percorso espositivo permanente, con l'inserimento di sculture ed elementi d'arte (elaborazione personale)

5.5.2 I moduli di Eduardo Vittoria

Non solo arte, ma anche tecnica: sono numerosi gli esempi di soluzioni ingegneristiche che sono diventate nel tempo icone dell'architettura industriale. Si è trattato spesso di soluzioni per le coperture dovute alle necessità di coprire grandi luci, ridurre il numero di pilastri, garantire l'apporto di luce naturale, facilitarne la posa in opera. Come visto nel cap. 3.7 si tratta ad esempio delle coperture delle Officine H ad opera di Eduardo Vittoria, delle sue travi rovesce impiegate negli stabilimenti di Scarmagno e poi ancora i moduli ottagonali dello stabilimento in Harrisburg, ad opera di Luis Kahn e di un giovane Renzo Piano. Nell'ambito di questa tesi si è voluto in particolare riflettere sulle opere di Eduardo Vittoria, trovando ottime possibilità di implementazione della tipologia di copertura prefabbricata ideata per gli stabilimenti di Scarmagno. Vengono così riproposti, nella progettazione della nuova copertura per la sala museale del Piano Terra, elementi a V rovescia intervallati da lucernai, non più in calcestruzzo prefabbricato ma come travi reticolari rivestite con cartongesso, atte ad ospitare l'infrastruttura impiantistica.

Figura 5.5-9: Prospettiva di studio del sistema in calcestruzzo per la copertura dello stabilimento di Scarmagno (https://www.storiaolivetti.it/)

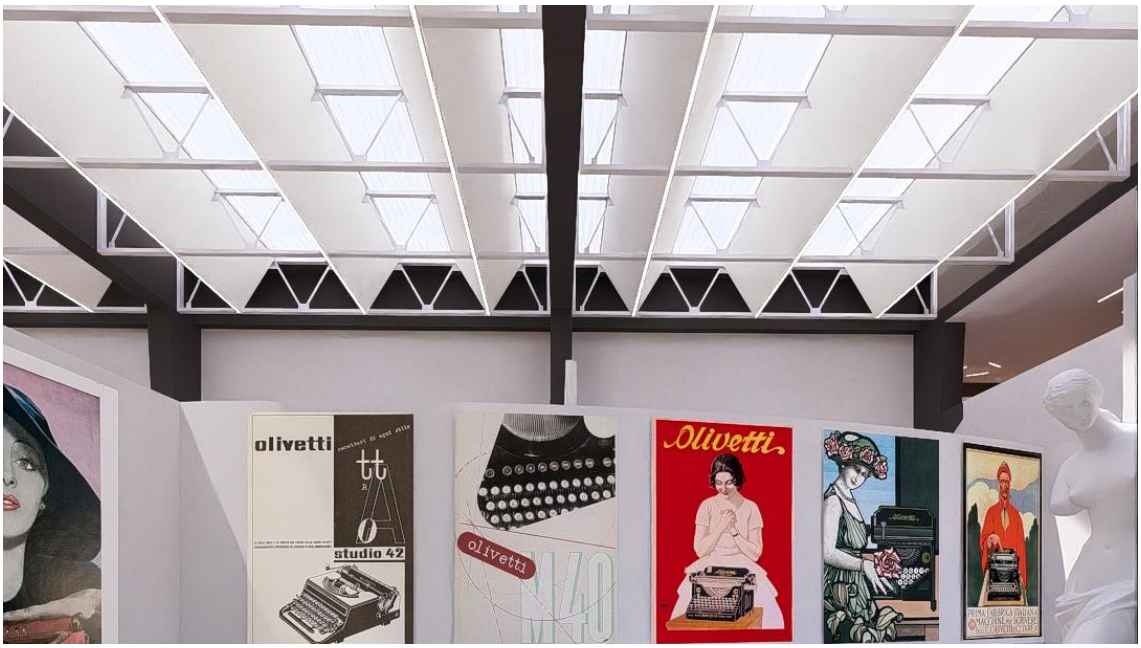


Figura 5.5-8: dettaglio copertura mostra permanente Olivetti (elaborazione personale)

Il contributo di Eduardo Vittoria all'interno del progetto del "suo" costruito si è esteso anche all'area della mostra temporanea e della *Città dell'Uomo* del Piano Terra. Era infatti necessario individuare una soluzione flessibile e facilmente modificabile per l'allestimento data la natura temporanea della mostra, così come la possibilità di unire i due spazi espositivi tramite una semplice apertura dei tendaggi, eventualità che rendeva necessaria una riorganizzazione degli spazi stessi. Si è pertanto scelto di sfruttare la sperimentazione tecnologica di Vittoria sul modulo e riprendere un suo progetto del 1965 intitolato *La casa dei giochi.* Una struttura esagonale modulare inizialmente pensata per costituire un nucleo isolato dove allestire il proprio spazio ludico, successivamente rielaborata come spazio abitativo modulare assemblabile a seconda delle necessità dell'utente. Questo concetto è stato così ripreso e adattato in termini dimensionali e funzionali, al fine di costituire una diffusa maglia esagonale di lato 2.2 metri, dove è possibile grazie ad appositi incastri a terra fissare montanti e pannelli espositivi con la massima libertà.

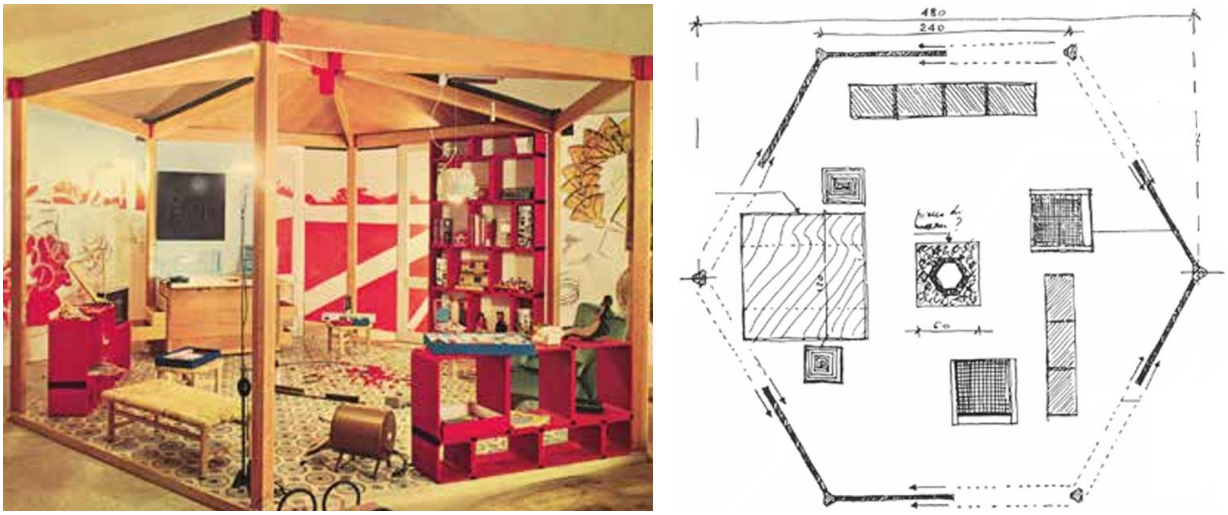


Figura 5.5-11: Progetto de La stanza dei giochi di Eduardo Vittoria del 1965 (NUNZIANTE, PERRICCIOLI 2018)

Figura 5.5-10: re-interpretazione del modulo esagonale di Vittoria per la realizzazione di pannellature removibili per la mostra temporanea del Piano terra (elaborazione personale)

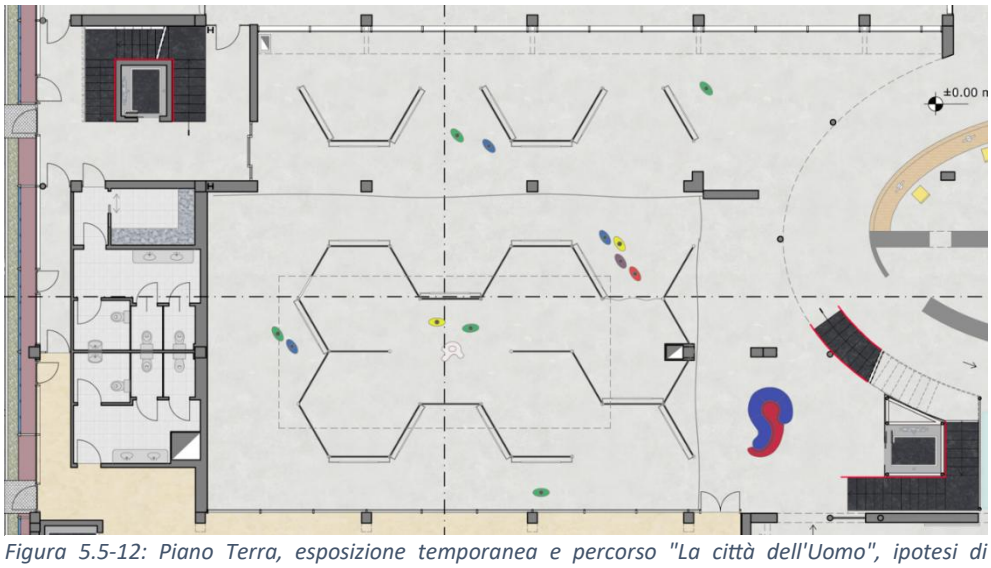


Figura 5.5-12: Piano Terra, esposizione temporanea e percorso "La città dell'Uomo", ipotesi di configurazione delle pannellature espositive disposte secondo una maglia esagonale (elaborazione personale)

Ultimo, ma non meno importante, è invece il riferimento al concetto di *Spazio vuoto dell'habitat* elaborato da Vittoria in occasione della XV Triennale di Milano e che appartiene alla seconda fase progettuale del noto architetto partenopeo. Grandi tendaggi che definiscono lo spazio operando per sottrazione della luce, con il luogo che viene definito dalla leggera copertura bianca. La soluzione ideale per la terrazza della biblioteca, in grado di offrire riparo e definire lo spazio di un ambiente aperto, impiegando sulla facciata esterna de "La Centrale" un elemento del pensiero progettuale di Eduardo Vittoria.

Figura 5.5-14: Immagini dell'allestimento di Eduardo Vittoria per la XV Triennale di Milano (https://archivio.triennale.org/item/52886)

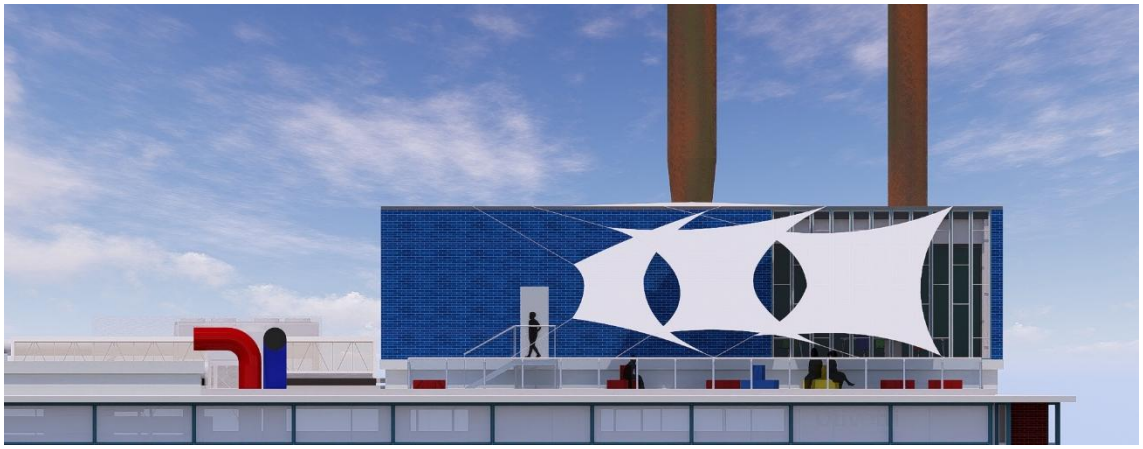


Figura 5.5-13: prospetto della Terrazza della Biblioteca Olivetti (elaborazione personale)

5.6 Materiali e colori per l'intervento

5.6.1 La scelta delle superfici

La pavimentazione originale della Centrale Termica è stata realizzata impiegando delle piastrelle in clinker color rosso mattone, della dimensione di 12x25 cm. Una tipologia di piastrella largamente utilizzata nell'Italia del dopoguerra, sia in ambito industriale che residenziale, in grado di garantire stabilità, durabilità e semplicità di posa. Il rivestimento in clinker presentava uno stato di degrado piuttosto avanzato, specie laddove erano situati i diversi macchinari. Una variante antiscivolo e dalla tonalità più chiara è stata invece impiegata per lo scivolo dell'ingresso principale. Scelta differente per il Piano Seminterrato, dove il massetto cementizio è stato lasciato senza rivestimento.

Considerando anche le esigenze di natura impiantistica, che prevedono lo scasso dei massetti per la posa di un sistema di condizionamento radiante, si è scelto di procedere alla sostituzione completa delle pavimentazioni, impiegando nuovi materiali.

Per il Piano Terra si è deciso di utilizzare una finitura in cemento spazzolato con rivestimento in resina. Una scelta motivata dalla ricerca di una simbiosi tra la natura industriale del sito e la sua nuova identità, caratterizzata da ampi spazi espositivi. Il cemento spazzolato evoca, con la sua autenticità e matericità, il carattere funzionale di un luogo un tempo destinato alla produzione di energia, ma allo stesso tempo restituisce eleganza e neutralità allo spazio, rendendolo "ospitale" per le produzioni Olivetti e versatile per quelle di natura temporanea. Tra le sue caratteristiche fisiche spiccano non solo la facilità di pulizia e la durabilità, garantite dal rivestimento in resina, ma anche una intrinseca fluidità e continuità materica, adattandosi facilmente alla densa composizione architettonica.

Scelta diversa invece per gli spazi laboratoriali del museo dedicati ai ragazzi delle scuole in visita alla centrale. Oltre a voler segnalare una diversa funzione degli spazi rispetto a quelli museali, le attività previste e la tipologia di utenza hanno reso necessario escludere il rivestimento in cemento spazzolato in favore di uno in grado di assolvere al meglio le richieste funzionali. Tra queste vi erano: le caratteristiche antiscivolo, quelle di attenuazione e assorbimento del rumore, riflettanza medio-alta della superficie. La scelta è quindi ricaduta su un rivestimento in linoleum con tonalità beige.

Per quanto concerne invece i piani di nuova costruzione (Piano Primo e Secondo) si è deciso di impiegare una pavimentazione in parquet industriale. La scelta è da attribuirsi sia a ragioni di natura funzionale che, soprattutto, di natura formale. Il parquet industriale è un materiale rinomato oltre che per la sua leggerezza, anche per la durabilità e l'economicità, rendendone ideale l'impiego in sopraelevazioni con tecnologia a secco e destinazioni d'uso museali. Tuttavia, le ragioni principali che hanno portato il parquet industriale ad essere preferito al cemento spazzolato sono di natura formale. È stata ricercata volontariamente una discontinuità materica tra le superfici del piano terra e quelle dei piani superiori, per operare una netta distinzione tra strutture esistenti e nuove, mantenendo al contempo il carattere materico della pavimentazione. Un materiale caldo, elegante e rilassante per gli spazi espositivi del Piano Primo, gli uffici dell'Archivio e del Museo, la luminosa Biblioteca del Piano Secondo.

5.6.2 Il colore come codice di orientamento

La complessità dell'edificio, data dal numero di nuove funzioni previste e la loro distribuzione su più livelli, richiedeva di individuare degli elementi di orientamento dell'utenza che fossero integrati nell'architettura dell'edificio stesso. Pertanto, si è adottata la strategia di identificare la distribuzione verticale con un codice cromatico specifico, assegnando la colorazione rossa agli elementi delle scale ed una blu per i vani ascensore. Questa scelta rende i vani scala particolarmente riconoscibili, facilitando il visitatore nell'individuazione dei percorsi verso i diversi piani aperti al pubblico, fungendo al contempo anche da elementi di orientamento, grazie all'elevata trasparenza degli spazi, elemento caratteristico della Centrale Termica e preservato attraverso un ampio uso di componenti vetrate. Ultimo, ma non meno importante, è il sistema di segnaletica orizzontale implementata al Piano Terra: dalla Hall d'ingresso si diramano linee colorate che conducono l'utente verso i diversi ambienti dell'edificio.

Figura 5.6-1: A sinistra una vista della Hall d'ingresso con in evidenza la segnaletica orizzontale; a destra si possono vedere le cromie scelte per i corpi scale: rosso per le rampe e blu per gli ascensori

5.6.3 Il colore come segno di stratificazione

La realizzazione di nuove strutture atte ad ospitare le nuove funzioni previste ha posto un quesito importante e delicato: quale relazione instaurare tra queste e le strutture esistenti?

A partire da una volontà di conservazione e rispetto dell'esistente, così come dalla scelta di rendere visivamente meno impattanti possibili le strutture dei nuovi solai, si è scelto di attuare una distinzione cromatica netta tra esistente e nuovo.

In particolare, per tutti i pilastri e le travature esistenti che fossero particolarmente visibili e giocassero un ruolo rilevante nella scansione spaziale della Centrale Termica, si è prevista una pittura in grigio ardesia, al fine di aumentarne la percezione visiva, compensando così l'effetto dei nuovi elementi di sostegno alle strutture. Viceversa, tutti i nuovi elementi strutturali in acciaio sono stati pensati con una pittura bianca a rivestimento, in modo tale da stabilire una gerarchia delle strutture, lasciando il ruolo di scansione spaziale a quelle esistenti.

Figura 5.6-2: Vista della mostra temporanea al Piano Primo con le strutture esistenti (scure) in contrasto con quelle nuove (bianche)

La dialettica tra elementi "chiari" e "scuri" è stata sfruttata anche nel definire il rapporto tra la facciata vetrata esistente e quella di nuova fattura. Per ragioni di natura funzionale e per garantire la massima conservazione degli infissi originali, si è infatti reso necessario il "raddoppio" dell'involucro trasparente installando, sul lato interno dell'edificio, dei nuovi infissi. La geometria dei telai è stata naturalmente pensata per ricalcare quella degli infissi esistenti, ricercando tuttavia un'ulteriore ottimizzazione nella percezione della nuova configurazione a "doppia pelle". A tal proposito si è adottata una colorazione chiara per i montanti e i traversi della nuova facciata vetrata, scegliendo una tonalità scura per il copri-profilo esterno. In questo modo è stato possibile contenerne il peso visivo dall'interno, garantendo al contempo il mimetismo da una prospettiva esterna delle nuove strutture rispetto a quelle esistenti.

Figura 5.6-3: I nuovi infissi mimetizzati nella vista dall'esterno e alleggeriti in quella dall'interno

5.6.4 Il colore come gioco

Infine, il colore è stato ampiamente utilizzato nell'area laboratoriale al fine di creare uno spazio stimolante e giocoso per i bambini e ragazzi in visita. Sono state quindi sfruttate le geometrie modulari dei nuovi infissi, prevedendo l'installazione di vetri colorati seguendo uno schema variabile e dinamico. In tal modo il giallo, il blu e il rosso, attraversati dall'intenso sole a sud, contribuiscono alla definizione dello spazio, non delimitandolo bensì caratterizzandolo, rendendolo mutevole durante le ore del giorno e i mesi dell'anno.

