

POLITECNICO DI TORINO

*La pianificazione del Facility
Management attraverso la
metodologia BIM*

TESI DI LAUREA MAGISTRALE IN
INGEGNERIA EDILE

Nicholas Re
20/10/2017

*A mia Madre, che mi ha insegnato il rispetto e la dedizione per il lavoro
e a mio Padre, che mi ha trasmesso la passione per il disegno e per l'edilizia.*

*Alla Professoressa Anna Osello e all'Architetto Domenico Racca, che mi hanno fornito
le conoscenze e gli strumenti necessari alla realizzazione del modello digitale.*

*A Silvia Vasciaveo e a Lorenzo Penna, amici e collaboratori, che hanno redatto
il Bim Execution Plan a cui fanno riferimento il terzo e il quarto capitolo della tesi.*

*A tutti coloro che mi hanno sostenuto durante il percorso di studi
e specialmente a Luca, che mi ha accompagnato in questi ultimi anni, aiutandomi a combattere
l'ansia e la paura, e che è rimasto al mio fianco, fino alla fine.*

SOMMARIO

RINGRAZIAMENTI	1
SOMMARIO.....	3
INDICE DELLE FIGURE E DELLE TABELLE.....	5
ABSTRACT	7
1. INQUADRAMENTO E DESCRIZIONE DELLO STATO DI FATTO	9
1.1 Descrizione del contesto	9
1.2 Descrizione dell’oggetto di studio	12
1.3 Storia dell’oggetto di studio e degli interventi subiti	24
1.4 Stato di conservazione dell’oggetto di studio	25
2. DESCRIZIONE DELL’INTERVENTO	27
2.1 Descrizione dell’intervento in ambito architettonico	27
2.2 Descrizione dell’intervento in ambito strutturale	28
2.3 Descrizione dell’intervento in ambito energetico e impiantistico	28
3. GLI OBIETTIVI DELLA MODELLAZIONE DIGITALE.....	42
3.1 WBS: La pianificazione delle attività.....	44
3.2 OBS: La definizione e la suddivisione delle responsabilità	46
4. LA DESCRIZIONE DEL WORKFLOW	47
4.1 Il rilievo del fabbricato allo stato di fatto	48
4.1.1 L’acquisizione dei dati.....	48
4.1.2 La digitalizzazione e la georeferenziazione dei dati	48
4.2 La modellazione del fabbricato allo stato di fatto.....	52
4.2.1 La modellazione in ambito architettonico e strutturale	52
4.2.2 La modellazione in ambito impiantistico	55
4.2.3 Gli elementi privi di estensione informativa.....	55
4.3 La modellazione del fabbricato in fase di intervento	60
4.3.1 La modellazione in ambito architettonico e strutturale	60
4.3.2 La modellazione in ambito impiantistico	61
4.3.3 L’esportazione dei dati in formato aperto	63
4.3.4 Gli elementi privi di estensione informativa	64
4.4 La verifica e il coordinamento dei modelli geometrici e informativi.....	68
4.4.1 La verifica delle interferenze geometriche	68
4.4.2 La verifica delle incoerenze informative	69
4.5 La gestione e il controllo dei modelli geometrici e informativi	72
4.5.1 L’assegnazione delle codifiche	72
4.5.2 L’associazione degli attributi contestuali e di quelli ipertestuali	73
4.6 La condivisione del lavoro	75
4.7 Hardware e Software: le informazioni tecniche.....	77

5. LA NORMATIVA DI RIFERIMENTO	78
5.1 La norma UNI 15331:2011.....	78
5.2 La norma UNI 13306:2010.....	79
6. L'APPROCCIO ALLA PIATTAFORMA DYNAMO	80
6.1 La preparazione del modello geometrico e informativo	80
6.2 I dati in input	Errore. Il segnalibro non è definito.
6.3 La struttura dei nodi logici.....	81
6.4 I dati in output.....	83
6.5 I limiti e le potenzialità dell'algoritmo.....	86
6.6 Uno sguardo al futuro	87
7. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	88