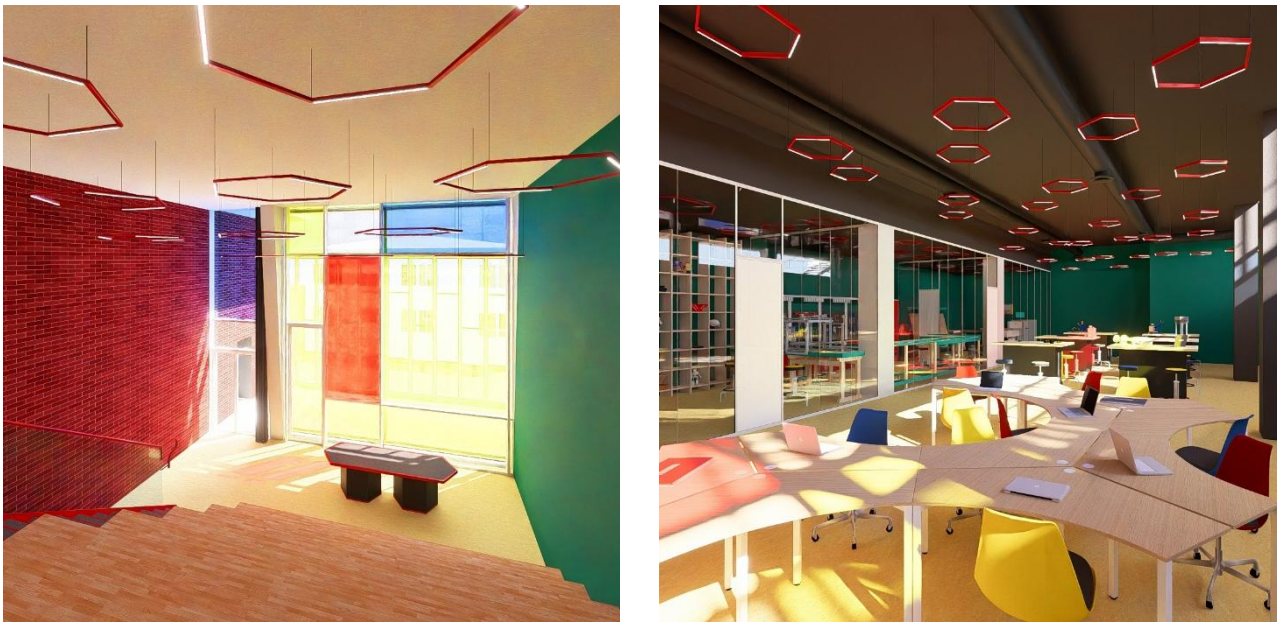


Figura 5.6-1: Le vetrate colorate degli spazi laboratoriali

5.7 Prestazioni energetiche e valutazioni impiantistiche

Uno degli *step* progettuali certamente più delicati e problematici che caratterizzano il recupero di un edificio vincolato è quello degli interventi volti all'efficientamento energetico e dell'impiantistica per il condizionamento e controllo dell'aria. Come nel caso in questione, infatti, accade sovente che le facciate dell'edificio non possano subire modifiche che ne compromettano il valore architettonico, rendendo inapplicabili le strategie di coibentazione più semplici e tecnicamente efficaci; allo stesso tempo vi sono spesso vincoli di conservazione di pavimenti e soffitti che rendono molto complessa l'installazione di nuovi sistemi di condizionamento, costringendo il progettista a individuare soluzioni non convenzionali.

Il recupero della Centrale Termica Olivetti ha avuto fin da subito, tra gli obiettivi principali, quello della massima conservazione possibile delle superfici esterne. Sebbene non fosse centrale all'interno di questo progetto di tesi, il tema dell'efficienza energetica non è stato sottovalutato, con l'obiettivo di sviluppare una proposta architettonica integrata e consapevole per restituire alla comunità eporediese un edificio altamente prestazionale e resiliente ai cambiamenti climatici in atto.

Sebbene non sia stata condotta un'analisi del comportamento globale dell'edificio, come richiesto per le ristrutturazioni di primo livello dal D.M. 26 giugno 2015, tutti gli interventi sulle componenti opache e trasparenti sono stati eseguiti seguendo una letteratura consolidata. Non si è trattato solo della verifica dei singoli pacchetti tecnologici, ma anche di un approfondito sviluppo dei dettagli costruttivi per ottimizzare i ponti termici, dell'impiego di materiali innovativi per superare i vincoli architettonici e della progettazione di massima degli impianti meccanici, al fine di governarne l'impatto architettonico riducendolo al minimo.

5.7.1 Interventi sulle componenti opache

La coibentazione delle componenti opache esistenti con la conservazione dei materiali di rivestimento esterni e delle sagome originali, ha reso necessario intervenire sul lato interno dell'involucro.

Come noto, l'adozione di questa strategia comporta tre ordini di problemi principali:

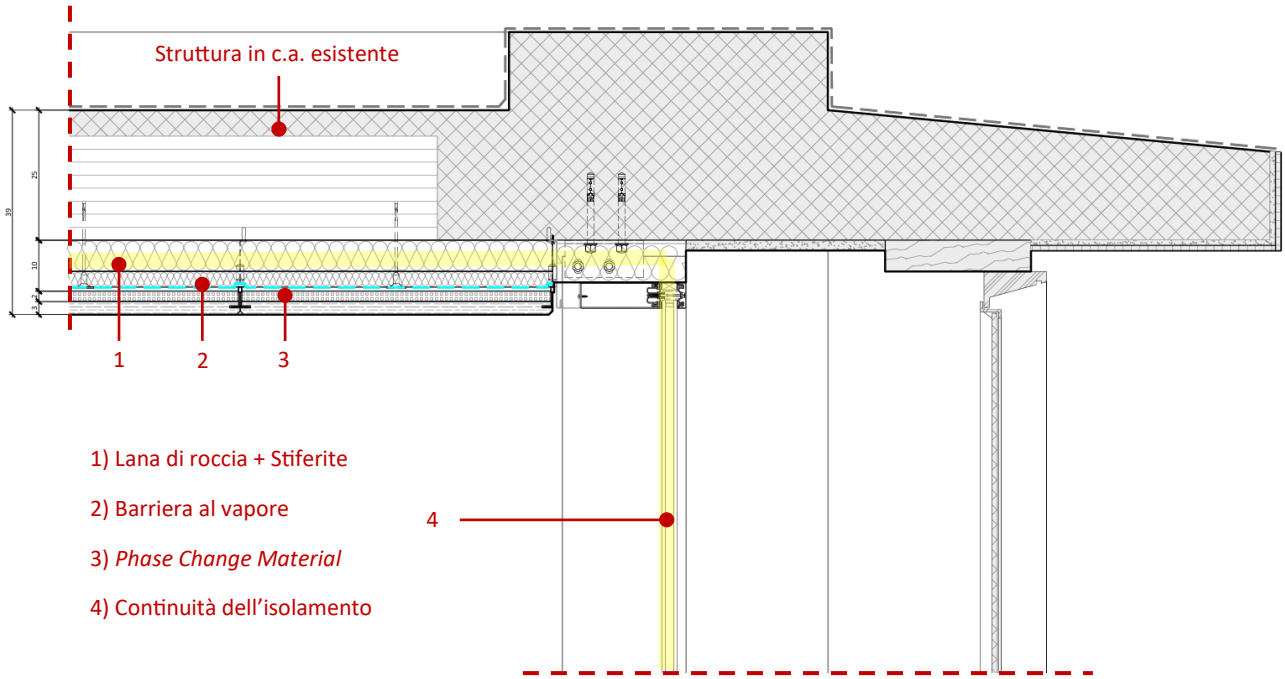
a. Ponti Termici geometrici: in presenza di nodi strutturali la continuità del materiale coibente può non essere garantita, determinando dispersioni termiche localizzate che possono compromettere l'intero intervento.

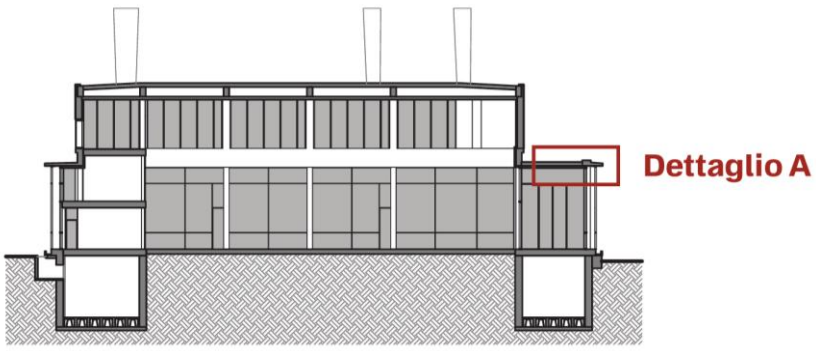
b. Condensa interstiziale: la migrazione del vapore acqueo attraverso l'involucro edilizio può, nella stagione invernale, facilmente portare alla formazione di condensa tra il materiale coibente e il materiale di supporto.
c. Riduzione dei volumi interni: se impiegati materiali coibenti "tradizionali", il rispetto delle stringenti norme energetiche può comportare l'impiego di pannelli dallo spessore superiore ai 10 cm, riducendo i volumi disponibili e creando nuovi vincoli progettuali.

Per ovviare a queste problematiche sono state adottate le seguenti strategie:

a. Studio dettagliato dei nodi strutturali per garantire continuità di isolamento e riduzione dei ponti termici geometrici
b. Applicazione di barriere di vapore sul lato interno dell'isolamento, in modo da prevenire la migrazione del vapore verso l'esterno e la conseguente condensa; installazione di un sistema aeraulico con UTA per il controllo dell'umidità interna e del carico latente
c. Laddove necessario si è fatto ricorso a materiali isolanti a prestazioni superiori, in grado di garantire prestazioni termiche superiori e spessori ridotti, tra cui: pannelli in schiuma polyiso espansa rigida (λ = 0,022 W/mK), isolanti "Aerogel" (λ = 0,016 W/mK), *Phase Change Materials*.

Esempio: Dettaglio A | Nodo Copertura – Facciata vetrata





5.7.2 Interventi sulle componenti trasparenti

Le superfici verticali trasparenti della Centrale Termica costituiscono ben il 75% del totale. La bassa resistenza termica degli infissi, costituiti da telai metallici e vetri float singoli, così come il design delle aperture e la conseguente permeabilità all'aria, erano caratteristiche congeniali alle necessità energetiche dell'edificio quando operava per la produzione di energia. I numerosi macchinari e caldaie in funzione producevano infatti grandi quantità di calore che necessitava di essere smaltito, rendendo la scarsa trasmittanza termica e la permeabilità degli infissi una necessità.

Oggi, con il cambio di funzioni e le elaborate normative energetiche, questa caratteristica dell'involucro rappresenta una forte vulnerabilità dell'edificio, che necessita di essere superata per il miglioramento delle condizioni di benessere termo-igrometrico dell'utenza e per contenere i consumi per il condizionamento dell'ambiente. Tuttavia, gli stessi infissi che compromettono le prestazioni termiche dell'edificio sono anche uno degli elementi più caratterizzanti e iconici dell'edificio stesso, rendendo la loro conservazione uno degli obiettivi principali del progetto dal punto di vista del restauro, costituendo allo stesso tempo un forte vincolo nella definizione dell'intervento energetico.

In un primo momento è stata valutata l'ipotesi di un incremento delle prestazioni termiche degli infissi esistenti. Tra i vantaggi di questa opzione vi sono: il recupero completo degli infissi originali, riportati alla loro integrità estetica e funzionale; integrazione più semplice con gli altri interventi di coibentazione. Tuttavia, il clima rigido del canavese impone ai serramenti delle prestazioni termiche piuttosto elevate, con una U_{rif} = 1.4 W/m^{2}K. Il raggiungimento o superamento di tali prestazioni richiede, come minimo, l'impiego di una configurazione a vetrocamera con gas Argon o Kripton.

L'installazione di un profilo a vetrocamera sull'esile telaio metallico esistente è apparsa fin da subito una sfida alquanto complessa: il telaio esistente avrebbe dovuto essere rinforzato per sostenere il carico nettamente superiore dei nuovi vetri, avrebbe dovuto poi essere isolato internamente per aumentare le scarse prestazioni termiche e alcuni moduli particolarmente corrosi avrebbero potuto presentare ulteriori problematiche strutturali. Tali interventi di adeguamento, qualora tecnicamente fattibili, avrebbero comunque comportato modifiche irreversibili agli infissi originali e una sostanziale variazione della loro immagine.

La strategia progettuale per l'involucro trasparente si è quindi orientata sulla separazione delle funzioni: gli infissi originali sarebbero stati restaurati e la loro immagine conservata, mentre le funzioni tecniche sarebbero state delegate ad una seconda pelle di nuova realizzazione posta sul lato interno.

In fase di progettazione del nuovo involucro trasparente, non si è tenuto conto solamente dei requisiti minimi di legge (U_{rif} = 1.4 W/m^{2}K), studiando una configurazione telaio / vetro che fosse in grado di raggiungere prestazioni superiori e conseguire due obiettivi principali:

1. contenere le dispersioni termiche durante la stagione invernale;
2. ridurre l'apporto termico da irraggiamento durante la stagione estiva.

A tal fine sono state adottate le seguenti soluzioni tecniche:

a. Telai metallici a taglio termico con U_f = 1.3 W/m^{2}K;
b. Vetrocamera con vetri stratificati 33.1-16-33.1 e riempimento con gas Argon, U_g = 1 W/m^{2}K;
c. Rivestimento basso emissivo per il contenimento delle dispersioni invernali
d. Rivestimento selettivo per il controllo dell'apporto solare nella stagione estiva
e. Tendaggi esterni a rullo per il controllo solare e dell'abbagliamento

\Infine, per ragioni di accessibilità e manutenzione degli infissi esistenti dall'interno dell'edificio, così come per le differenti caratteristiche geometriche dei moduli-infissi, è stato necessario adottare due sistemi differenti per il Piano Terra e il Piano Primo. Nel primo caso, date le dimensioni dei moduli vetrati (h = 6 m, l = 3 m), si è optato per un sistema di facciata vetrata tipo "SECCO 4F 2", con montanti e traversi dalle dimensioni importanti per sostenere i carichi e le sollecitazioni laterali generate da una vetrata di queste dimensioni. Nel secondo caso invece, al piano della Biblioteca, l'altezza e larghezza del modulo originale (h = 4.9 m, l = 0.46 m) hanno reso preferibile l'adozione di un sistema infisso tradizionale ad ante, caratterizzato da un'apertura a libro: una caratteristica resa necessaria dall'impossibilità di distanziare a sufficienza la nuova vetrata da quella esistente, richiedendo di aprire completamente i nuovi infissi per accedere a quelli esistenti.

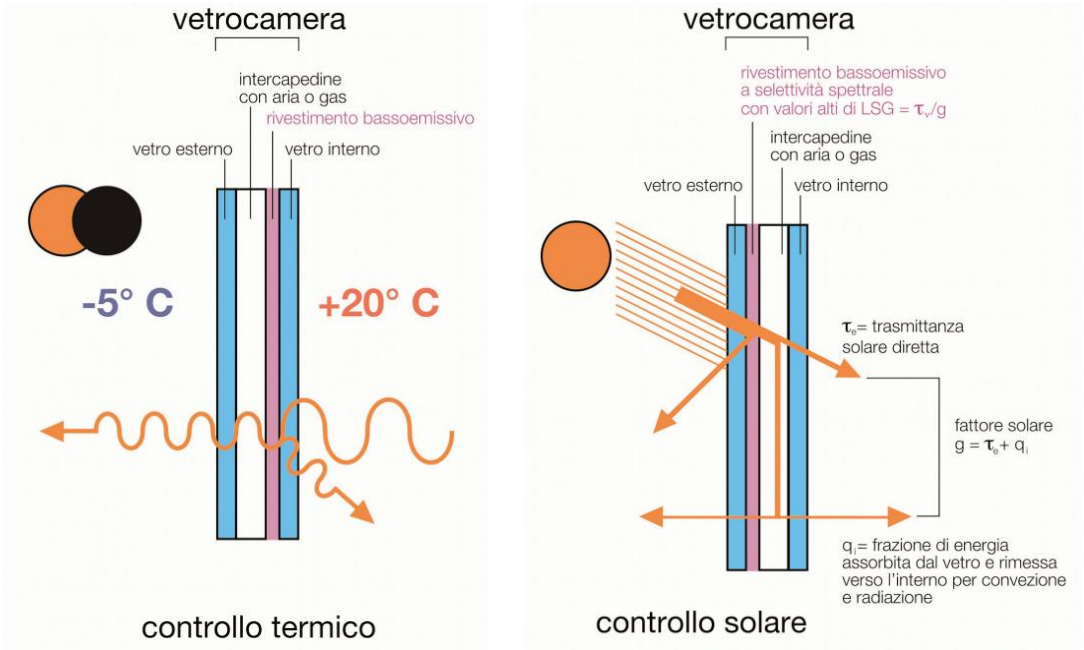


Figura 5.7-2: Stratigrafia e funzionamento dei sistemi di rivestimento basso emissivo e di controllo solare, tecnologie in grado di migliorare sensibilmente le prestazioni termiche di edificio ad alta trasparenza (https://www.mondadorieducation.it/risorse/media/secondaria_secondo/costruzioni/koenig_schede/bioeco_schede_pdf/10_bioeco.pdf)

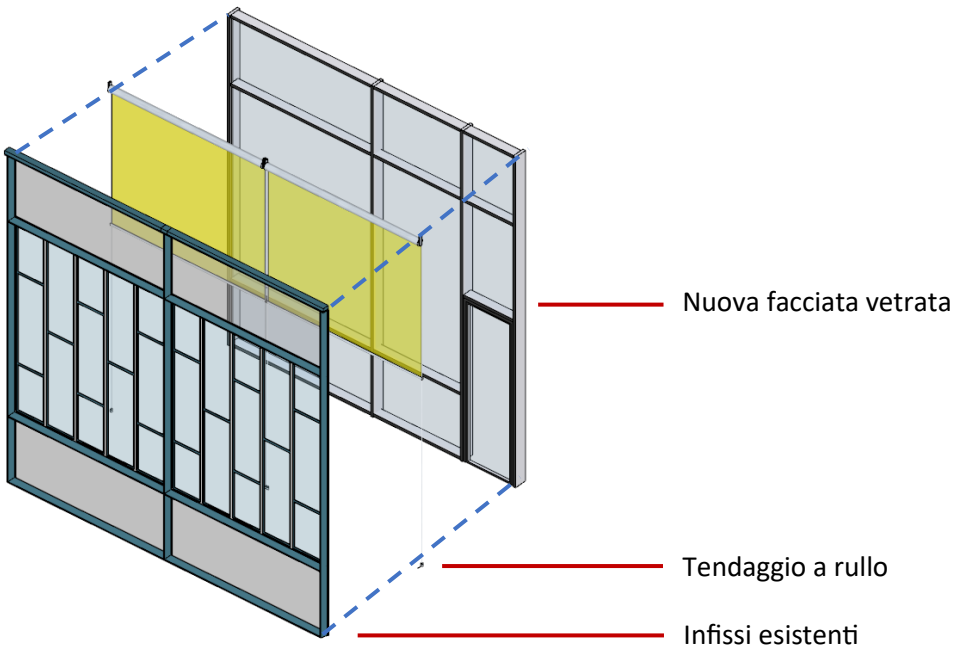


Figura 5.7-3: Piano Terra, efficientamento involucro trasparente

5.7.3 Impianti di climatizzazione e ventilazione: valutazioni preliminari

La scelta dello schema di impianto per il condizionamento dell'aria e le modalità di ventilazione dell'edificio sono di estrema importanza, non solo per una confortevole e sana fruizione da parte degli utenti, ma anche per l'impatto che questo ha sugli aspetti architettonici. Per questo tali tematiche sono state affrontate di pari passo con la proposta progettuale, al fine di garantire la perfetta integrazione tra gli impianti meccanici e la composizione architettonica.