INDICE DELLE FIGURE E DELLE TABELLE

Figura 1 - Il Castello del Valentino nel suo contesto.....	9
Figura 2 - Il fabbricato oggetto di studio nel suo contesto	11
Figura 3 - Stato di fatto, Ortofoto Nord-Ovest	14
Figura 4 - Stato di fatto, Ortofoto Sud-Ovest.....	15
Figura 5 - Stato di fatto, Prospetto Nord-Ovest.....	16
Figura 6 - Stato di fatto, Prospetto Sud-Ovest	17
Figura 7 - Stato di fatto, Prospetto Sud-Est	18
Figura 8 - Stato di fatto, Prospetto Nord-Est	19
Figura 9 - Stato di fatto, Pianta piano terra	20
Figura 10 - Stato di fatto, Pianta piano primo	21
Figura 11 - Stato di fatto, Sezione A.....	22
Figura 12 - Stato di fatto, Sezione B.....	23
Figura 13 – Intervento, Rendering interno	Errore. Il segnalibro non è definito.
Figura 14 – Intervento, Rendering esterno.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
Figura 15 - Rossi e gialli, Pianta piano terra.....	30
Figura 16 - Rossi e gialli, Pianta piano primo	31
Figura 17 - Rossi e gialli, Sezione A	32
Figura 18 - Rossi e gialli, Sezione B	33
Figura 19 - Intervento, Prospetto Nord-Ovest (Rendering).....	34
Figura 20 - Intervento, Prospetto Sud-Ovest (Rendering)	35
Figura 21 - Intervento, Prospetto Nord-Ovest.....	36
Figura 22 - Intervento, Prospetto Sud-Ovest	37
Figura 23 - Intervento, Pianta piano terra	38
Figura 24 - Intervento, Pianta piano primo.....	39
Figura 25 - Intervento, Sezione A.....	40
Figura 26 - Intervento, Sezione B.....	41
Figura 27 - Il diagramma ad albero della WBS	45
Figura 28 - Il modello altimetrico numerico, Vista esterna	50
Figura 29 - Il modello altimetrico numerico, Vista interna.....	50
Figura 30 – Il modello altimetrico numerico, Spaccato frontale	51
Figura 31 – Il modello altimetrico numerico, Spaccato sagittale.....	51
Figura 32 - La restituzione tridimensionale in ambito architettonico sulla base della nuvola di punti (1).....	56
Figura 33 - La restituzione tridimensionale in ambito architettonico sulla base della nuvola di punti (2).....	57
Figura 34 - La restituzione tridimensionale in ambito impiantistico sulla base della nuvola di punti (1).....	58
Figura 35 - La restituzione tridimensionale in ambito impiantistico sulla base della nuvola di punti (2).....	59
Figura 36 - Intervento, Assonometria A.....	65
Figura 37 - La modellazione del fabbricato in fase di intervento (1)	66
Figura 38 - La modellazione del fabbricato in fase di intervento (2)	67
Figura 39 - La mappa concettuale del flusso di lavoro, parte 1	70
Figura 40 - La mappa concettuale del flusso di lavoro, parte 2	71
Figura 41 - I livelli di sviluppo secondo la UNI 11337:2017	73
Tabella 1 - Le informazioni del progetto definitivo.....	43
Tabella 2 - Gli obiettivi del progetto definitivo	43
Tabella 3 - La composizione del team di lavoro.....	46
Tabella 4 - I parametri associati agli elementi del modello	74
Tabella 5 - I formati di condivisione ed esportazione	75
Tabella 6 - Gli Hardware utilizzati	77
Tabella 7 - I Software utilizzati.....	77

ABSTRACT

*In una società moderna che aspiri in misura sempre maggiore al **rispetto** e al **controllo** delle proprie risorse, il **facility management**, inteso come prima strategia di risparmio energetico a lungo termine, deve essere necessariamente argomento di dibattito.*

*La presente tesi di Laurea Magistrale intende approfondire il tema del facility management tramite l'applicazione della metodologia **BIM** e nello specifico attraverso l'impiego della piattaforma **Dynamo**, quale modulo aggiuntivo del software di modellazione digitale Autodesk **Revit**, in grado di estendere la capacità di gestione delle forme e dei dati del modello geometrico e informativo.*

*L'obiettivo è quello di sviluppare un algoritmo che legga i dati dalle schede di manutenzione delle categorie MEP inserite nel modello e che pianifichi in modo quasi automatico il relativo **programma annuale di manutenzione**, notificando inoltre all'utente il tipo, le modalità, il costo, la posizione, il sistema impiantistico di appartenenza e numerose altre informazioni per ogni singolo intervento previsto.*

*Il caso studio a cui tale algoritmo farà riferimento è l'intervento di ristrutturazione e rammodernamento in ambito architettonico, strutturale e impiantistico dell'**Aula 1V** della sede di Architettura del **Politecnico di Torino**, un progetto, svolto dallo studio di Architettura e Ingegneria "AREA PROGETTI" in collaborazione con lo studio di Architettura "Archisbang", che verrà realizzato nell'estate dell'anno prossimo.*

1. INQUADRAMENTO E DESCRIZIONE DELLO STATO DI FATTO

1.1 Descrizione del contesto

L'unità volumetrica oggetto di studio si colloca nella città di Torino all'interno del quartiere San Salvario ed è compresa nel complesso di fabbricati adiacenti al Castello del Valentino; in origine luogo di soggiorno per alcune delle più illustri famiglie nobiliari italiane e attualmente sede dei corsi di Laurea Triennale e Magistrale della Facoltà di Architettura immersa nel verde del parco omonimo.

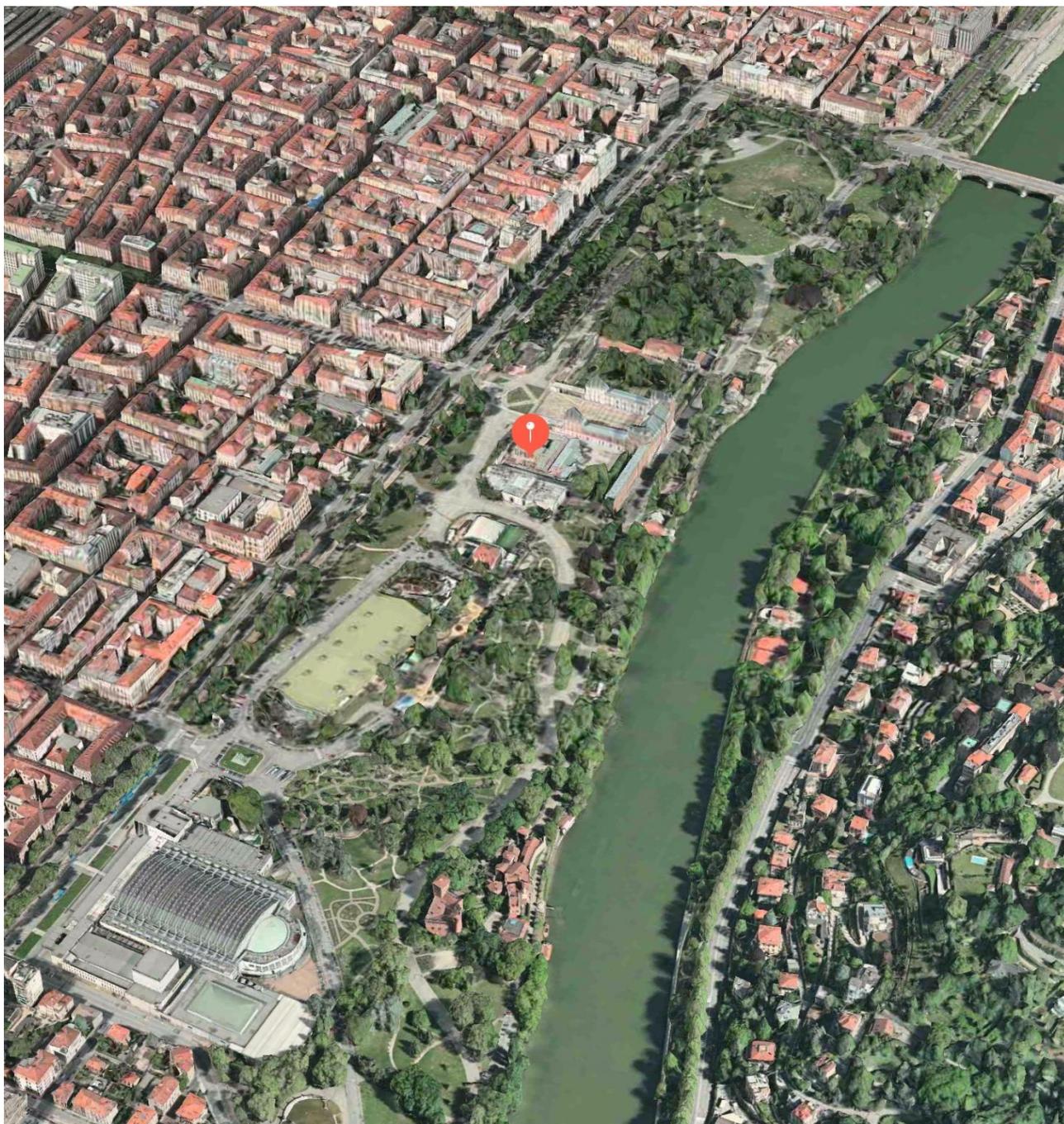


Figura 1 - Il Castello del Valentino nel suo contesto

L'area in cui è inserito il caso studio lambisce Viale Pier Andrea Mattioli e include principalmente fabbricati di epoca ottocentesca, a pianta regolare su uno o massimo due piani fuori terra, realizzati mediante la tecnica del mattone faccia a vista e ospitanti le aule e i laboratori informatici destinati alla didattica o comunque alle attività di ateneo. Fra questi volumi sono poi stati aggiunti negli ultimi cinquanta anni il Bar della Facoltà di Architettura, in adiacenza alle aule 1V, 2V e 4V e la Biblioteca Centrale di Architettura "Roberto Gabetti" che ospita svariate riviste specialistiche e numerosi manuali d'antologia in campo urbanistico ed edilizio.

Il fabbricato oggetto di studio **(A)** è in posizione centrale rispetto agli edifici precedentemente elencati e:

- a Nord-Est confina con il Bar della Facoltà di Architettura **(B)**, condividendone la parte inferiore dei muri perimetrali e rivelando due aperture murate, necessarie a separare gli spazi tra le due differenti destinazioni d'uso.
- a Sud-Est ha in comune con i laboratori informatici **(C)** un corridoio esterno che garantisce un secondo percorso tra il Castello del Valentino **(D)** e la Biblioteca Centrale di Architettura **(E)** in aggiunta a quello principale, a Nord-Ovest, che conduce al cancello di ingresso su Viale Pier Andrea Mattioli **(F)**.
- a Sud-Ovest si affaccia sul cortile interrato **(G)** della Biblioteca Centrale di Architettura **(E)** dal quale è possibile accedere ai locali dell'aula 5V **(H)**.
- a Nord-Ovest, separato da un muro di cinta, si affaccia su Viale Pier Andrea Mattioli.