Il caso della Centrale Termica presentava diversi vincoli e necessità:

- La doppia pelle vetrata di nuova fattura rendeva difficoltosa l'ipotesi di una ventilazione naturale;
- Le destinazioni d'uso previste, come quelle museali, richiedevano una certa reattività da parte degli impianti nel controllo della temperatura e della ventilazione;
- Le necessità architettoniche hanno escluso l'ipotesi di utilizzo di corpi riscaldanti o raffrescanti a vista;
- La complessità delle funzioni previste e i piani di nuova realizzazione riducevano gli spazi disponibili per l'impiantistica;
- L'elevata superficie vetrata dell'edificio richiedeva l'implementazione di soluzioni ad alte prestazioni per il contenimento dei consumi.

Si è pertanto scelto di impiegare una tipologia di impianto misto aria-acqua dove:

- La temperatura degli ambienti viene regolata da un diffuso sistema di pannelli radianti a pavimento, integrati in massetti a conducibilità aumentata nel caso dei solai esistenti, installati in sistemi bassa inerzia nei nuovi solai di tipologia a secco;
- L'apporto di aria primaria viene completamente demandato ad un sistema di Ventilazione Meccanica Controllata integrato con un sistema di recupero del calore, dove i parametri di concentrazione degli inquinanti e di umidità relativa sono controllati da cinque Unità di Trattamento dell'Aria (UTA);
- Per la generazione di calore si è previsto l'allaccio al servizio di teleriscaldamento offerto dalla vicina nuova centrale termica, mentre il raffrescamento in regime estivo viene assicurato da un impianto di pompe di calore, collegato ai cinquantotto pannelli fotovoltaici posti in copertura.

Sebbene infatti in un primo momento si fosse ipotizzato di adottare un impianto a tutt'aria, una delle soluzioni più adatte alla destinazione museale, un primo dimensionamento ha confermato i timori legati alle dimensioni delle condotte d'aria, che avrebbero facilmente superato diametri di un metro rendendone impossibile l'installazione negli ambienti della Centrale. Dovendo necessariamente fornire il ricambio d'aria mediante un sistema di ventilazione meccanizzata, si è optato per un impianto misto. L'impianto di ventilazione meccanica servito da UTA e dotato di recupero dell'energia permette infatti il massimo controllo sulla qualità dell'aria interna, immettendo aria primaria filtrata e con umidità relativa idonea ad ambienti speciali quali l'Archivio, estraendo l'aria esausta dai locali dove si producono maggiori inquinanti (bagni, officine), oltre che un elevato risparmio energetico grazie allo scambio termico tra aria primaria ed aria esausta. Per quanto concerne la scelta del corpo di scambio termico, la scelta è ricaduta su un sistema di pannelli radianti data la compatibilità con il sistema impiantistico e di generazione termica/frigorifera scelto, così come le caratteristiche di minimo impatto architettonico, adottando una soluzione a pavimento in modo tale da mantenere il massimo grado di flessibilità impiantistica all'interno delle controsoffittature.

Le valutazioni di natura impiantistica sono arrivate a sviluppare un pre-dimensionamento delle condotte aerauliche e lo sviluppo delle logiche di distribuzione delle stesse, in modo tale da perseguire la metodologia di progettazione integrata dichiarata in precedenza.

5.7.3.1 Il calcolo delle portate d'Aria Primaria

Nel processo di dimensionamento delle condotte aerauliche sono determinanti le portate d'aria necessarie per i singoli locali, un calcolo che può essere effettuato seguendo le più recenti normative in materia di inquinanti ed aria primaria. In particolare, è stata impiegata principalmente la normativa UNI EN 16798 *Prestazione energetica degli edifici - Ventilazione per gli edifici - Parte 1*, che definisce le portate di aria di ventilazione tenendo in considerazione sia la quota di inquinamento "variabile", data dall'affollamento (portata per persona), sia la quota di inquinanti "base", data dagli arredi e materiali edili, calcolata sulla dimensione del locale stesso. La normativa introduce delle categorie di prestazione che consentono di calibrare le portate d'aria rispetto al livello di comfort di progetto. Nel caso della Centrale si è scelto di combinare l'apporto di aria per persona della cat. III con il flusso d'aria di "base" della cat. II: una strategia che evita il sovradimensionamento della componente di aria da affollamento – intrinsecamente variabile – ma non trascura gli inquinanti di "fondo" di alcuni locali come quelli laboratoriali, rappresentando un buon compromesso tra la qualità dell'aria interna ed i volumi di aria da movimentare e climatizzare.

La peculiarità della destinazione d'uso di alcuni ambienti, come ad esempio quelli laboratoriali dedicati alle stampe 3D o i magazzini e gli archivi, hanno reso preferibile in questi casi basare il calcolo delle portate d'aria sulla normativa UNI 10339/1995.

Category	Total design ventilation air flow rate for the room	
	l/(s per person)	l/(s* m²)
I	20	2
II	14	1,4
III	8	0,8
IV	5,5	0,55

Figura 5.7-4: Valori delle portate d'aria primaria richieste in base alla categoria di prestazione, secondo UNI EN ISO 16798-1

							UNI EN 16798-1 | Metodo 3 | CAT. II-III								UNI 10339/1995		
PIANO	Locale		Geometria locale			Metodo di calcolo	Portata aria primaria su PERSONA				Portata aria primaria su AREA			**Totale**	Portata aria primaria		
	Codice	Descrizione	Area [m^2]	Altezza [m]	Volume [m^3]		(l/s)/p	n° p	Portata [l/s]	Portata [m^3/s]	(l/s)/m^2	Portata [l/s]	Portata [m^3/s]	Portata [m^3/s]	Vol/h	Portata [m^3/h]	Portata [m^3/s]
Piano Interrato	PS.1	Fab-Lab	188	4.3	808.4	UNI EN 16798	8	40	320	**0.320**	1.4	263.20	**0.263**	**0.583**			
	PS.2	3D Print	24.5	3	73.5	UNI 10339:1995									10	735.000	0.204
	PS.3	Officina	24.5	3	73.5	UNI EN 16798	8	4	32	**0.032**	1.4	34.30	**0.034**	**0.066**			
	PS.4	Taglio	23	3	69	UNI 10339:1995									10	690.000	0.192
	PS.5	WC	11	2.7	29.7	UNI 10339:1995									10	297.000	0.083
	PS.6	Magazzino Museo	205	4.3	881.5	UNI 10339:1995									1.5	1322.250	0.367
	PS.7	Archivio - Biblioteca	253	4.3	1087.9	UNI 10339:1995									1.5	1631.850	0.453
	PS.8	Locale Tecnico	60	4.3	258	UNI 10339:1996									1.5	387.000	0.108
	PS.9	Locale UTA C	44	5.3	233.2	UNI 10339:1998									1.5	349.800	0.097
	PS.10	Esposizione perm.	222	4.3	954.6	UNI EN 16798	8	40	320	**0.320**	1.4	310.80	**0.311**	**0.631**			
Piano Terra	PT.1	Laboratorio	98	2.9	284.2	UNI EN 16798	8	32	256	**0.256**	1.4	137.20	**0.137**	**0.393**			
	PT.2	Uffici Lab	23	2.9	66.7	UNI EN 16798	8	3	24	**0.024**	1.4	32.20	**0.032**	**0.056**			
	PT.3	Corridoio laboratorio	101	2.9	292.9	UNI EN 16798					1.4	141.40	**0.141**	**0.141**			
	PT.4	Gradonata	50		300	UNI EN 16798	8	40	320	**0.320**	1.4	70.00	**0.070**	**0.390**			
	PT.5	Officina	28	2.7	75.6	UNI EN 16799	8	5	40	**0.040**	1.4	39.20	**0.039**	**0.079**			
	PT.6	Vano scale	46	6	276	UNI EN 16798					1.4	64.40	**0.064**	**0.064**			
	PT.7	WC	33	2.7	89.1	UNI 10339:1995									10	891.000	0.248
	PT.8	Ripostiglio	8.6	2.7	23.22	UNI EN 16798					1.4	12.04	**0.012**	**0.012**			
	PT.9	Vano Scale	49	2.9	142.1	UNI EN 16798					1.4	68.60	**0.069**	**0.069**			
	PT.10	Restauro	46	2.9	133.4	UNI EN 16798	8	3	24	**0.024**	1.4	64.40	**0.064**	**0.088**			
	PT.11	Mostra temp. VU	198	3	594	UNI EN 16798	8	25	200	**0.200**	1.4	277.20	**0.277**	**0.477**			
	PT.12	Esposizione Città	123	2.9	356.7	UNI EN 16798	8	25	200	**0.200**	1.4	172.20	**0.172**	**0.372**			
	PT.13	Hall	254	5.5	1397	UNI EN 16798	8	25	200	**0.200**	1.4	355.60	**0.356**	**0.556**			
	PT.14	Esposizione perm.	205	5.5	1127.5	UNI EN 16798	8	25	200	**0.200**	1.4	287.00	**0.287**	**0.487**			
	PT.15	Archivio			3503.5	UNI 10339:1995									1.5	5255.250	1.460
Piano Primo	P1.1	Uffici Archivio	161	2.7	434.7	UNI EN 16798	8	14	112	**0.112**	1.4	225.40	**0.225**	**0.337**			
	P1.2	Uffici Tecno.	34	2.7	91.8	UNI EN 16798	8	6	48	**0.048**	1.4	47.60	**0.048**	**0.096**			
	P1.3	Uffici Tecno.	25	2.7	67.5	UNI EN 16799	8	2	16	**0.016**	1.4	35.00	**0.035**	**0.051**			
	P1.4	WC	16.5	2.5	41.25	UNI 10339:1995									10	412.500	0.115
	P1.5	Hall Uffici	30	2.5	75	UNI EN 16798					1.4	42.00	**0.042**	**0.042**			
	P1.6	Vano Scale	42	3	126	UNI EN 16798					1.4	58.80	**0.059**	**0.059**			
	P1.7	Sala Riunioni	32	2.5	80	UNI EN 16798	8	12	96	**0.096**	1.4	44.80	**0.045**	**0.141**			
	P1.8	Corridoio	10.5	3	31.5	UNI EN 16798					1.4	14.70	**0.015**	**0.015**			
	P1.9	Ristoro	32	2.7	86.4	UNI 10339:1995									6	518.400	0.144
	P1.10	Mostra temp. VU	308	3	924	UNI EN 16798	8	25	200	**0.200**	1.4	431.20	**0.431**	**0.631**			
	P1.11	Mostra temp.	106	3.2	339.2	UNI EN 16798	8	25	200	**0.200**	1.4	148.40	**0.148**	**0.348**			
Piano Secondo	P2.1	Biblioteca	124	3.3	409.2	UNI EN 16798	8	20	160	**0.160**	1.4	173.60	**0.174**	**0.334**			
	P2.2	Consultazione	51	3.3	168.3	UNI EN 16799	8	7	56	**0.056**	1.4	71.40	**0.071**	**0.127**			

Tabella 5.7-1: calcolo delle portate d'aria primaria per i singoli locali secondo le normative di riferimento

UTA	Locale		Immissione	Estrazione	Dimensionamento Immissione		Dimensionamento Estrazione	
	Codice	Descrizione	[m³/s]	[m³/s]	A tubo [m²]	D tubo [m]	A tubo [m²]	D tubo [m]
B	PS.1	Fab-Lab	0.583		0.146	0.431		
B	PS.2	3D Print		0.204			0.051	0.255
B	PS.3	Officina		0.066			0.017	0.145
B	PS.4	Taglio		0.192			0.048	0.247
B	PS.5	WC		0.124			0.031	0.199
A	PS.6	Magazzino Museo	0.367	0.367	0.092	0.342	0.092	0.342
A	PS.7	Archivio - Biblioteca	0.453	0.453	0.113	0.380	0.113	0.380
A	PS.8	Locale Tecnico	0.108	0.108	0.027	0.185	0.027	0.185
C	PS.9	Locale UTA C	0.097	0.097	0.024	0.176	0.024	0.176
C	PS.10	Esposizione perm.	0.631	0.631	0.158	0.448	0.158	0.448
B	PT.1	Laboratorio	0.393		0.098	0.354		
B	PT.2	Ufficio Lab	0.056		0.014	0.134		
B	PT.3	Corridoio laboratorio		0.141			0.035	0.212
D	PT.4	Gradonata	0.390	0.351	0.098	0.352	0.088	0.334
B	PT.5	Officina	0.079	0.079	0.020	0.159	0.020	0.159
B	PT.6	Vano scale		0.032			0.008	0.101
B	PT.7	WC		0.248			0.062	0.281
B	PT.8	Ripostiglio		0.006			0.002	0.044
A	PT.9	Vano Scale	0.069	0.069	0.017	0.148	0.017	0.148
A	PT.10	Restauro	0.088	0.088	0.022	0.168	0.022	0.168
D	PT.11	Mostre temp. VU	0.477	0.429	0.119	0.390	0.107	0.370
D	PT.12	Esposizione città	0.372	0.372	0.093	0.344	0.093	0.344
C	PT.13	Hall	0.556	0.389	0.139	0.421	0.097	0.352
C	PT.14	Esposizione perm.	0.487	0.487	0.122	0.394	0.122	0.394
A	PT.15	Archivio	1.460	1.460	0.365	0.682	0.365	0.682
E	P1.1	Uffici Archivio	0.337	0.337	0.084	0.328	0.084	0.328
E	P1.2	Uffici Tecno.	0.096		0.024	0.174		
E	P1.3	Uffici Tecno.	0.051		0.013	0.127		
E	P1.4	WC		0.115			0.029	0.191
E	P1.5	Hall Uffici	0.042		0.011	0.116		
A	P1.6	Vano Scale	0.059		0.015	0.137		
A	P1.7	Sala Riunioni	0.141		0.035	0.212		
A	P1.8	Corridoio		0.015			0.004	0.068
A	P1.9	Ristoro		0.144			0.036	0.214
E	P1.10	Mostra temp. VU	0.631	0.568	0.158	0.448	0.142	0.425
D	P1.11	Mostra temp.	0.348	0.348	0.087	0.333	0.087	0.333
A	P2.1	Biblioteca	0.334	0.334	0.083	0.326	0.083	0.326
A	P2.2	Consultazione	0.127	0.127	0.032	0.201	0.032	0.201

Bilancio d'aria:	IN [m³/s]	OUT [m³/s]	10% IN	DELTA IN - OUT
Lab. P-1	0.583	0.520	0.058	0.064
Lab. PT	0.529	0.506	0.053	0.022
Expo PT	1.892	1.678	0.189	0.214
Uffici	0.526	0.452	0.053	0.074
Servizi Uffici	0.200	0.159	0.020	0.041
Expo P1	2.872	2.594	0.287	0.278

UTA	IN [m³/s]	OUT [m³/s]	10% IN	DELTA IN - OUT
A	3.205	3.150	0.321	0.056
B	1.112	1.092	0.111	0.020
C	1.771	1.604	0.177	0.167
D	1.588	1.501	0.159	0.087
E	1.157	1.020	0.116	0.137

Velocità aria =	4	m/s

Tabella 5.7-2: progettazione delle portate d'aria in immissione ed estrazione per i singoli locali, verifica dei bilanci di massa per area e per UTA, dimensionamento condotte aerauliche

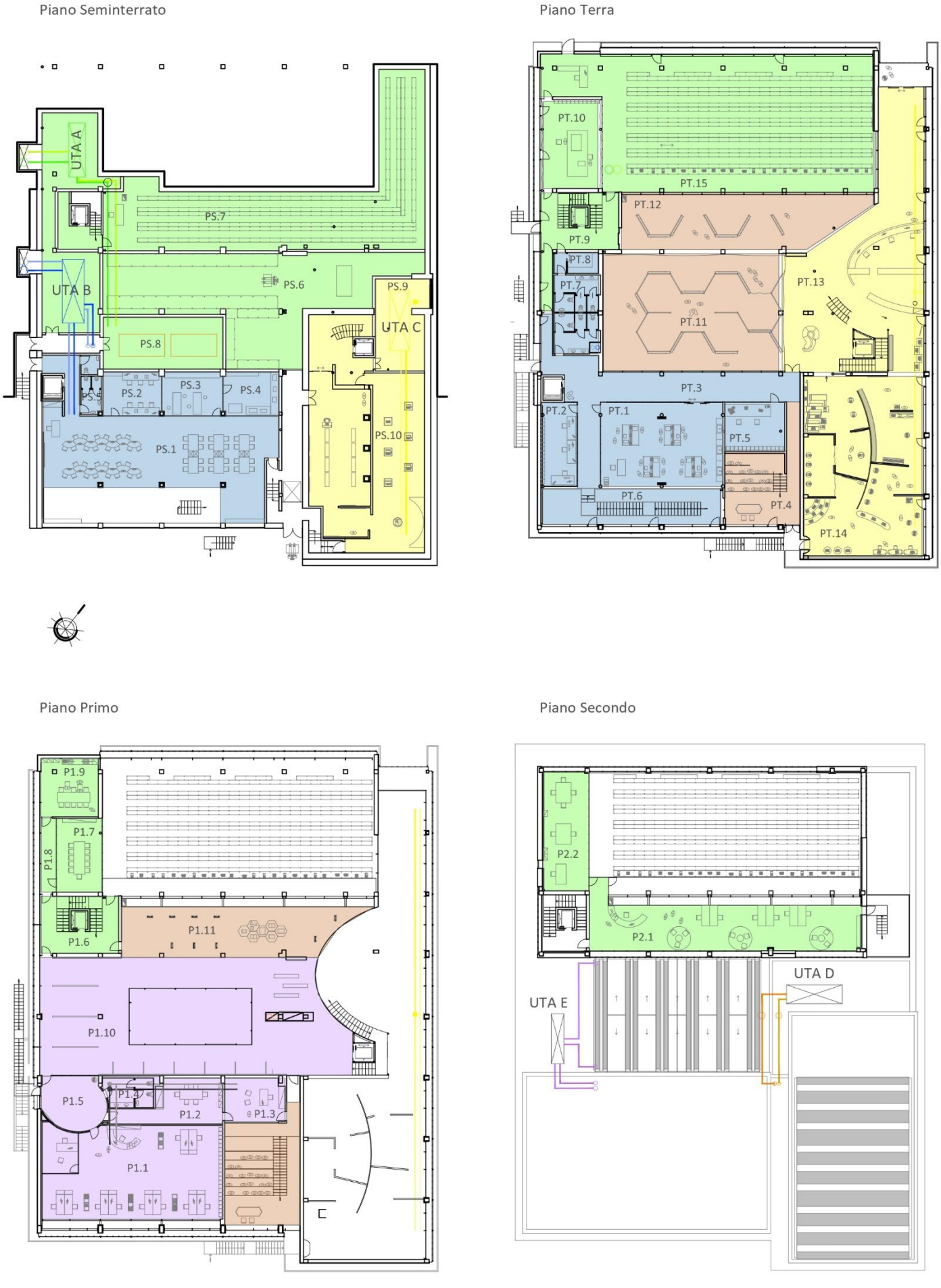


Figura 5.7-5: Planimetrie dei locali serviti da VMC con divisione in zone

5.8 Interventi strutturali: valutazioni preliminari

Il progetto sul costruito ha visto la realizzazione di nuovi solai e coperture in acciaio, rendendo necessarie delle valutazioni preliminari di natura strutturale in regime statico, sia per verificare la capacità residua delle strutture esistenti nell'assorbire i nuovi carichi, sia per condurre un pre-dimensionamento che indicasse ingombri e spessori delle nuove strutture. Ai fini delle verifiche statiche è stato necessario fare riferimento alla normativa vigente:

- *Norme tecniche per le costruzioni* di cui al D.M. LL.PP. 14.01.2008
- Circ. Cons. Sup. LL.PP. n. 617 del 02.02.2009, *Istruzioni per l'applicazione delle norme tecniche per le costruzioni* di cui al D.M. LL.PP. 14.01.2008
- Aggiornamento delle *Norme Tecniche per le Costruzioni* di cui al D.M. LL.PP. 17/01/2018.