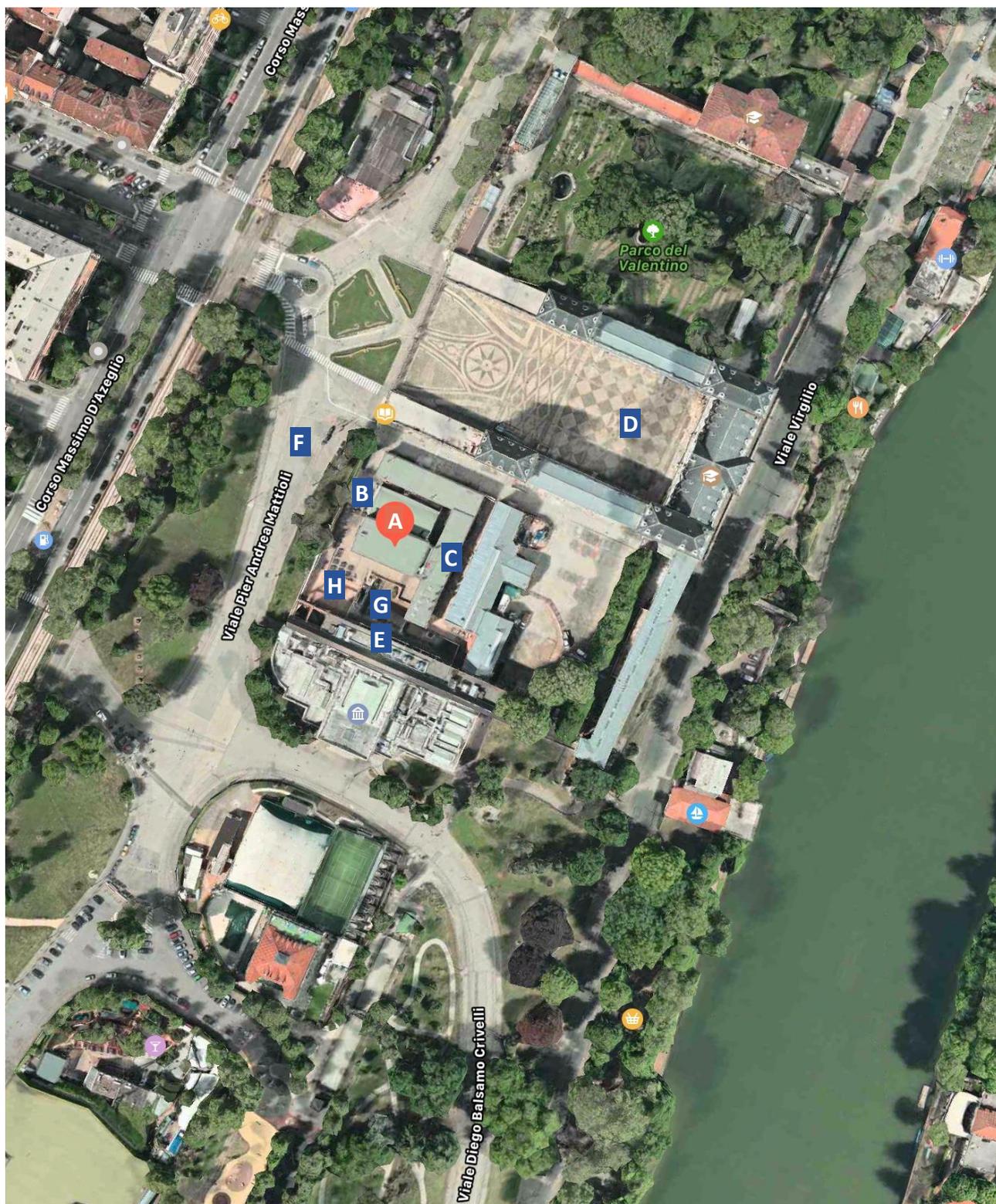


Figura 2 - Il fabbricato oggetto di studio nel suo contesto

1.2 Descrizione dell'oggetto di studio

L'oggetto di studio è un fabbricato di epoca ottocentesca a pianta rettangolare su due piani fuori terra per un'altezza di gronda complessiva pari a circa dieci metri ed una superficie coperta pari a circa trecentoventi metri quadrati. In esso si distinguono principalmente tre volumi: un primo volume centrale, più ampio e di manica pari a circa tredici metri, è caratterizzato su entrambi i lati da quattro alte finestre ad arco che, partendo dal piano terra e giungendo fino al primo piano, scandiscono la modularità in facciata dell'edificio; altri due volumi laterali e simmetrici, più modesti e di manica appena maggiore al primo, presentano invece finestre rettangolari al piano terra e al primo piano e portoni d'ingresso in legno dolce al piano terra.

L'involucro opaco del fabbricato è realizzato mediante la tecnica del mattone faccia a vista, interrotta in altezza da due massicci corsi di pietra che denunciano gli orizzontamenti dei rispettivi piani fuori terra. I corsi di mattoni costituenti i muri perimetrali sono posizionati a intervalli regolari, in concorso e in rientranza al filo facciata, sagomando in questo modo le numerose scanalature. Lungo il perimetro delle aperture dei corpi laterali dell'edificio e in prossimità dello sporto del tetto essi sono posti in aggetto al filo facciata, dando così forma a semplici decorazioni e a più file di cornicioni.

L'involucro trasparente del fabbricato comprende infissi in legno e a singolo vetro. Alcuni di questi sono parzialmente o totalmente murati a causa degli interventi subiti dall'edificio nel corso degli anni, in relazione alla distribuzione interna dei locali o alla costruzione ex-novo di fabbricati adiacenti.

La copertura è piana e presenta un aggetto evidente rispetto al filo facciata.

La struttura è composta dalle murature perimetrali e due massicci muri di spina che, separando il corpo centrale dell'edificio dai due corpi laterali, garantiscono al fabbricato un ulteriore irrigidimento trasversale. Tutte le partizioni verticali interne, siano esse muri portanti, chiusure o tramezzi, sono in mattone rosso 1,3X5,5X11cm con 1cm di malta.

Di particolare interesse strutturale è la gradinata interna in calcestruzzo armato che ospita le sedute dell'aula 1V e che, poggiando sui due muri di spina citati in precedenza e su terzo muro intermedio, collega il primo piano fuori terra al primo piano ammezzato dell'edificio. Essa rappresenta infatti uno fra i primi tentativi di cassetta a intradosso inclinato nel territorio sabauda.

Si individuano due accessi al fabbricato: uno principale dal lato Nord-Ovest, servito da una scala in carpenteria metallica, da cui si accede all'aula 2V, a un primo magazzino e alla scala principale che

Politecnico di Torino – Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile

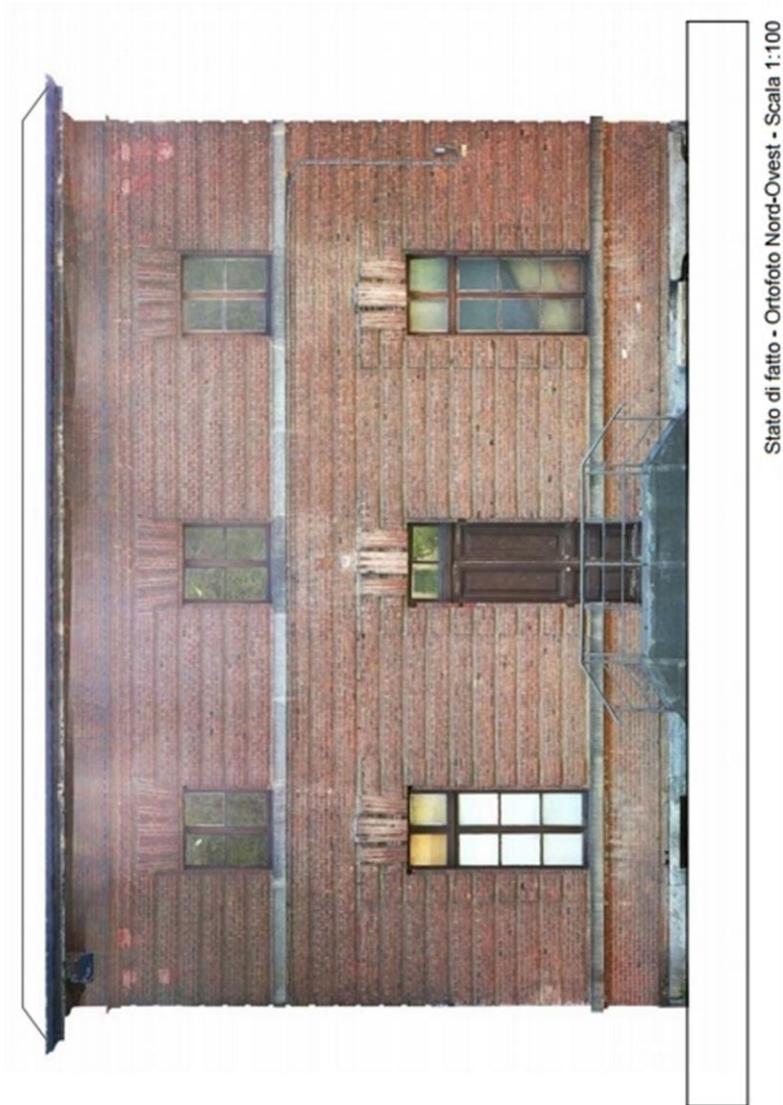
conduce al livello più basso del piano superiore; uno secondario dal lato Sud-Est, servito dal corridoio in comune con i laboratori informatici, da cui si accede al centro stampa, a un secondo magazzino e alla scala secondaria che conduce al livello più alto del piano superiore.