Considerando che è stato possibile condurre solo l'analisi storico-critica del manufatto edilizio grazie ai numerosi disegni esecutivi ancora conservati, che in larga misura è nota la geometria degli elementi strutturali grazie al rilievo con laser scanner, e che tuttavia non è stato possibile condurre delle prove *in situ* per determinare le caratteristiche meccaniche dei materiali, si è deciso di adottare per tutte le verifiche che seguiranno un Livello di Conoscenza LC1 (basso), il quale corrisponde ad un fattore di confidenza FC = 1.35.

L'area dell'edificio interessata dalle maggiori modifiche, con un consistente incremento dei carichi portati sulle relative pilastrate, è certamente quella delle ex Caldaie, dove è prevista la realizzazione di due nuovi piani a cui si aggiunge la copertura reticolare portante dell'adiacente corte interna. Poiché tutti i pre-dimensionamenti delle altre strutture di progetto non erano orientate alla verifica delle strutture esistenti quanto più ad assicurare un'adeguata scelta dei profili metallici che le compongono, si ritiene opportuno riportare esclusivamente la verifica delle strutture esistenti, vero nodo critico dell'intero intervento. Nel condurre tali verifiche preliminari sono state adottate delle approssimazioni e semplificazioni:

a. verifica del pilastro per compressione semplice, escludendo quindi fenomeni di eccentricità dei carichi;
b. esclusione dell'azione verticale dovuta al vento, dato il suo marginale contributo al carico complessivo;
c. verifica condotta in regime statico, escludendo quindi l'azione orizzontale e verticale dovuta al sisma.

5.8.1 Dimensionamento del "Solaio a secco"

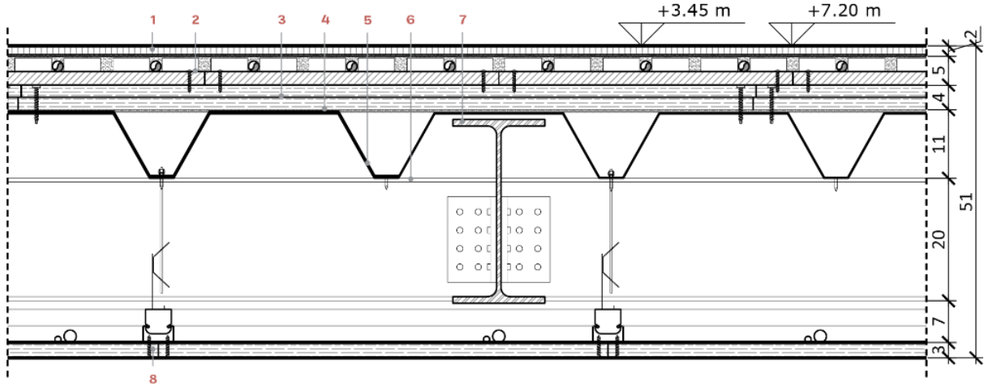
Durante la prima fase delle analisi si è proceduto nella determinazione dei carichi dovuti ai nuovi piani previsti dall'intervento, per i quali è stata progettata un'unica tipologia di solaio.

Un'importante indicazione progettuale ha guidato la scelta tecnologica delle nuove strutture: l'utilizzo esclusivo di elementi in acciaio e soluzioni a secco. Tale approccio è motivato sia dalla stringente necessità di contenere il peso dei nuovi solai per non sovraccaricare le fondazioni esistenti, sia dalla volontà di rendere gli interventi d'integrazione interna il più possibile reversibili e riconoscibili, rispettando l'identità del manufatto industriale tutelato.

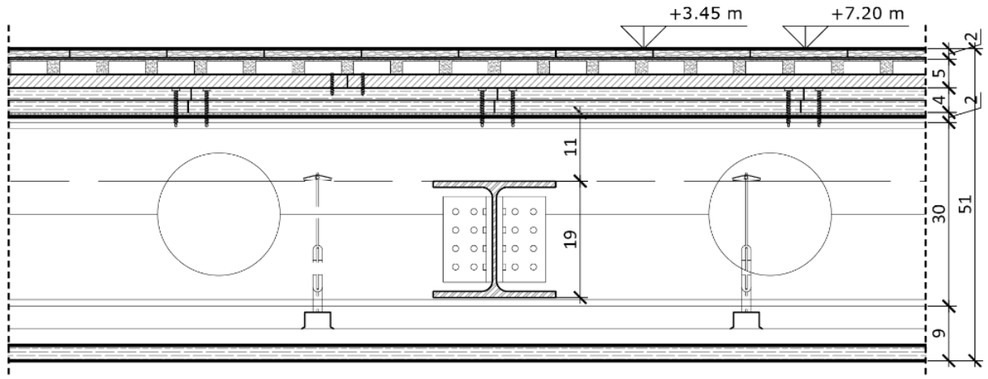
Per la stima dei carichi variabili è stata presa in considerazione la destinazione d'uso più gravosa prevista all'interno de "La Centrale" ovvero quella riferita agli spazi museali, Categoria C3 «Ambienti privi di ostacoli al movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni […]», caratterizzata da un carico variabile $q_k = 5$ kN/m^2.

Il primo passo operativo ha riguardato quindi la definizione dello schema statico e la progettazione del pacchetto solaio in tutte le sue componenti, proseguendo con l'analisi dei carichi e la successiva verifica della lamiera grecata.

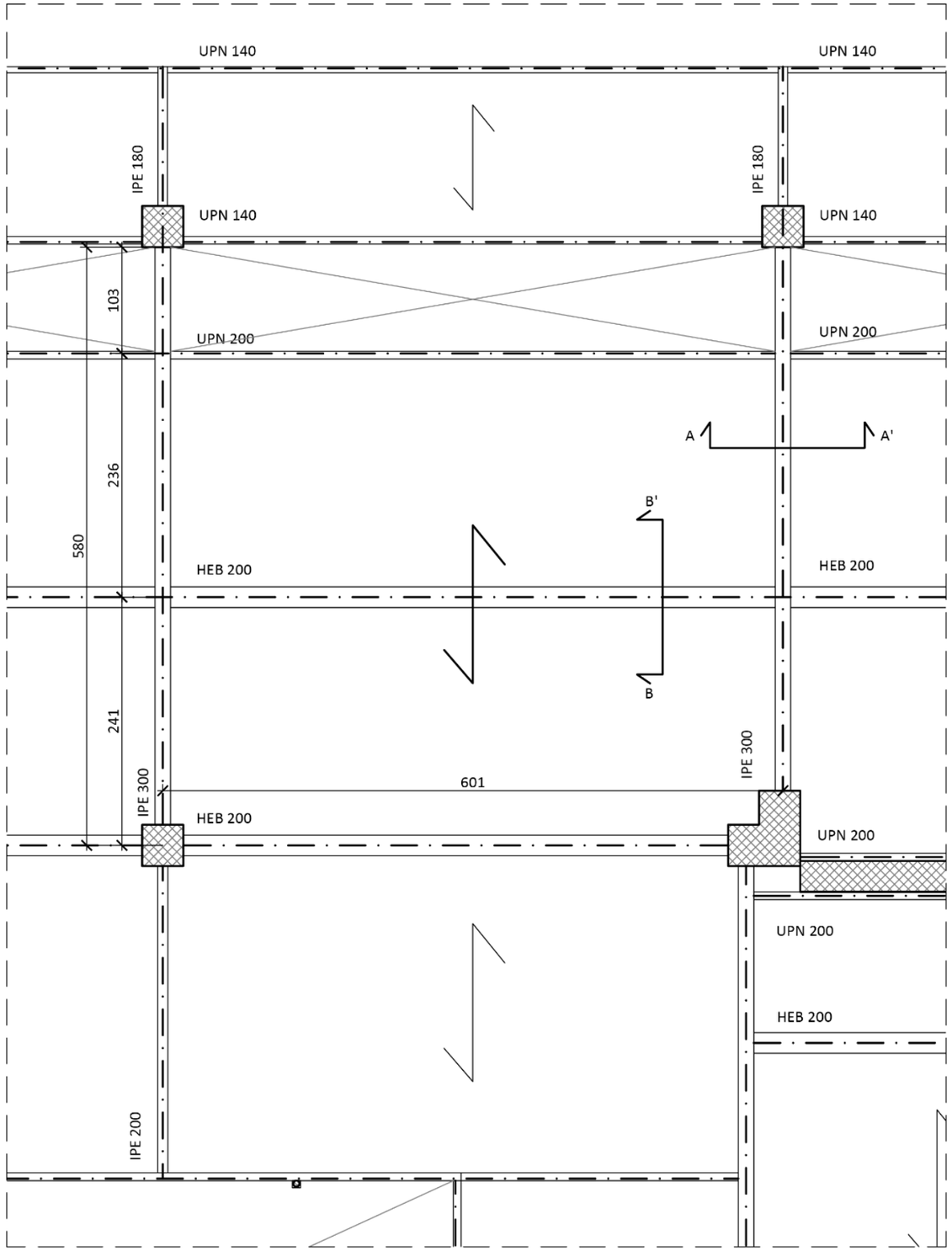
Solaio a secco | Sezione A-A’ 1:10



Solaio a secco | Sezione B-B’ 1:10



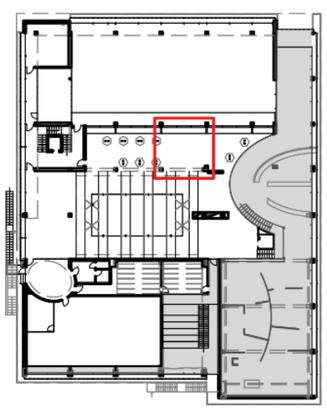
Pianta strutturale solaio P1 1:50



Legenda

1. Pavimentazione in parquet industriale di legno massello sp. 14 mm
2. Pannello radiante in cemento-legno ad alta resistenza meccanica tipo “Betonradiant” di BetonWood sp.22+22 mm
3. Pannello in cemento-legno ad elevata densità e resistenza meccanica tipo “Betonfloor” di BetonWood costituito da due pannelli accoppiati in fabbrica e profilo battentato sp. 20+20mm
4. Tappetino in fibra di legno per l’isolamento acustico; densità 250 Kg/m3/; sp. 0.4 mm
5. Lamiera grecata tipo “Sand 105 positive” di Sandrini metalli; Altezza 105 mm; sp. 1.5 mm
6. HEB 200
7. IPE 300
8. Pannello isolante termico ed acustico in lana di legno mineralizzata e legata con cemento Portland tipo “Celenit ABE”; SP. 25 mm

Keyplan P1



Il “Solaio tipo” è quindi costituito da un’orditura primaria di travi IPE fissata alle pilastrate esistenti per una luce complessiva di 5.60 metri, con una travatura secondaria costituita da travi HEB fissate alla mezzeria delle IPE mediante unione bullonata e l’impiego di profili UPN per le travi di bordo. La componente strutturale del solaio viene quindi completata con la posa di una lamiera grecata con orditura parallela alle IPE, adottando uno schema statico a doppia campata, la cui luce complessiva di 4.50 metri viene spezzata dalla trave HEB.

Al di sopra della grecata sono stati impiegati pannelli in legno-cemento per la formazione del piano di calpestio, per la posa dell’impianto radiante e della finitura lignea, mentre un controsoffitto fono-assorbente chiude il pacchetto tecnico all’intradosso del solaio. Tali carichi permanenti non strutturali (G2) associati al pacchetto di finitura del solaio a secco sono calcolati analiticamente combinando gli spessori nominali e le densità dei materiali, come riportato nella tabella sottostante:

	Materiale	Spessore [cm]	Densità [Kg/m^3]	Carico [KN/m^2]
1	Pav. Parquet	1.4	800	0.109
2	“Betonradiant”	4.4	-	0.437
3	“Betonfloor”	4	1350	0.529
4	Tappetino iso. acustico	0.4	250	0.00981
5	“Celenit ABE”	2.5	-	0.117
	TOTALE G2	**-**	**-**	**1.20**

Noti quindi i carichi permanenti non strutturali e la configurazione della lamiera grecata (a doppia campata continua con luce pari 2,3 m) così come il sovraccarico da museo (q_k = 5 kN/m^2), l’analisi delle tabelle di portata della lamiera grecata dichiarate dal costruttore selezionato (Sandrini Metalli) evidenzia la necessità di impiegare una lamiera tipo Sand 105 Positive con spessore nominale pari a 1,0 mm (acciaio strutturale S320GD). Tale elemento strutturale presenta un peso proprio di 12,31 kg/mq equivalente a un carico permanente strutturale G1 = 0,12 kN/mq**.**

Tabelle di portata (daN/m²) Load tables (daN/sqm) steel S320GD

Larghezza appoggio intermedio: 200 mm - Larghezza appoggio esterno: 100 mm — Internal support width: 200 mm - End support width: 100 mm

Sp. Th. mm	Interasse appoggi (m) / Carico uniformemente distribuito (daN/m²) — CAMPATA DOPPIA / Span (m) / Uniformly distributed load (daN/sqm) — DOUBLE SPAN																		
	Stato limite Limit state	2,60	2,80	3,00	3,20	3,40	3,60	3,80	4,00	4,20	4,40	4,60	4,80	5,00	5,20	5,40	5,60	5,80	6,00
1,15	SLU ULS	929	821	731	656	591	536	488	447	410	378	350	324	302	281	262	242	224	208
	1/150	664	587	522	468	422	383	349	319	293	270	250	232	215	201	187	173	160	149
	SLE* 1/200	664	587	522	468	422	383	349	319	293	270	250	232	215	201	187	173	160	149
	SLS* 1/250	664	587	522	468	422	383	349	319	293	270	250	232	215	201	187	173	160	149
	1/300	664	587	522	468	422	383	349	319	293	270	250	232	215	201	187	160	142	127

Figura 5.8-1: tabella dei carichi per la lamiera grecata SAN 105 positive di Sandrini metalli

Verifica grecata a Stato Limite Ultimo (SLU):

$$\gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} = 1{,}5 \cdot 1{,}20 + 1{,}5 \cdot 5{,}00 = 9{,}3 \text{ kN/m}^2$$

Verifica grecata a Stato Limite di Esercizio (SLE):

$$G_2 + \psi_{11} \cdot Q_{k1} = 1{,}20 + 0{,}5 \cdot 5{,}00 = 3{,}7 \text{ kN/m}^2$$

Successivamente, si procede al dimensionamento e alla verifica della travatura secondaria e principale del solaio portante. Lo schema prevede che le travi secondarie HEB, dotate di una superficie delle flange idonea, costituiscano il supporto ideale per spezzare la luce della lamiera grecata, facendosi carico delle aree di influenza del solaio. Queste travi andranno poi a scaricare le proprie reazioni concentrate in mezzeria delle travi principali di tipo IPE, dimensionate per resistere a sollecitazioni flessionali e di taglio maggiori.

Il carico uniformemente distribuito di progetto grava sulla trave secondaria di mezzeria coprendo una superficie d'influenza di circa 2.4 m x 6 m. Con un carico lineare combinato di 22,56 kN/m^2 (9,48 kN/m^2 x 2,4 m) e uno schema statico di trave appoggiata con due cerniere, risulta necessario impiegare un profilo HEB 200 (Acciaio S275), avente un peso proprio lineare pari a 61 kg/m, pari a un carico complessivo di 3.6 kN.

Di conseguenza, la trave principale IPE dovrà sostenere un carico concentrato in mezzeria pari a:

$$(9.48 \cdot 2.4 \cdot 6) + 1.5 \cdot 3.6 = 136kN + 4.7kN = 141.91\ kN$$

Per questo si adotta un profilo IPE 300 (Acciaio S355), avente peso proprio di 42.2 kg/m.

Quadro carichi **Solaio tipo**:

Tipologia	Descrizione	Carico unitario
G1	HEB 200	0.6 kN/m
G1	IPE 300	0.41 kN/m
G1	Lamiera grecata	0.12 kN/m^2
G2	"Solaio a secco"	1.20 kN/m^2
q_k	Affollamento musei	5 kN/m^2

5.8.2 Parametri meccanici e capacità dei pilastri esistenti

Dai disegni tecnici originali reperiti all'Archivio Storico Olivetti è possibile risalire alle specifiche del calcestruzzo e delle armature impiegate nella costruzione dell'edificio.

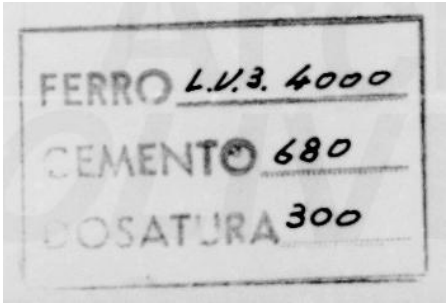


Figura 5.8-2: Estratto di un disegno esecutivo della Centrale Termica conservato presso l'Archivio Storico Olivetti

Per il calcestruzzo risulta essere stato impiegato un "Cemento = 680" con una "Dosatura = 300", da cui è possibile dedurre una resistenza normalizzata su malta di 680 kg/cm^2 e una dosatura di cemento pari a 300 kg/m^2. Una miscela che normalmente consentiva di raggiungere livelli di resistenza compresi tra i 20 e i 30 Mpa e che per questo ha portato all'assunzione di un valore R_{ck} = 25 Mpa. Tale valore può poi essere convertito in f_{ck} dalla relazione empirica:

$$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 0.83 \cdot 25 = 20.75\ MPa$$

Le barre in acciaio invece risultano avere una resistenza di 4000 kg/cm^2, equivalente a circa 392 Mpa. L'Area dell'armatura longitudinale si presume coprire circa l'1.5% della sezione totale del pilastro.