Il fabbricato viene utilizzato principalmente a scopo didattico: al piano terra, pari in altezza alla quota del piano campagna, sono presenti infatti l'aula 2V, un centro stampa con annesso ripostiglio, due magazzini e un deposito per lo stoccaggio del materiale scolastico; al primo piano, posto a un'altezza dal terreno di circa quattro metri e mezzo nel punto più basso e di quasi sei metri e mezzo nel punto più alto, hanno luogo invece i pianerottoli delle scale principali e secondarie, un terzo magazzino e infine l'aula 1V, protagonista prioritaria nell'intervento di ristrutturazione e rammodernamento.

Si individua un impianto a tutt'aria per il controllo dell'IAQ e per il riscaldamento dei vani a servizio del pubblico durante il periodo invernale. Esso è installato in un apposito locale a soppalco, ricavato nella parte superiore del corpo laterale Nord-Ovest dell'edificio. Non sono presenti impianti specifici per il raffrescamento dei vani durante il periodo estivo.

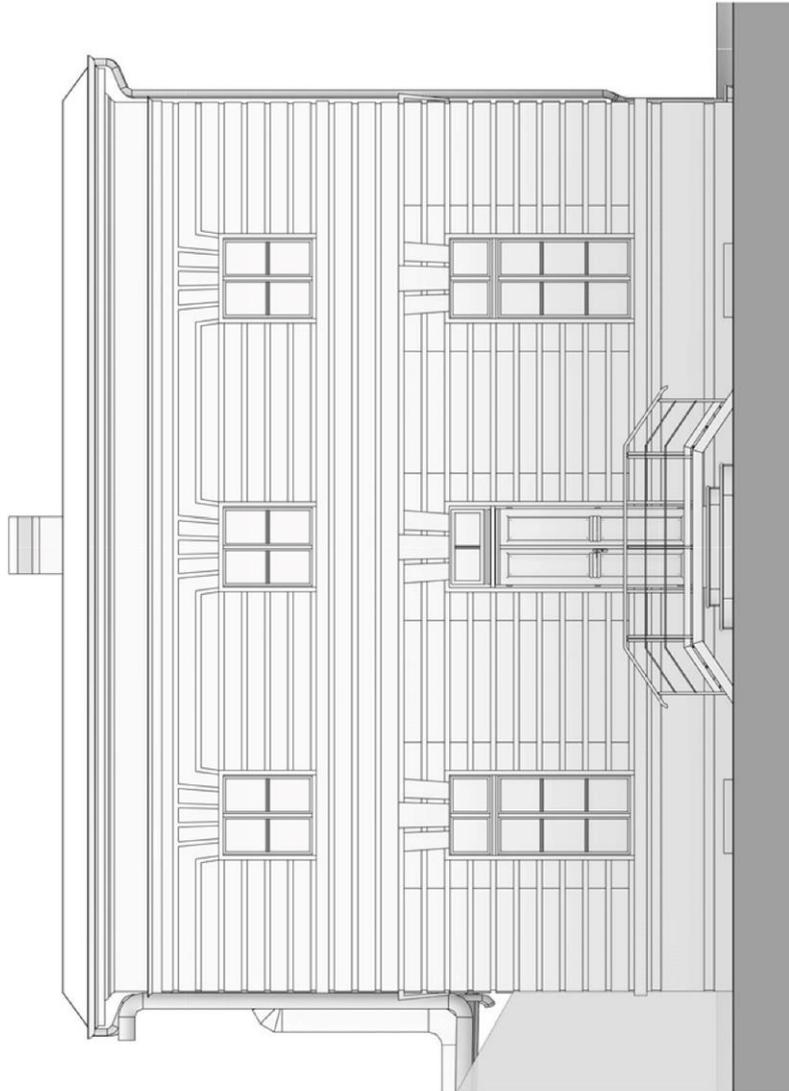
Non essendo presenti locali adibiti a servizio igienico, tutti i sistemi idronici del fabbricato sono a servizio dell'impianto appena citato o del sistema automatico di estinzione a pioggia detto "*Sprinkler*".

Nelle pagine successive sono allegate le viste del fabbricato allo stato di fatto sotto forma di piante, prospetti, sezioni e ortofoto. Le prime sono estratte in modo semi-automatico dal modello BIM per mezzo del software Revit, gratuitamente messo a disposizione degli studenti da Autodesk. Le ultime sono ricavate invece dalla campagna fotografica contestuale alla fase di rilievo condotto per mezzo di laser scanner.