I valori di resistenza a compressione di progetto per i materiali, ridotti tramite i coefficienti parziali di sicurezza strutturale e il Fattore di Confidenza (FC = 1.35) derivante dal livello di conoscenza LC1, si calcolano come segue:

Resistenza di progetto del Calcestruzzo

$$f_{cd} = \frac{0.85 \cdot 20.75}{1.5 \cdot FC3} = \frac{11.75}{1.35} = 8.70\ MPa = 8700\ \frac{kN}{m^2}$$

Resistenza di progetto dell'Acciaio

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1.15 \cdot FC3} = \frac{392}{1.35} = 252 MPa = 252000\ \frac{kN}{m^2}$$

Lo sforzo assiale massimo resistente del pilastro (N_{Rd}) viene quindi calcolato sommando i contributi resistenti della sezione geometrica di calcestruzzo effettiva e delle barre metalliche:

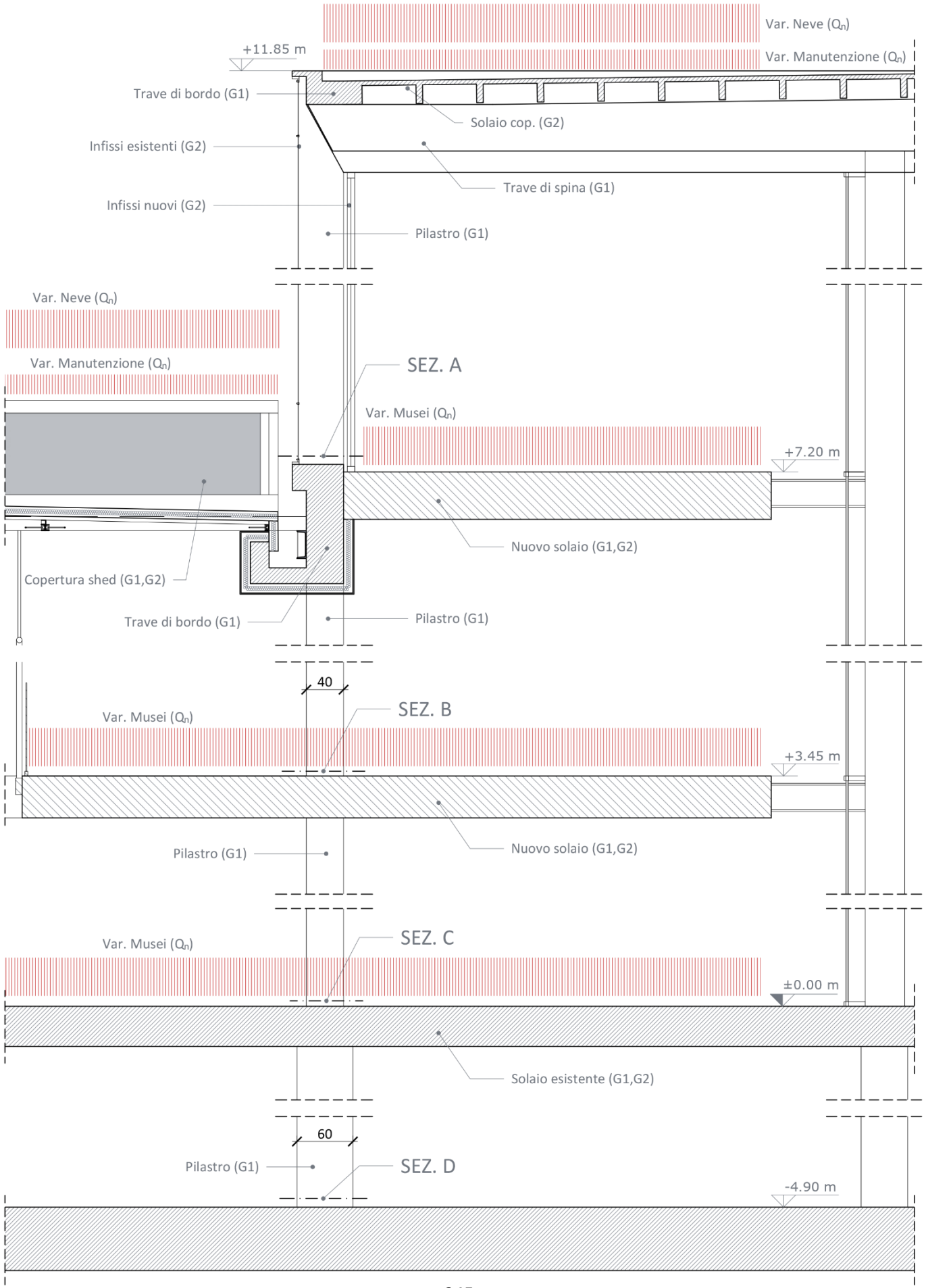
$$N_{Rd} = A_c \cdot f_{cd} + A_s \cdot f_{yd}$$

5.8.3 Verifiche locali di compressione del Pilastro

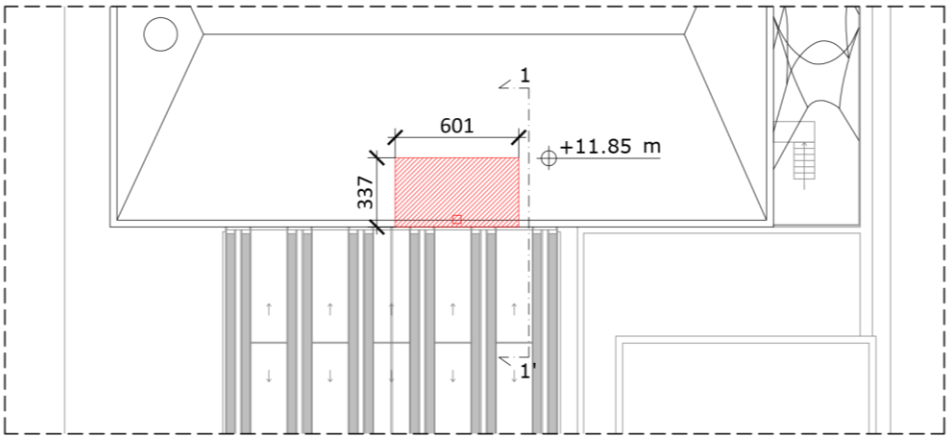
La pilastrata di riferimento che è stata scelta per le verifiche di compressione è la D-4, in quanto si sviluppa a tutta altezza sino alla copertura dell'ex Locale Caldaie ed è interessata dai carichi del ballatoio della corte centrale e della copertura shed di nuova realizzazione, risultando quella maggiormente coinvolta nella combinazione di carichi.

Le verifiche verranno quindi condotte in quattro sezioni del pilastro di riferimento, con le Sezioni A-B-C che vedono una dimensione del pilastro di 40 x 40 cm, mentre la Sezione D (seminterrato) risulta avere una dimensione di 60 x 60 cm.

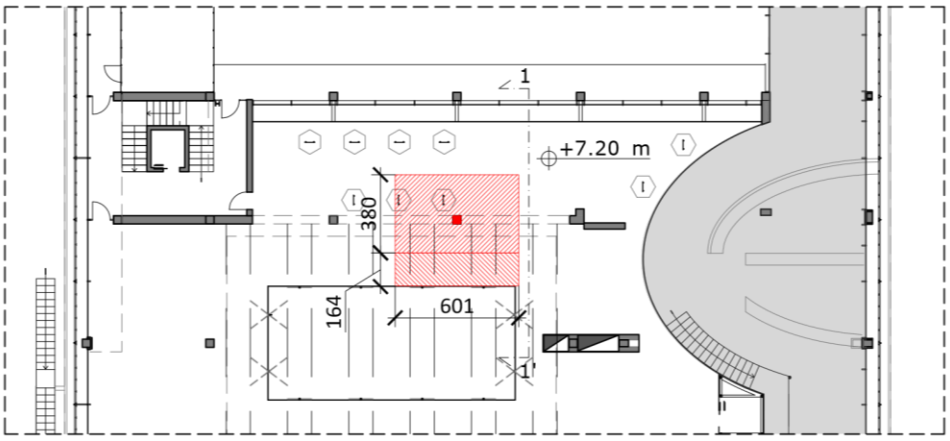
Analisi dei Carichi | Sezione 1-1'



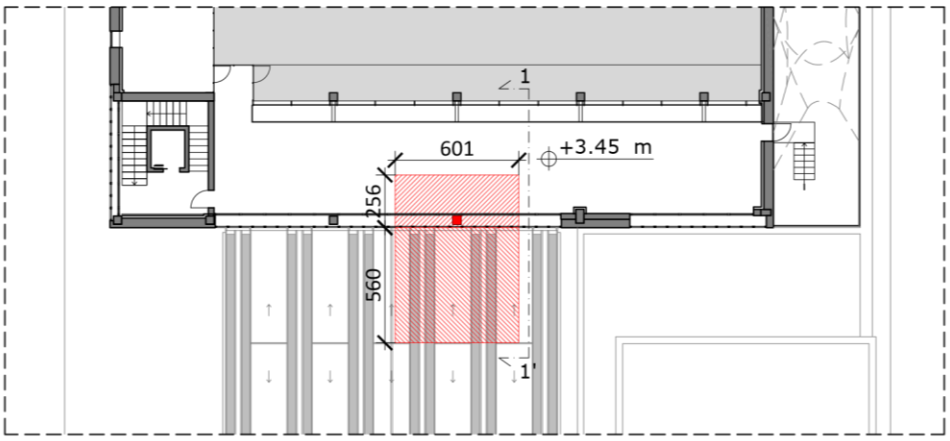
Copertura



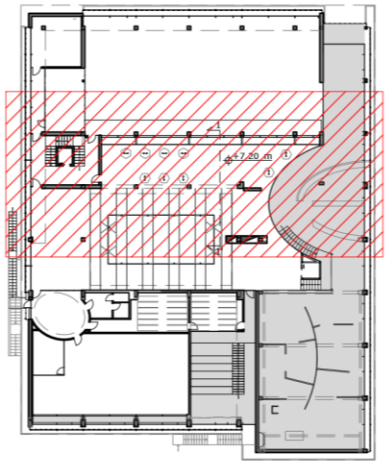
Piano Secondo



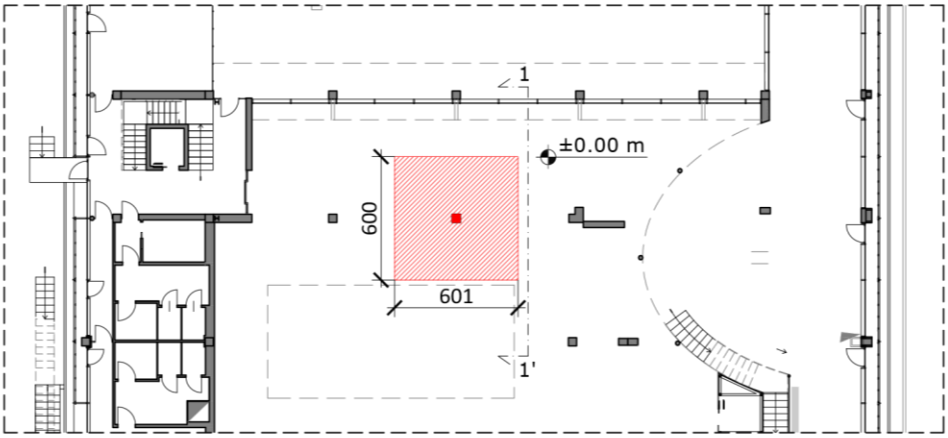
Piano Primo



Keyplan



Piano Terra



5.8.3.1 Calcolo compressione SEZ. A

Per il calcolo della compressione nella SEZ.A della pilastrata di riferimento occorre stabilire i carichi del solaio di copertura, delle travi di bordo e di spina, il peso proprio del pilastro ed i carichi variabili:

Carichi **SEZIONE "A"**

Tipologia	Descrizione	Carico unitario	Dimensione	Carico [kN]
G1	Trave in c.a. di spina	25.56 kN/m^3	0.96 m^3	24.53
G1	Trave in c.a. di bordo	25.56 kN/m^3	0.6 m^3	15.30
G1	Peso proprio pilastro	25.56 kN/m^3	0.59 m^3	15.00
G2	Solaio c.a.	3.36 kN/m^2	18 m^2	60.48
Q1	Neve	1.23 kN/m^2	18 m^2	22.14
Q2	Manutenzione	0.5 kN/m^2	18 m^2	9.00

$$\mathbf{SLU} = \mathbf{1.3 \cdot G1 + 1.5 \cdot G2 + 1.5 \cdot Q1 + 1.5 \cdot 0 \cdot Q2}$$

$$SLU = 1.3 \cdot (24.53 + 15.3 + 15) + 1.5 \cdot (60.48) + 1.5 \cdot (22.14) =$$

$$= 71.28 + 90.72 + 33.21 = \mathbf{195.21}\ kN$$

$$N_{ed} = 195.21\ kN$$

Per il calcolo dello sforzo assiale massimo resistente vale la formula:

$$N_{Rd} = A_c \cdot f_{cd} + A_s \cdot f_{yd}$$

Pertanto il suo valore nella Sezione A (40 x 40 cm) vale:

$$N_{Rd} = (0.4 \cdot 0.4 \cdot 0.985) \cdot 8700 + (0.4 \cdot 0.4 \cdot 0.015) \cdot 252000 = 1371 + 605 = \mathbf{1976}\ kN$$

$$N_{ed} = 195.21 < N_{Rd} = 1976\ kN$$

Il Pilastro risulta verificato alla SEZIONE A

5.8.3.2 Calcolo Compressione SEZ. B

Per la verifica del pilastro esistente nella Sezione B, occorre calcolare i carichi portati dalla copertura a Shed della corte centrale, la quale sostiene a sua volta una quota del relativo ballatoio del Piano Primo, oltre che i carichi del solaio della Biblioteca del Piano Secondo.

Si procede quindi all'analisi dei carichi della **copertura shed** di nuova realizzazione, il cui peso degli elementi è stato normalizzato su una superficie ideale piana di 1 m^2:

Tipologia	Elemento	Carico unitario [kN/m^2]
G1	Profilo metallico a “L” 30x3 mm	0.033
G1	Tubolare metallico 40x150 mm	0.118
G1	Profilo ad omega a “C” 40 mm	0.043
G1	Lamiera grecata coibentata	0.039
	TOTALE G1	**0.233**
G2	Pannellatura in policarbonato	0.049
Q2	Sovraccarico da Neve	1.23
Q3	Sovraccarico da Manutenzione	0.50

Mentre i carichi del **ballatoio del P1** risultano essere:

Tipologia	Descrizione	Carico unitario	Dimensione	Carico [kN]
G1	IPE 200	0.22 kN/m	1.5 m	0.33
G1	UPN 200	0.25 kN/m	6 m	1.50
G1	Lamiera grecata	0.12 kN/m^2	9.8 m^2	1.17
	TOTALE G1 ballatoio			**3.00**
G2	“Solaio a secco”	1.20 kN/m^2	9.8 m^2	11.76
Q1	Affollamento musei	5 kN/m^2	9.8 m^2	49.00

Carichi **SEZIONE “B”**

Tipologia	Descrizione	Carico unitario	Dimensione	Carico [kN]
G1	Copertura shed	0.233 kN/m^2	36 m^2	8.39
G1	Solaio P2	0.24 kN/m^2	16 m^2	3.84
G1	Ballatoio P1	-	-	3.00
G1	Trave di bordo in c.a.	25 kN/m^3	4.32 m^3	108
G1	Peso proprio pilastro	25 kN/m^3	0.4 m^3	10
	TOTALE G1			**133.23**
G2	Infissi esistenti P2	0.62 kN/m	6 m	3.72
G2	Infissi nuovi P2	1.96 kN/m	6 m	11.76

G2	Solaio P2	1.20 kN/m^2	15 m^2	18
G2	Ballatoio P1	1.20 kN/m^2	9.8 m^2	11.76
G2	Copertura shed	0.049 kN/m^2	36 m^2	1.76
	TOTALE G2			**57.00**
Q1	Affollamento P2	5 kN/m^2	16 m^2	80
Q1	Affollamento P1	5 kN/m^2	9.8 m^2	49
Q2	Neve (Shed)	1.23 kN/m^2	36 m^2	44.28
Q3	Manutenzione (Shed)	0.5 kN/m^2	36 m^2	18

$$\mathbf{SLU} = \mathbf{1.3 \cdot G1 + 1.5 \cdot G2 + 1.5 \cdot Q1 + 1.5 \cdot 0.2 \cdot Q2 + 1.5 \cdot 0 \cdot Q3}$$

$$SLU = 1.3 \cdot (133.23) + 1.5 \cdot (47) + 1.5 \cdot (80 + 49) + 1.5 \cdot 0.2 \cdot (44.28) =$$

$$= 173.20 + 70.5 + 193.5 + 13.28 = 450.48\ kN$$

$$N_{Ed} = 195.21 + 450.48 = \mathbf{645.70}\ kN$$

$$N_{Ed} = 645.70 < N_{Rd} = 1976\ kN$$

Il Pilastro risulta verificato alla SEZIONE B

5.8.3.3 Calcolo Compressione SEZIONE C

Oltre ai carichi già analizzati, la verifica del pilastro nella Sezione C richiede di considerare i carichi del solaio del Piano Primo, ivi compresa una quota dei carichi del ballatoio che rientrano nell'area di influenza del pilastro.

Tipologia	Descrizione	Carico	Dimensione	Carico [kN]
G1	Solaio P1	0.24 kN/m^2	25.6 m^2	6.15
G1	Peso proprio pilastro	25 kN/m^3	0.48 m^3	12.00
	TOTALE G1			**18.15**
G2	Solaio P1	1.20 kN/m^2	25.6 m^2	30.72
Q1	Affollamento P1	5 kN/m^2	25.6 m^2	128

$$\mathbf{SLU} = \mathbf{1.3 \cdot G1 + 1.5 \cdot G2 + 1.5 \cdot Q1}$$

$$SLU = 1.3 \cdot (18.15) + 1.5 \cdot (30.72) + 1.5 \cdot (128) =$$
$$= 23.6 + 46.08 + 192 = 261.68\ kN$$

$$N_{Ed} = 645.70 + 261.68 = \mathbf{907.38}\ kN$$

$$N_{Ed} = 907.38 < N_{Rd} = 1976\ kN$$

Il Pilastro risulta verificato alla SEZIONE C

5.8.3.4 Calcolo compressione Sezione D

Il pilastro sino ad ora esaminato vede un aumento della propria sezione al di sotto del solaio del Piano Terra, arrivano a misurare 60x60 cm. La verifica di resistenza a compressione dovrà pertanto tenere conto di questo aumento di capacità, aggiungendo ai carichi fino ad ora calcolati quelli derivanti dalla struttura orizzontale in laterocemento del Piano Terra e dei relativi carichi variabili.

Tipologia	Descrizione	Carico unitario	Dimensione	Carico [kN]
G1	Travi solaio PT	25 kN/m^3	4.65 m^3	116.25
G1	Soletta solaio PT	6.37 kN/m^2	36 m^2	229.32
G1	Peso proprio pilastro	25 kN/m^3	1.6 m^3	40
	TOTALE G1			385.57
G2	Solaio PT	1.22 kN/m^2	36 m^2	43.92
Q1	Affollamento musei	5 kN/m^2	36 m^2	180

$$\mathbf{SLU} = \mathbf{1.3 \cdot G1 + 1.5 \cdot G2 + 1.5 \cdot Q1}$$

$$SLU = 1.3 \cdot (385.57) + 1.5 \cdot (43.92) + 1.5 \cdot (180) =$$
$$= 501.24 + 65.88 + 270 = \mathbf{837.12}\ kN$$

$$N_{Ed} = 940.39 + 837.12 = \mathbf{1777.51}\ kN$$

Per il calcolo dello sforzo assiale massimo resistente vale la formula:

$$N_{Rd} = A_c \cdot f_{cd} + A_s \cdot f_{yd}$$

Pertanto il suo valore nella Sezione D (60 x 60 cm) vale:

$$N_{Rd} = (0.6 \cdot 0.6 \cdot 0.985) \cdot 8700 + (0.6 \cdot 0.6 \cdot 0.015) \cdot 252000 = 3085 + 1360 = \mathbf{4445}\ kN$$

$$N_{Ed} = 1777.51 < N_{Rd} = 4445\ kN$$

Il Pilastro risulta verificato alla SEZIONE D

5.8.4 Considerazioni sulle verifiche strutturali

La verifica della pilastrata maggiormente interessata dai carichi delle nuove strutture ha messo in luce la fattibilità tecnica degli interventi proposti, data l'ampia capacità resistente residua presente in ogni sezione del pilastro.

Occorre tuttavia ricordare i diversi limiti dell'analisi sino a qui condotta:

a. L'analisi è stata condotta in regime statico, escludendo così azioni orizzontali dinamiche dovute a fenomeni sismici. Le strutture esistenti datate sono state realizzate secondo tecniche obsolete per far fronte a tali eventi e l'aumento delle masse in quota dovute alla realizzazione dei nuovi piani aumenta le sollecitazioni di taglio cui i pilastri devono far fronte. Per tali ragioni, uno sviluppo dell'analisi strutturale dovrebbe verificare il comportamento globale e locale della struttura in risposta al sisma di riferimento.
b. Lo sforzo normale di compressione considerato per le verifiche dei pilastri è stato assunto di tipo semplice. Ciò significa che è stata esclusa l'eccentricità dei carichi trasmessi dai solai alla pilastrata nei diversi nodi strutturali, di fatto ignorando lo sforzo di flessione. Uno sviluppo dell'analisi strutturale dovrebbe indagarne gli effetti e verificare la resistenza del pilastro.
c. L'azione del vento è stata omessa per via della complessità del calcolo e del limitato contributo agli sforzi di compressione che essa genera nei pilastri. Tuttavia, potrebbe non essere trascurabile l'azione orizzontale sulle facciate verticali della Centrale, un'azione che dovrebbe essere tenuta in considerazione qualora si volesse approfondire la verifica a sforzo normale eccentrico.
d. Non sono stati verificati i plinti di fondazione rispetto ai nuovi carichi previsti dall'intervento di recupero dell'edificio. Sebbene sia nota la tipologia (plinti), il materiale archivistico circa la loro geometria non risulta sufficiente per elaborare un'analisi strutturale. Inoltre, la verifica delle fondazione e la loro interazione con il suolo avrebbe aggiunto un notevole grado di complessità all'analisi, andando oltre il livello di studio preliminare che si è posto come obbiettivo in questo lavoro di tesi.

5.8.5 Tecniche di consolidamento

Le caratteristiche prestazionali delle strutture esistenti, datate sia in termini tecnologia costruttiva che di invecchiamento dei materiali, abbinate alla realizzazione di nuove opere edili che portano nuovi carichi sulle

strutture, pongono dei quesiti di natura strutturale che una analisi preliminare condotta in regime statico come quella esposta nel paragrafo precedente non può certo dipanare. Molto probabilmente alcuni elementi critici dovranno essere necessariamente rinforzati, specialmente per far fronte ad azioni di natura dinamica, per garantire la massima sicurezza dell'edificio e il rispetto delle normative in materia. Per questa ragione saranno presentate due soluzioni particolarmente adatte al rinforzo di pilastri e travi esistenti in c.a., ampiamente utilizzate negli adeguamenti funzionali e sismici delle strutture intelaiate.

5.8.5.1 Incamiciatura

Una soluzione che frequentemente viene adottata per l'incremento delle capacità di resistenza di pilastri in c.a. esistenti è quello dell'incamiciatura. Questa soluzione prevede il ringrosso della sezione del pilastro esistente attraverso la posa di una nuova armatura superficiale e il conseguente getto di calcestruzzo. Attraverso l'impiego di opportuni connettori ancorati alla sezione esistente e annegati nel getto di nuova fattura, è possibile raggiungere una vera e propria collaborazione tra la sezione esistente e quella "corticale". Tale soluzione consente di migliorare la prestazione del pilastro esistente sotto diversi punti di vista:

a. Aumento della resistenza a sforzo normale
b. Aumento della resistenza a sforzo di flessione e/o taglio
c. Aumento della capacità deformativa
d. Aumento della durabilità complessiva

L'incamiciatura può essere realizzata mediante l'impiego di:

a. Calcestruzzo preconfezionato tradizionale, con classe di resistenza simile a quella del calcestruzzo impiegato per il pilastro esistente; tale scelta porta ad avere spessori dell'incamiciatura maggiori (5-10 cm), ma allo stesso tempo permette di verificare il pilastro come un unico elemento, data la ridotta differenza tra i due materiali.
b. Betoncino premiscelato, molto simile nella lavorazione al calcestruzzo preconfezionato, è in grado di fornire aumenti di resistenza a compressione, flessione e taglio considerevolmente superiori
c. Microcalcestruzzo fibrorinforzato ad elevate prestazioni (HPFRC), dotato di elevatissime prestazioni meccaniche, consente di contenere al minimo gli spessori della camicia (3 – 5 cm), assicurando valori di resistenza a flessione particolarmente elevati

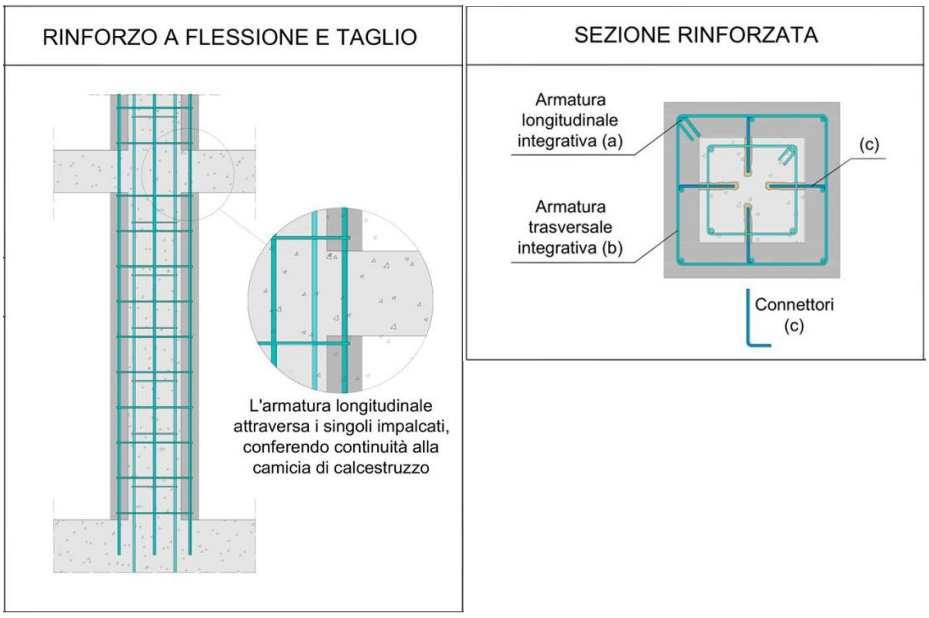


Figura 5.8-3: Sezione longitudinale e trasversale dell'incamiciatura di un pilastro in c.a. esistente (ORBOLATO et al.)

5.8.5.2 Fiber Reinforced Polymers (FRP)

Un'altra tecnica che si è rapidamente diffusa negli ultimi decenni grazie alle sue notevoli prestazioni meccaniche e i ridottissimi ingombri è quella che vede l'impiego di fasce di carbonio per la fasciatura di elementi strutturali in calcestruzzo armato. L'elevatissima resistenza a trazione offerta dalle fibre di carbonio (dai 3000 ai 5000 MPa) abbinata alla semplicità della sua applicazione sull'elemento strutturale oggetto di rinforzo hanno aperto il suo impiego a tutte le tipologie di consolidamento, tra cui:

a. Rinforzo a flessione, tramite l'applicazione di fasce di carbonio all'intradosso o estradosso dell'elemento strutturale;
b. Rinforzo a taglio e confinamento, tramite applicazione ad "U" o completa incamiciatura con le fibre di carbonio dell'elemento strutturale;
c. Confinamento dei nodi, tramite l'applicazione di fasce di carbonio quadriassiali

Il ricorso a questo tipo di soluzione risulta particolarmente vantaggioso in tutti quei casi dove è necessario prediligere il minimo impatto dell'intervento dal punto di vista architettonico – geometrico.

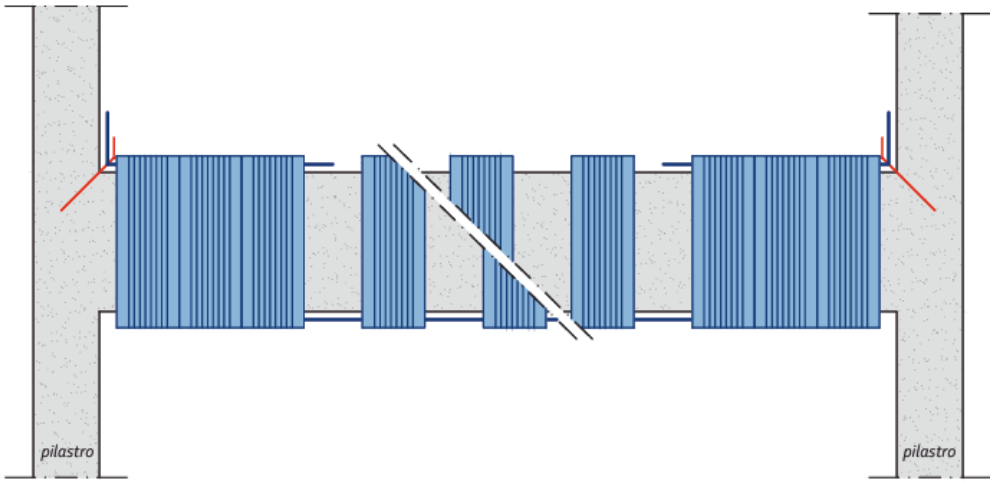


Figura 5.8-4: Schemi di applicazione delle fibre di carbonio ad una trave, per il rinforzo a flessione e taglio (Quaderno tecnico KIMIA)

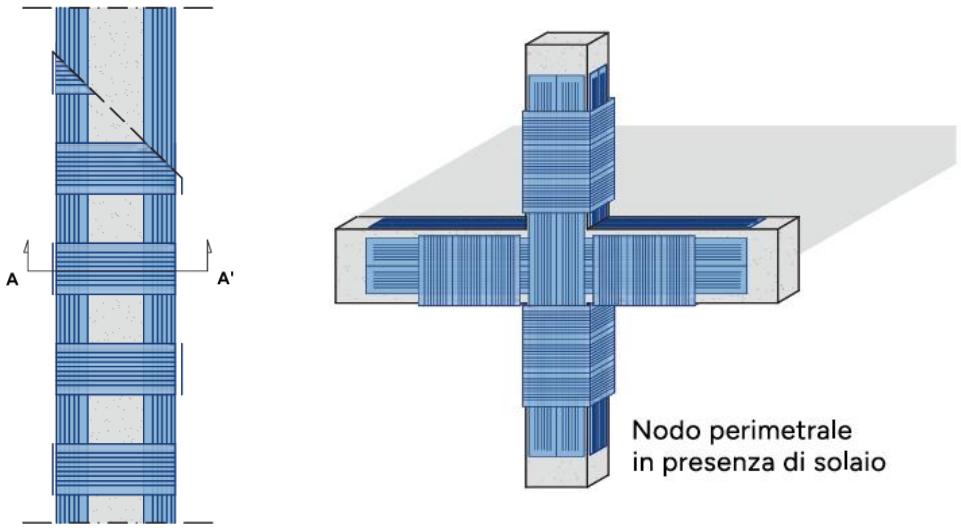


Figura 5.8-5: Schemi di applicazione delle fibre di carbonio ad elementi in c.a.; in basso a sx il rinforzo a flessione e confinamento di un pilastro, in basso a dx dettaglio del confinamento di un nodo pilastro-trave in presenza di solaio (Quaderno tecnico KIMIA).

5.9 Sviluppo dei dettagli costruttivi

Nel corso dell'elaborazione della proposta architettonica sono stati sviluppati alcuni dettagli costruttivi e soluzioni tecnologiche al fine di garantire la solidità tecnica del progetto, all'interno di una dinamica di correzione iterativa delle soluzioni funzionali e di quelle tecnologiche.

In particolare, sono state dettagliate:

- 5 Tipologie di solai e coperture dell'edificio (scala 1:5);
- 2 Sezioni verticali significative dell'involucro del Piano terra e del Piano Secondo (scala 1:50, 1:5);
- 2 Coperture Shed di Progetto (scala 1:50, 1:5).

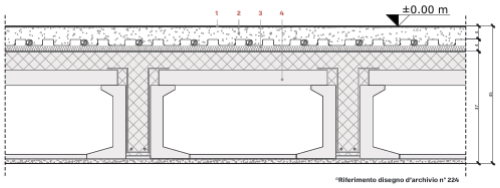
Le Tavole di progetto che contengono tali dettagli sono consultabili tra gli Allegati dell'elaborato di Tesi. Per completezza si riportano in forma ridotta nelle seguenti pagine.

TAV 19

POLITECNICO DI TORINO
Tesi di Laurea Magistrale
in Ingegneria Edile
Candidato: Luca Montemaggi

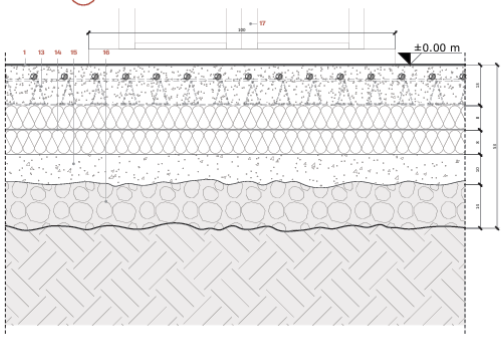
CENTRALE TERMICA OLIVETTI DI IVREA (E. VITTORIA, 1956-1959):
DAL RILIEVO GEOMATICO E CRITICO AL PROGETTO DI RECUPERO E RIFUNZIONALIZZAZIONE.
TIPOLOGIE DI SOLAI

Solaio S1 1:5

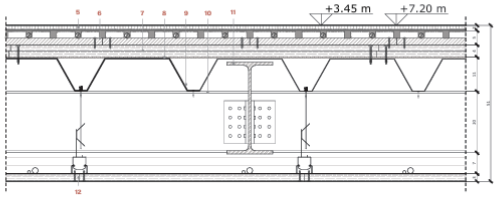


*Riferimento disegno d'archivio n° 224

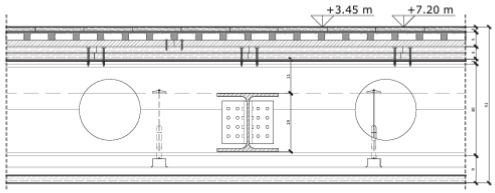
Solaio S2 1:5



Solaio S5 | Sezione A-A' 1:5



Solaio S5 | Sezione B-B' 1:5



Legenda

1 Strato di resina resiliente e impermeabile, lavorata mediante spazzolamento
2 Massetto radiante fibrorinforzato ad elevata conducibilità termica, antiritiro e a basso spessore tipo "Leca Paris 2.0"; sp. 4 cm
3 Sistema di riscaldamento e raffrescamento a pavimento formato da un pannello in polistirene espanso e bugnature in rilievo per alloggiamento impianto radiante tipo "Hi Tech" di Thermolutz; sp. 4 cm
4 Solaio latercemento esistente
5 Pavimentazione in parquet industriale di legno massello sp. 14 mm
6 Pannello radiante in cemento-legno ad alta resistenza meccanica tipo "Betoradiant" di BetonWood sp.22+22 mm
7 Pannello in cemento-legno ad elevata densità e resistenza meccanica tipo "Betonfloor" di BetonWood costituito da due pannelli accoppiati in fabbrica e profilo battentato sp. 20+20mm
8 Tappetino in fibra di legno per l'isolamento acustico; densità 250 Kg/m3; sp. 0.4 mm
9 Lamiera grecata tipo "Sand 105 positive" di Sandrini metalli; Altezza 105 mm; sp. 1.5 mm
10 HEA 200
11 IPE 300
12 Pannello isolante termico ed acustico in lana di legno mineralizzata e legata con cemento Portland tipo "Celenit ABE"; SP. 25 mm
13 Soletta in c.a. con impianto radiante per riscaldamento | Sistema tipo "Eurolndustry" di Eurotherm
14 Doppio pannello di isolante in vetro cellulare ad alta resistenza meccanica, impermeabile e anti-radon tipo "Foamglas" | λ = 0.041 W/mK
15 Magrone
16 Vespaio in pietrisco esistente
17 Scaffalature archivio automatizzato

Tipologie di solaio

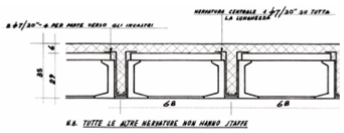
Piano interrato -4.90 m

Piano terra ± 0.00 m

Piano primo +3.45 m

Piano secondo +7.20 m

*Riferimento disegno d'archivio n° 224



TAV 20

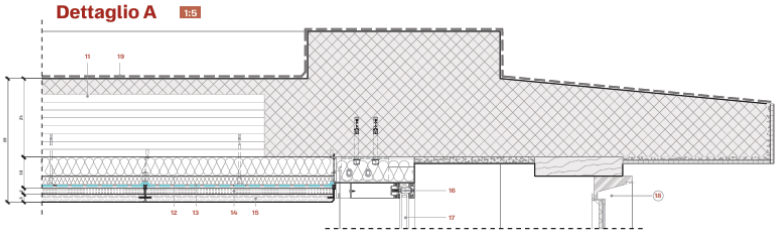
POLITECNICO DI TORINO
Tesi di Laurea Magistrale
in Ingegneria Edile
Candidato: Luca Montemaggi

CENTRALE TERMICA OLIVETTI DI IVREA (E. VITTORIA, 1956-1959):
DAL RILIEVO GEOMATICO E CRITICO AL PROGETTO DI RECUPERO E RIFUNZIONALIZZAZIONE.
TIPOLOGIE DI SOLAI E DETTAGLIO "A"