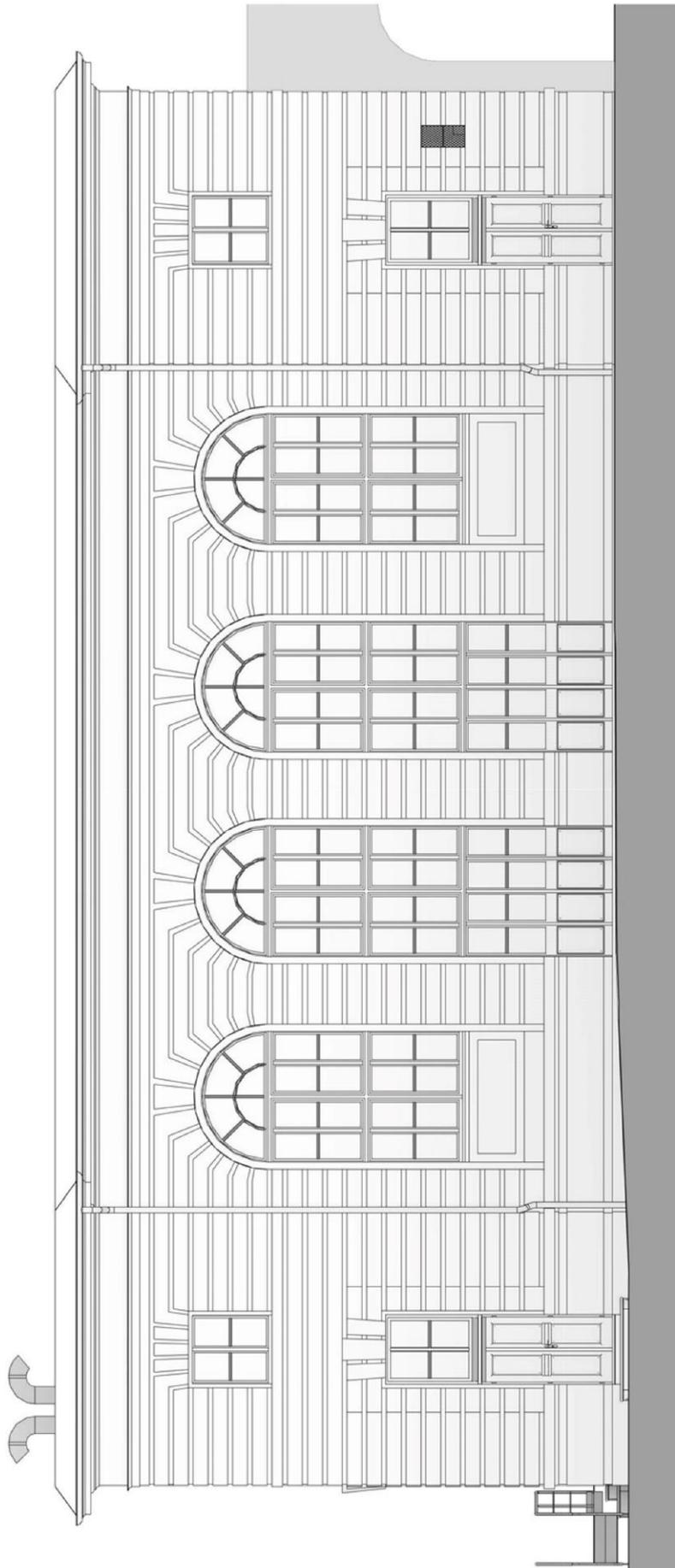




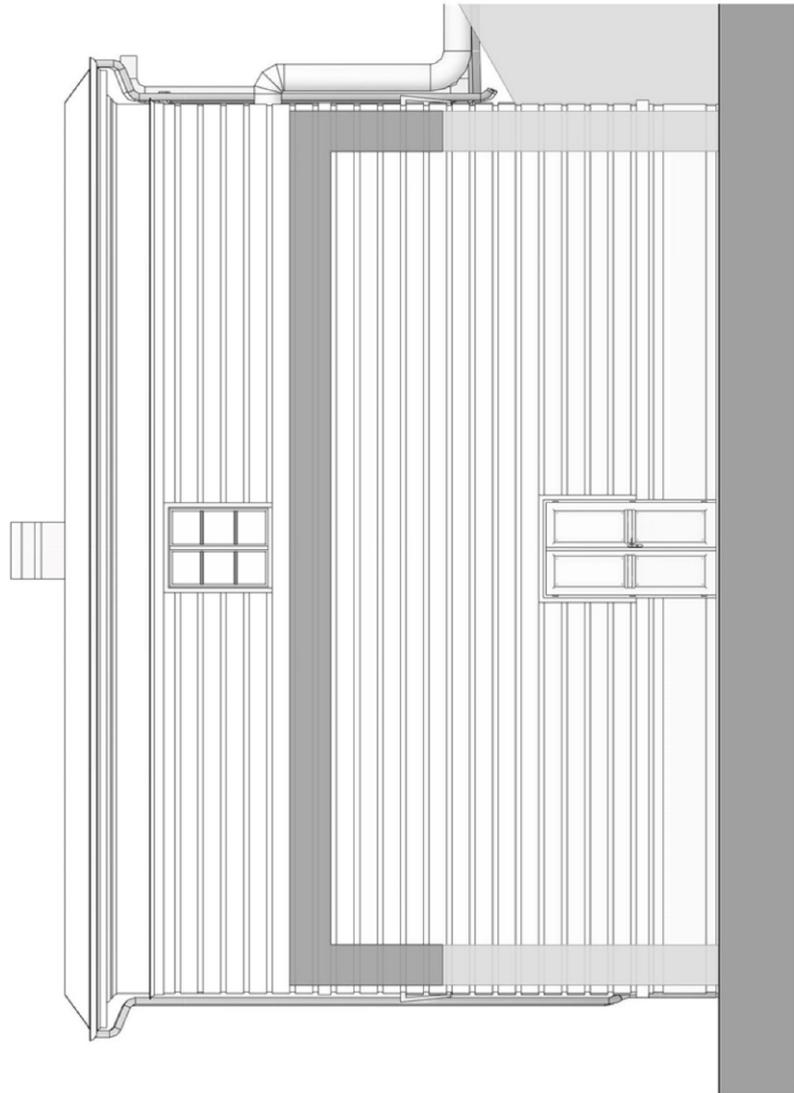
Stato di fatto - Ortofoto Sud-Ovest - Scala 1:100