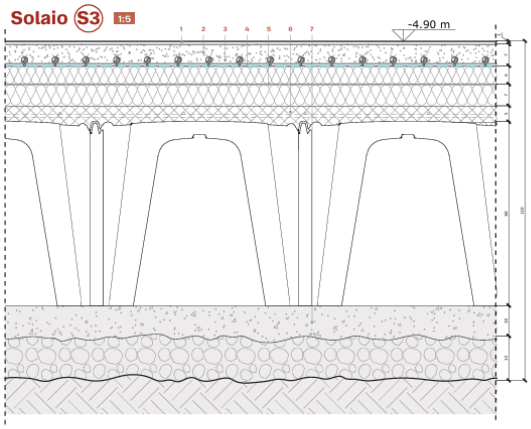
Legenda

1 Piastrelle in gres porcellanato (da definire)
2 Massetto radiante fibrorinforzato ad elevata conducibilità termica, antiritiro e a basso spessore tipo "Leca Paris 2.0"; sp. 4 cm
3 Impianto radiante per riscaldamento e raffrescamento fissato mediante aggraffatura
4 Foglio in alluminio
5 Isolante XPS; resistenza meccanica >300 KPa; λ = 0.34 W/mK
6 Vespaio areato h = 60 cm con soletta in calcestruzzo armato sp. 5 cm
7 Pavimentazione esistente
8 Soletta portante in c.a.
9 Vespaio areato h = 60 cm con soletta in calcestruzzo armato sp. 7 cm
10 Massetto
11 Solaio esistente in laterocemento
12 Isolante XPS tipo Stiferite 3+6 cm | λ = 0.22 W/mK
13 Barriera al vapore
14 Phase Change Material 20 mm
15 Pannello isolante termico ed acustico in lana di legno mineralizzata e legata con cemento Portland tipo "Celenit ABE"; SP. 25 mm
16 Sistema di facciata vetrata portante realizzata mediante profili in acciaio zincato a taglio termico tipo "Secco 4FS" | Uf = 1.3 W/m²K
17 Vetrocamera 33.1-16-33.1 con rivestimento selettivo e basso-emissivo | Ug = 1,0 W/m²K
18 Infissi metallici esistenti
19 Pittura riflettente tipo "coolroof" applicata su guaina bituminosa

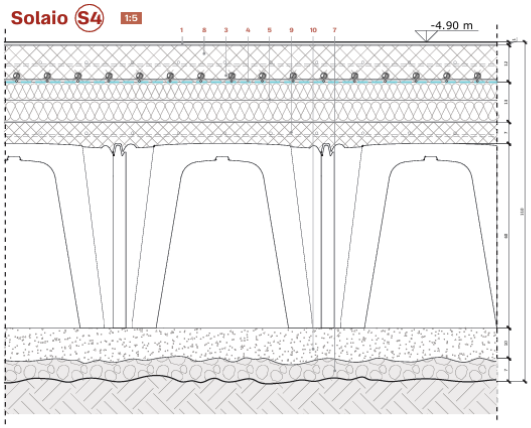
Dettaglio A 1:5



Solaio S3 1:5



Solaio S4 1:5



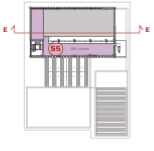
Tipologie di solaio

Piano interrato -4.90 m

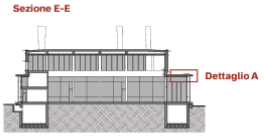
Piano terra ± 0.00 m

Piano primo +3.45 m

Piano secondo +7.20 m



Sezione E-E



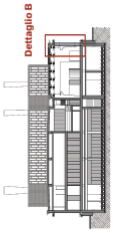
TAV 21

POLITECNICO DI TORINO
Tesi di Laurea Magistrale
in Ingegneria Edile
Candidato: Luca Montenegri

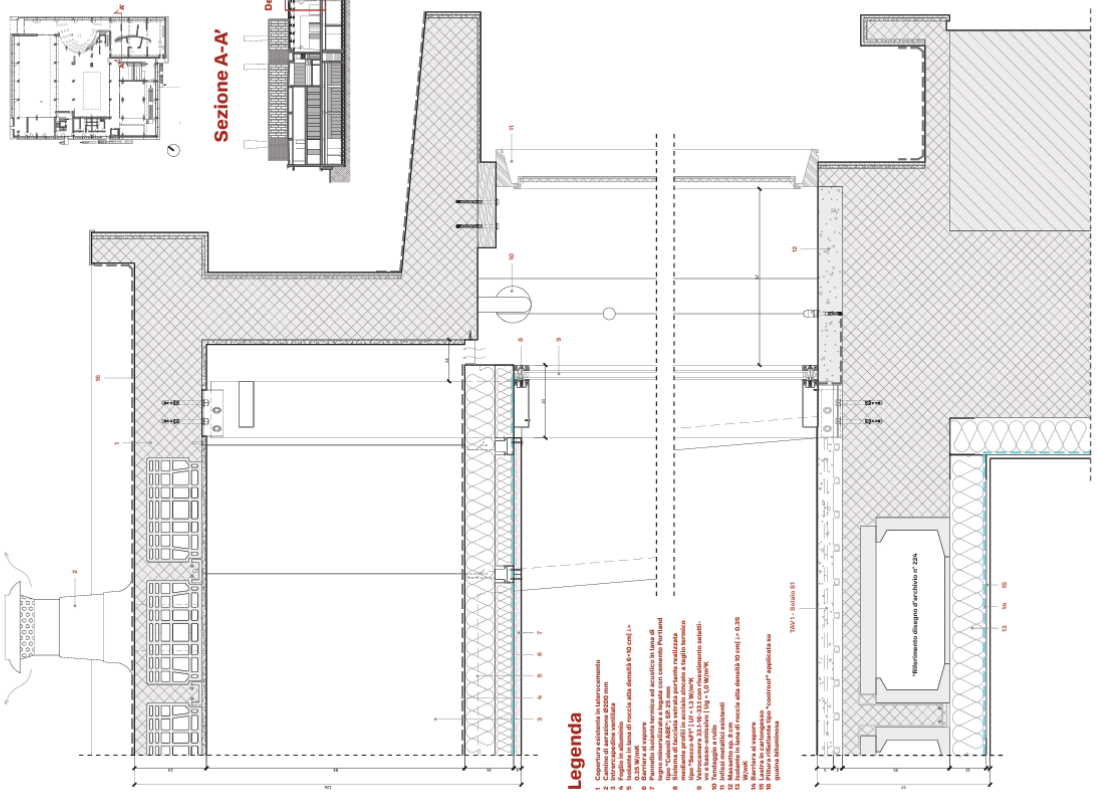
CENTRALE TECNICA OLIVETTI DI IVREA (E. VITTONIA, 1956-1959):
DAL RILIEVO GEOMATICO E CRITICO AL PROGETTO DI RECUPERO E RIFUNZIONALIZZAZIONE.
DETTAGLIO "B"

Keyplan

Sezione A-A'



Dettaglio B 1:5



Legenda

1 Copertura estensiva in laterocemento
2 Camino di aerazione Ø200 mm
3 Lucernario apribile
4 Foglio in alluminio
5 Pannello isolante in roccia alta densità (> 90 cm) | λ = 0,35 W/mK
6 Pannello isolante termico ed acustico in lana di legno mineralizzata a legante con cemento Portland
7 Pannello isolante in fibra di legno
8 Sistema di facciata ventilata portante realizzata con pannelli in fibra di legno mineralizzata tipo "Secco eXP" | Ut = 1,3 W/m²K
9 Intercapedine ventilata di collegamento esterno e a blocco emivuoto | Ug = 1,0 W/m²K
10 Tramezzo in laterizio
11 Intonaco di finitura
12 Massetto sp. 8 cm
13 Pannello isolante in roccia alta densità 10 cm | λ = 0,35 W/mK
14 Barriera al vapore
15 Lastra in cartongesso
16 Rivestimento in "gres porcellanato" applicato su giunta bituminosa

"Ritrovamento disegno d'archivio n° 22A"

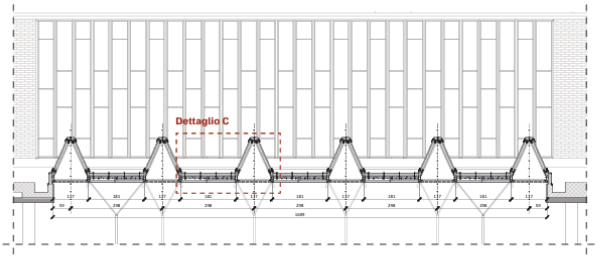
TAV I - Stralcio 01

TAV 22

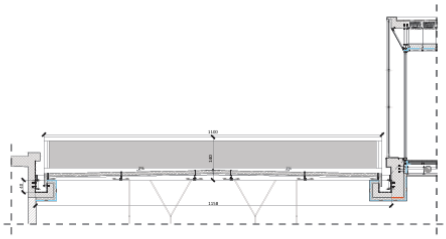
POLITECNICO DI TORINO
Tesi di Laurea Magistrale
in Ingegneria Edile
Candidato: Luca Montenegri

CENTRALE TECNICA OLIVETTI DI IVREA (E. VITTONIA, 1956-1959):
DAL RILIEVO GEOMATICO E CRITICO AL PROGETTO DI RECUPERO E RIFUNZIONALIZZAZIONE.
COPERTURA SHED CENTRALE

Copertura shed | Sez A-A' 1:50



Copertura shed | Sez B-B' 1:50

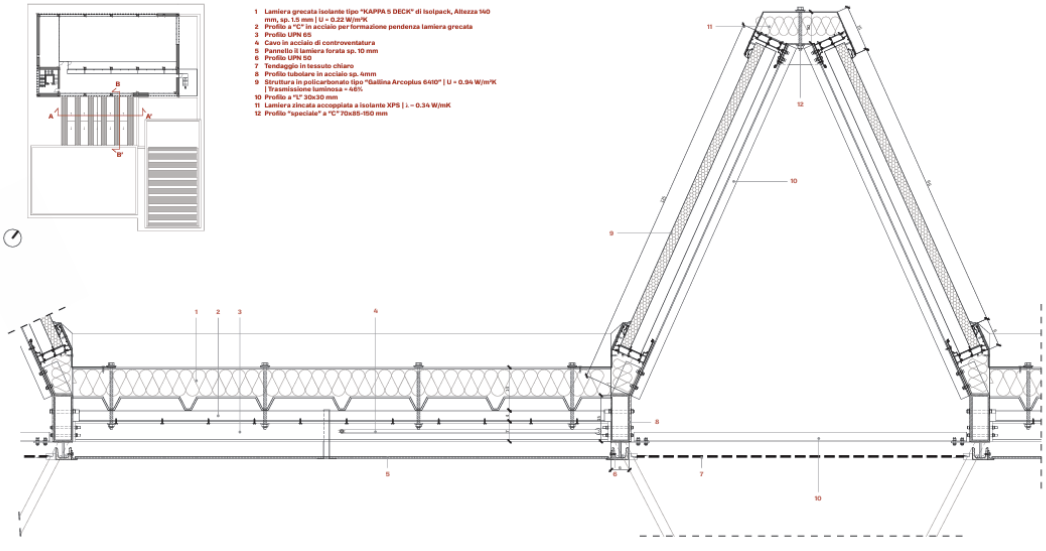


Keyplan

Legenda

1 Lamiera grecata isolante tipo "KAPPA 5 DECK" di Isolpack, Altezza 140 mm, sp. 1,5 mm | U = 0,22 W/m²K
2 Profilo a "C" in acciaio per formazione pendenza lamiera grecata
3 Profilo UPN 65
4 Cavo in acciaio di controventatura
5 Pannello il lamiera forata sp. 10 mm
6 Profilo UPN 50
7 Tendaggio in tessuto chiaro
8 Profilo tubolare in acciaio sp. 6mm
9 Struttura in policarbonato tipo "Gallina Arcoplus 6410" | U = 0,94 W/m²K | Trasmissione luminosa = 46%
10 Profilo a "L" 30x30 mm
11 Lamiera zincata accoppiata a isolante XPS | λ = 0,34 W/mK
12 Profilo "speciale" a "C" 70x85-150 mm

Dettaglio C 1:5



TAV 23

POLITECNICO DI TORINO
Tesi di Laurea Magistrale
in Ingegneria Edile
Candidato: Luca Montenegro

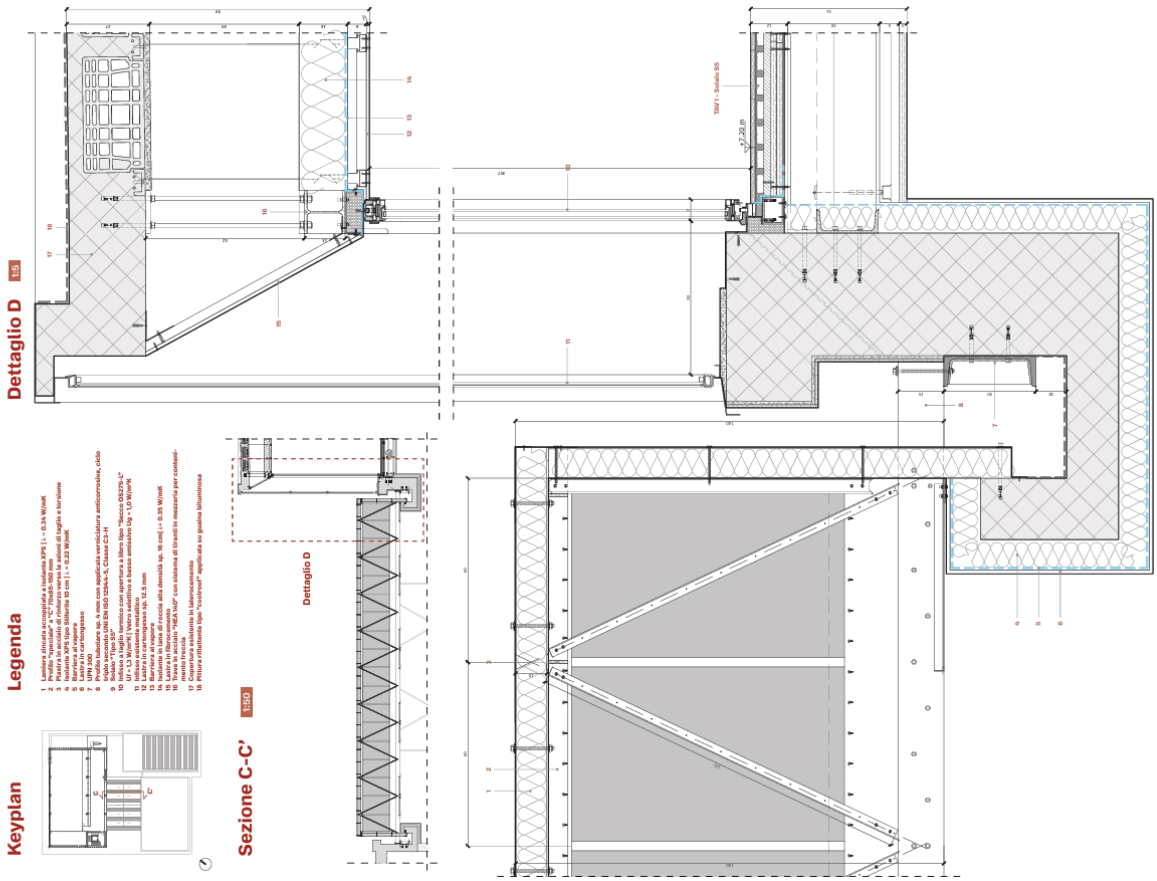
CENTRALE TERMICA OLIVETTI DI IVREA (E. VITTONE, 1956-1959):
DAL RILIEVO GEOMATICO E CRITICO AL PROGETTO DI RECUPERO E RIFUNZIONALIZZAZIONE.
COPERTURA SHED CORTE CENTRALE E DETTAGLIO "D"

Keyplan

Legenda

1 Lamiera sinicata accoppiata a isolante XPS | λ = 0,04 W/mK
2 Profilo "speciale" di rinforzo verso i montanti di taglio e torsione
3 Pluviale
4 Isolante XPS tipo Stiferite 10 cm | λ = 0,22 W/mK
5 Barriera al vapore
6 Lastra in cartongesso
7 Lattoneria
8 Profilo tubolare sp. 4 mm con applicata verniciatura anticorrosiva, ciclo
9 Saldo "Tipo 35"
10 Lastra in vetroresina con apertura a libro tipo "Omnia GRATA"
11 Lastra in vetroresina "SEA Ad" con sistema di filtraccio in mezzanino per contenimento fiocca
12 Copertura esistente in laterocemento
13 Pluviale esistente

Dettaglio D 1:5



Sezione C-C' 1:50

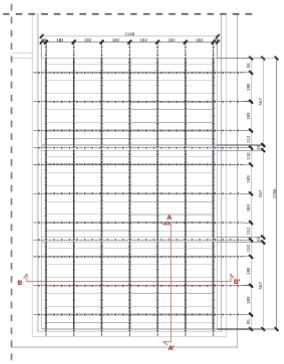
TAV 24

POLITECNICO DI TORINO
Tesi di Laurea Magistrale
in Ingegneria Edile
Candidato: Luca Montenegro

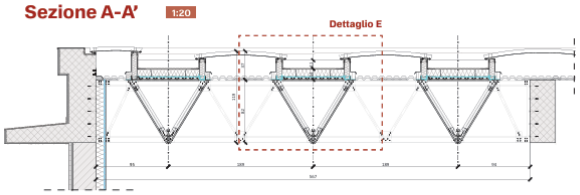
CENTRALE TERMICA OLIVETTI DI IVREA (E. VITTONE, 1956-1959):
DAL RILIEVO GEOMATICO E CRITICO AL PROGETTO DI RECUPERO E RIFUNZIONALIZZAZIONE.
COPERTURA SALA ESPOSIZIONE PIANO TERRA

Keyplan

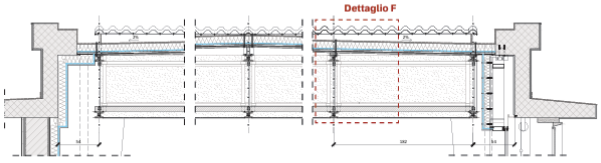
Copertura esposizione 1:100



Sezione A-A' 1:20



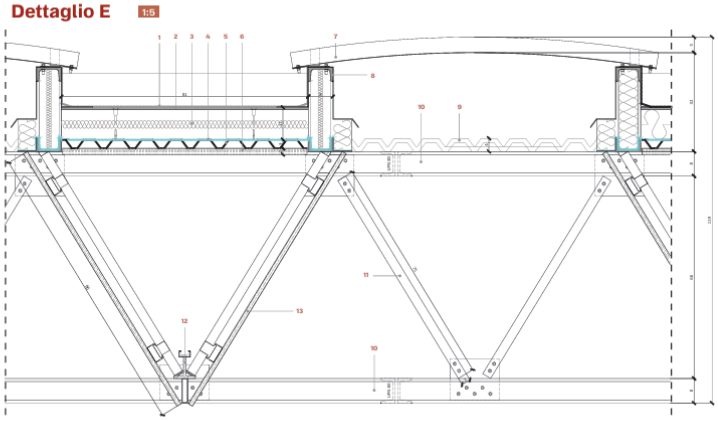
Sezione B-B' 1:20



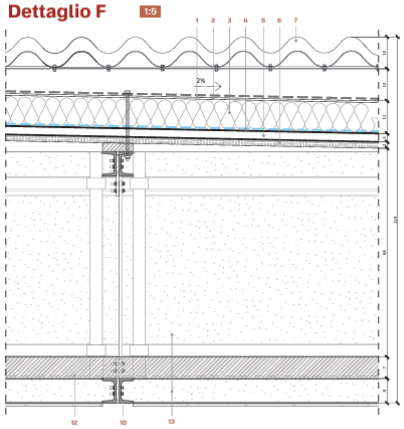
Legenda

1 Pittura riflettente tipo "coolroof" applicata su guaina bituminosa
2 Lastra in cemento tipo "Aquapanel Rooftop" di Kauf
3 Isolante XPS tipo Stiferite sp. 10 cm | λ = 0,22 W/mK
4 Barriera al vapore
5 Lamiera grecata tipo "Sand 28" di Sandrini metalli; Altezza 28 mm; sp. 1 mm
6 Phase Change Material
7 Lastra ondulata in vetroresina tipo "Totalux" di Magniplast
8 UPN 80
9 Lastra Grecata opalina in policarbonato alveolare tipo "Sand 28" di Sandrini metalli sp. 20 mm | λ = 0,21 W/mK
10 2x UPN 80
11 Profilo piatto in acciaio 30x10 mm
12 Pannello isolante termico ed acustico in lana di legno mineralizzata e legata con cemento Portland tipo "Celenit ABE"; SP. 25 mm

Dettaglio E 1:5



Dettaglio F 1:5



Conclusioni

Questo lavoro di Tesi Magistrale ha affrontato il tema del progetto sul costruito su un caso studio particolarmente complesso dal punto di vista della conservazione quale è la ex Centrale Termica Olivetti. Tale edificio condivide, con molti degli edifici Olivetti UNESCO, un presente di abbandono e dismissione, causato dalla perdita di funzionalità all'interno del suo contesto industriale. Laddove le prospettive di reimpiego in ambito industriale sono di scarsa probabilità – vista la continua contrazione dell'economia manifatturiera in Italia – il progetto di rifunzionalizzazione deve farsi carico del difficile compito di restituire una nuova identità all'edificio, mantenendo al contempo quel grado di rispetto e sensibilità che un edificio ad alto valore culturale richiede.

La prima fase del lavoro si è concentrata sullo studio della città di Ivrea e del suo comparto olivettiano, da cui è risultato il quadro di un luogo che nel '900 ha vissuto un'improvvisa accelerazione, proiettato nella tecnica e nella ricerca d'avanguardia, grazie a un imprenditore locale che vedeva la fabbrica come un organismo che dovesse anche restituire benessere e non solo consumare le risorse del suo territorio. L'esperienza olivettiana ha saputo innovare anche nell'ambito dell'architettura, dando fiducia e libertà creativa a numerosi architetti, tra i quali vi era anche Eduardo Vittoria, primo architetto a rompere la purezza materica e geometrica delle rivoluzionarie Officine ICO, progettista della Centrale Termica. Dallo studio delle sue opere e della Centrale Termica in particolare ne sono emersi i riferimenti all'architettura razionalista, la sperimentazione del modulo e l'uso del colore nella scomposizione dell'architettura e nella dichiarazione delle sue funzioni. Tale processo conoscitivo si è concluso aprendo un dialogo con l'Associazione Archivio Storico Olivetti, la Fondazione Natale Capellaro e l'Associazione Spille d'Oro Olivetti, le quali si fanno oggi custodi e divulgatrici di questa esperienza, rappresentando l'*asset* culturale forse più importante per la Città di Ivrea. Dal confronto ne sono emersi i punti di forza, così come le criticità di infrastrutture e spazi, che rischiano di essere un limite allo sviluppo delle loro attività.

Al contempo è stata condotta una vasta campagna di rilievo che ha prodotto elaborati fondamentali per la conoscenza delle geometrie dell'edificio e del suo stato di conservazione. Il rilievo fotogrammetrico con tecnologia UAV combinato con i dati registrati da rilievo LiDAR terrestre hanno consentito l'elaborazione di una nuvola di punti altamente dettagliata e fedele dell'edificio, georeferenziata grazie a un rilievo inquadramento e di dettaglio. Tale base di dati è stata fondamentale sia per la restituzione di Ortofoto ottenute da rilievo fotogrammetrico terrestre, sia per la modellazione del modello BIM dell'edificio, dove grazie ad un'approfondita indagine archivistica dei dettagli costruttivi è stato possibile raggiungere un livello di dettaglio "LOD D". Per quanto concerne invece l'analisi del degrado e delle alterazioni in facciata sono stati sperimentati degli algoritmi di *machine learning* su dataset di immagini iperspettrali, confrontandone risultati e potenzialità nel riconoscimento non supervisionato delle patologie in essere. Il lavoro ne conferma l'elevata potenzialità come strumento di indagine non invasiva per gli edifici esistenti, anche nell'ambito delle architetture e dei materiali post-industriali.

Il progetto di recupero ha dunque re-interpretato la Centrale Termica Olivetti come un luogo di sintesi per le attività culturali delle Associazioni e Fondazioni a tema Olivetti, identificandolo come baricentro delle attività del Sito UNESCO. “La Centrale” ospiterà dunque i fondi archivisti Olivetti e la relativa biblioteca dell’Associazione Archivio Storico Olivetti, riportando ad Ivrea il vasto patrimonio documentale diffuso oggi su più sedi. Vedrà poi sorgere al suo interno il nuovo Museo della Olivetti, dotato di spazi laboratoriali creativi e tecnologici, curati dalla Fondazione Natale Capellaro. Infine, saranno realizzati all’interno della struttura i nuovi uffici delle due realtà, al fine di completare un ambiente di cooperazione e crescita reciproca.

Altro obiettivo fondamentale del progetto di recupero dell’edificio è stata la conservazione della sua identità architettonica. Attraverso un’attenta progettazione delle soluzioni tecnologiche per la riqualificazione energetica dell’involucro è stato possibile preservare le superfici esterne visibili, oggetto altresì di una proposta di intervento per mitigare i fenomeni di degrado e alterazione in essere. Al contempo, le modifiche planimetriche e volumetriche all’edificio sono state limitate ad aree non visibili dall’esterno, realizzate mediante tecnologie leggere e reversibili, supportate da valutazioni preliminari negli ambiti dell’impiantistica e delle strutture.

Bibliografia

ABUALDENIEN J., BORRMANN A. 2020, *Formal analysis and validation of Levels of Geometry (LOG) in building information models,* 27th International Workshop on intelligent computing in engineering, July 2020, Berlin.

ADAMOPOULUS E. 2021, *Learning-based classification of multispectral images for deterioration mapping of historic structures,* «Journal of Building Pathology and Rehabilitation» 6,1: 41 https://doi.org/10.1007/s41024-021-00136-z

AIA Contract Document E201-2022.

ALNUAIMI A., ALBALDAWI T. H. K. 2024, *An overview of machine learning classification techniques,* BIO Web of Conferences 97, 4 https://doi.org/10.1051/bioconf/20249700133

AMANO K., LOU E., EDWARDS R. 2019*, Integration of point cloud data and hyperspectral imaging as a data gathering methodology for refurbishment projects using building information modelling (BIM)*, «Journal of Facilities Management» 17,1 pp. 57-75 https://doi.org/10.1108/JFM-11-2017-0064.

AYON A., POTTGIESSER U., RICHARDS N. 2019, *Reglazing Modernism. Intervention strategies for 20th – century icons.*

ARPA PIEMONTE – Dipartimento Sistemi Previsionali 2010, Clima ed indicatori climatici del Piemonte

BELCORE E., PIRAS M., PEZZOLI A., MASSAZZA G., ROSSO M. 2019, *Raspberry PI 3 multispectral low-cost sensor for UAV based remote sensing. Case study in South-West Niger,* The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLII-2 https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W13-207-2019.

BELLONI V., SJOLANDER A., RVANELLI R., CRESPI M., NASCETTI A. 2020, *Tack project: tunnel and bridge automatic crack monitoring using deep learning and photogrammetry,* The International Archives Of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, XLIII, 4 pp. 741-745 https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B4-2020-741-2020.

BIANCONOTTI A., BOVO S., GIACOMELLI L., CAGNAZZI B., MARCHISI C. 1998, Distribuzione regionale di piogge e temperature, CICA ICAM

BOLTRI D., MAGGIA G., PAPA E. 1998, *Architetture olivettiane a Ivrea. I luoghi del lavoro, I servi socio assistenziali della fabbrica,* Gangemi Editore.

BONCELET C. 2009, *Image Noise Model,* in BOVIK A. (a cura di) *The Essential Guide to Image Processing,* pp. 143-167.

BONIFAZIO P., GIACOPELLI E. 2006, *Ivrea, passato e futuro di una company town, «*Parametro» 262.

CANNAROZZO R., CUCCHIARINI L., MASCHIERI W. 2012, *Misure, rilievo, progetto,* Vol.2, Bologna

CONGALTON R. G., GREEN K. 2019, *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practicies,* Boca Raton https://doi.org/10.1201/9780429052729.

CONTE S. 2016, *Il disegno per l'uomo: I progetti e I piani per la città di Ivrea,* in BERTOCCHI S., BINI M. (a cura di), *Le ragioni del disegno. Pensiero, Forma e Modello nella Gestione della Complessità* 38° convegno internazionale dei docenti delle discipline della rappresentazione Firenze 15-17 maggio 2016.

CONTE S. 2018, *Il colore nella cittadella razionalista di Ivrea: l'opera di Eduardo Vittoria,* in MARCHIAFAVA V., PICOLLO M. (a cura di), *Colore e Colorimetria Contributi Multidisciplinari,* XIV A, Atti della quattordicesima Conferenza del Colore Firenze 11-12 settembre 2018.

DE JONGE W. 2017, *Sustainable renewal of the everyday Modern,* «Journal of the Architectural Conservation» 23, 1-2, pp. 62-105 https://doi.org/10.1080/13556207.2017.1326555.

DE LUCI I. 2022-2023, *Approccio metodologico alla conservazione di superifici del patrimonio architettonico storico. Esempi dal Borgo di Agliè e dell'architettura Olivettiana di Ivrea,* Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile, Politecnico di Torino, M. Zerbinatti, S. Fasana.

Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n. 42 Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio.

ELAZAB M. 2015, *Integrated Cooperative Localization In Vanets For Gps Denied Environments,* Tesi del Master of Applied Science Queen's University.

FEA M., GOMARASCA A.M. 2010, Geomatica per la gestione del territorio, in Enciclopedia Treccani.

FERRARETTI E., MAI A., SEITI Y. 2017-2018, *Dalla nuvola di punti al modello BIM: conservazione e divulgazione dei dati dei beni storico-culturali – caso studio: la Villa medicea di Poggio a Caiano,* Tesi di laurea in Ingegneria dei Sistemi Edilizi, Politecnico di Milano, Rel. C. Borromesi, Corr. S. Garagnani.

FICHERA M. 2008, *La Fondazione Adriano Olivetti dal 1962 al 1975: il contesto, le contraddizioni, i temi,* in ROGHI V. (a cura di), *I Quaderni della Fondazione Adriano Olivetti,* Roma.

FRATINNI S., CAGNAZZI B., CREMONINI R. 2007, *Il vento in Piemonte,* Associazione italiana di geografia fisica e geomorfologia, Collana di studi climatologi in Piemonte, V

GIACOPELLI E. 2008, *La Centrale impianti: appunti di un colloquio con Eduardo Vittoria,* «Casabella 766», pp. 56-59.

GIACOPELLI E. 2011, *La Olivetti e il mito della trasparenza. Riflessioni attorno al restauro della ICO Centrale,* in GRAF F. ALBANI F. (a cura di), *The Glass in the 20th Century Architecture: Preservation and restoration,* Mendrisio, pp.259-275.

GIACOPELLI E., GUALTIERI S., ZERBINATTI M. 2024, *Color in Modern Architecture of Olivetti's Town*, «Color Research & Application» 49,1 pp. 144-162 https://doi.org/10.1002/col.228933.

GIANOTTI F., *L'anfiteatro Morenico di Ivrea*
https://www.nimbus.it/download_pubblicazioni/AnfiteatroMorenicoIvrea_Gianotti.pdf

GRECO F. 2024, *Ivrea-Aosta in bus fino al 2026, al via I lavori per elettrificare la ferrovia,* Il sole 24 ore, 3 gennaio 2024 https://www.ilsole24ore.com/art/ivrea-aosta-bus-fino-2026-via-lavori-elettrificare-ferrovia-AFC3EAEC.

HEMMLEB M., WERTITZ F., MAIERHOFER C. 2005, *Damage detection on buildings surface with multi-spectral techniques,* CIPA XX International Symposium 26 September – 01 October, Torino.

LA MATTINA L. 2024, *Tratta ferroviaria Ivrea-Torino: viaggio da incubo. Pendolari esasperati chiedono risposte. Avetta interroga,* La Voce, 18 marzo 2024.

LUDWING N., ROSINA E., CAGLIO S., GARGANO M., REDAELLI V. 2012, *Heat Diffusion in Clinker Facade: The Study Case of Gio Ponti Building,* Advanced in Optical Technologies 10.1155/2012/738943.

MADER D., BLASKOW R., WESTFELD P., WELLER C. 2016, *Potential of UAV-based laser scanner and multispectral camera data in building inspection,* SPRS - International Archives of the Photogrammetry,

Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLI-B1 (giugno 2016) pp. 1135–42 https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XLI-B1-1135-2016

MAIEZZA P. 2019, *As-built reliability in architectural HBIM modelling,* The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLII,2 – 8th International Workshop 3D-ARCH "3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures", 6–8 February 2019, Bergamo, Italy, pp. 461-466 https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-461-2019

MANTOVANI P., TURCHETTI M. 2023, *Olivetti e la cultura nell'impresa responsabile. I negozi Olivetti Poter scegliere la bellezza,* Catalogo di mostra.

MANUALE LEICA CYCLONE REGISTER 360 +. s.d. https://rcdocs.leica-geosystems.com/cyclone-register-360/latest/help-cyclone-register-360.

MATRONE F., COLUCCI E., IACONO E., VENTURA G. M. 2023, *The HBIM-GIS Main10ance Platform to Enhance the Maintenance and Conservation of Historical Built Heritage,* «Sensors» 23, 19: 8112 https://doi.org/10.3390/s23198112.

MILETO C., VARGAS F., LERMA J. L. 2015, *Multidisciplinary Studies, Crossreading and Transversal Use of Thermography: The Castle of Monzón (Huesca) as a case study,* FORTMED2015 International Conference on Modern Age Fortifications of the Western Mediterranean coast.

MOLTENI M. E. 2024, *Rinascono le Officine Olivetti con l'innovation hub C. Next Ivrea,* Real Estate PambiancoNews 24 febbraio 2024.

MUSCI M. A., MAZZARA L., LINGUA A. M. 2020, *Iced Detection on Aircraft Surface Using Machine Learning Approaches Based on Hyperspectral and Multispectral Images,* «Drones» 4, 3:45 https://dx.doi.org/10.3390/drones403004

NASARUDIN N., SHAFRI H. 2011, *Development and utilization of urban spectral library for remote sensing of urban environment*, «Journal of Urban and Environmental Engineering» 5,1 pp. 44-56.

NASH W., DRUMMOND T., BIRBILIS N. 2018, *A review of deep learning in the study of material degradation,* «NPJ Materials Degradation», 2,1:37.

NOTIZIARIO SPILLE D'ORO 2023, 2, *Donati al FAI Chiesa e complesso conventuale di San Bernardino, pp. 1-6*

NUNZIANTE P., PERRICCIOLI M. 2018, *Eduardo Vittoria. Studi Ricerche Progetti,* Catalogo di mostra.

OEVERMANN H., MIEG H. A. 2012, *Urban Development Planning and World Cultural Heritage: Two Perspectives of Planning Practice Dealing with Industrial Heritage,* «Planning Practice & Research» 36,4, pp. 430-441 DOI:10.1080/02697459.2021.1874639.

OLIVETTI A. 2015, *Città dell'uomo,* Edizioni di Comunità.

OLIVETTI A. 2016, *Dall'America: lettere ai familiari (1925-26),* Edizioni di Comunità

OLMO C. (a cura di) 2001, *Costruire la città dell'uomo. Adriano Olivetti e l'urbanistica,* Torino.

ORBOLATO D., ANTONEL M., CADORIN A., LIBERATORE F.M., Incamiciatura di pilastri in calcestruzzo armato: vantaggi nell'impiego di betoncini strutturali (Classe R4 – UNI EN 1504-3) e di microcalcestruzzi fibrorinforzati ad elevate prestazioni HPFRC

PETERSON MENOZZI S. 2017, *Built Environment: Industrial Urbanism:* Exploring the City Production Dynamic, «Historic Heavy Industrial Sites: Obstacles and Opportunities» 43,1, pp. 87-106.

PREVIATI A. 2024, *Occupati I primi 1500 metri quadrati delle ex Officine ICO. Il piano prevede l'inserimento di 10 realtà all'anni e il pareggio di bilancio nel 2027,* LA STAMPA 26 febbraio 2024.

QUADERNO DEL PREMIO CAMILLO E ADRIANO OLIVETTI – all'impresa Innovativa e responsabile 2018.

RAPPORTO 2024 DEL PREMIO CAMILLO E ADRIANO OLIVETTI ED. 2024, 4 aprile 2024

RENZI E. 2013, *L'avventura Olivetti,* Il contributo italiano alla storia del pensiero Enciclopedia Treccani online https://www.treccani.it/enciclopedia/l-avventura-olivetti_(Il-Contributo-italiano-alla-storia-del-Pensiero:-Tecnica)/

ROCHA G., MATEUS L., FERNANDEZ J., FERREIRA V. 2020, *A Scan-to-BIM Methodology Applied to Heritage Buildings,* «Heritage» 3,1, pp. 47-67 https://doi.org/10.3390/heritage3010004.

Topografia, voce Enciclopedia Treccani online https://www.treccani.it/vocabolario/topografia/

VOSSELMAN G., MAAS H.G. (a cura di) 2010, *Airbone and Terrestrial Laser Scanning,* Dunbeath.

YU GUN CHUN, MYEONG SEONG LEE, YU RI KIM, MI HEY LEE, MYOUNG JU CHOI, KI HYUN CHOI 2015, *Utilization of Hyperspectral Image Analysis for Monitoring of Stone Cultural Heritages,* in «Journal of Conservation Science» 13, 4 pp. 395-402.

ZAGNONI S. 2017, *I negozi di Adriano Olivetti. Coerenza di stile e immagine non coordinata*, «LUK.Studi e attività della Fondazione Ragghianti» 23, pp. 155-167, Lucca.

Ringraziamenti

Ringrazio il mio Relatore, Marco Zerbinatti, per la pazienza dimostrata, per il rispetto che ha sempre avuto nei miei confronti, per il suo spirito critico e costruttivo che mi ha guidato nella realizzazione di questo lavoro.

Ringrazio Francesca Matrone, per essere stata sempre disponibile e avermi dato l'occasione di sperimentare numerose e interessanti tecnologie. Per questo ringrazio anche tutto il "laboratorio" del DIATI, per il loro fondamentale lavoro in fase di rilievo.

Grazie anche a Enrico Giacopelli, poter immaginare il futuro di un edificio olivettiano assieme a chi lo ha già fatto per le Officine ICO è stata una rara opportunità.

Ci tengo a ringraziare anche le Associazioni e le Fondazioni di Ivrea che mi hanno dedicato del tempo in uno dei momenti più critici di questo lavoro, quando stavo cercando una nuova identità per la Centrale Termica. Il lavoro che fate per la storia della Olivetti è prezioso.