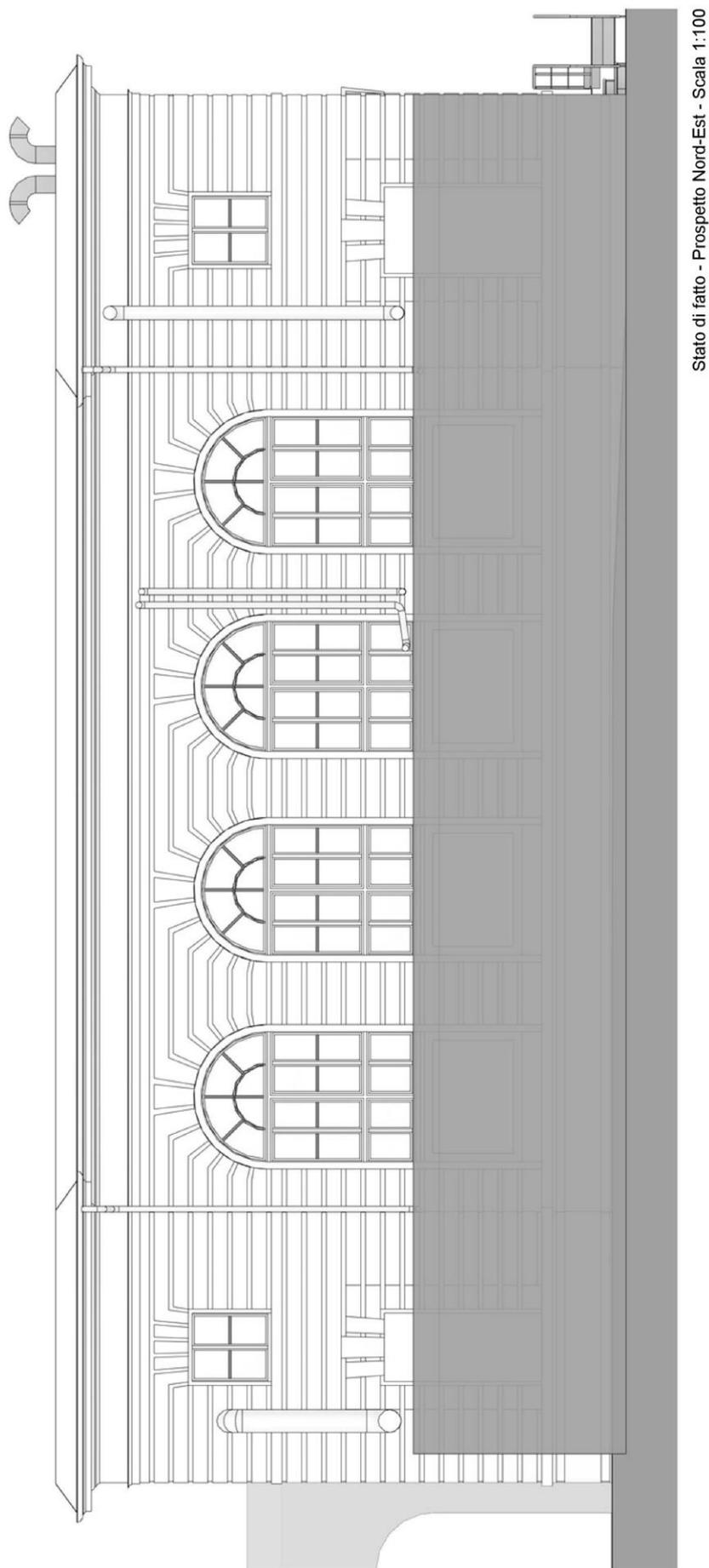
Stato di fatto - Prospetto Nord-Ovest - Scala 1:100

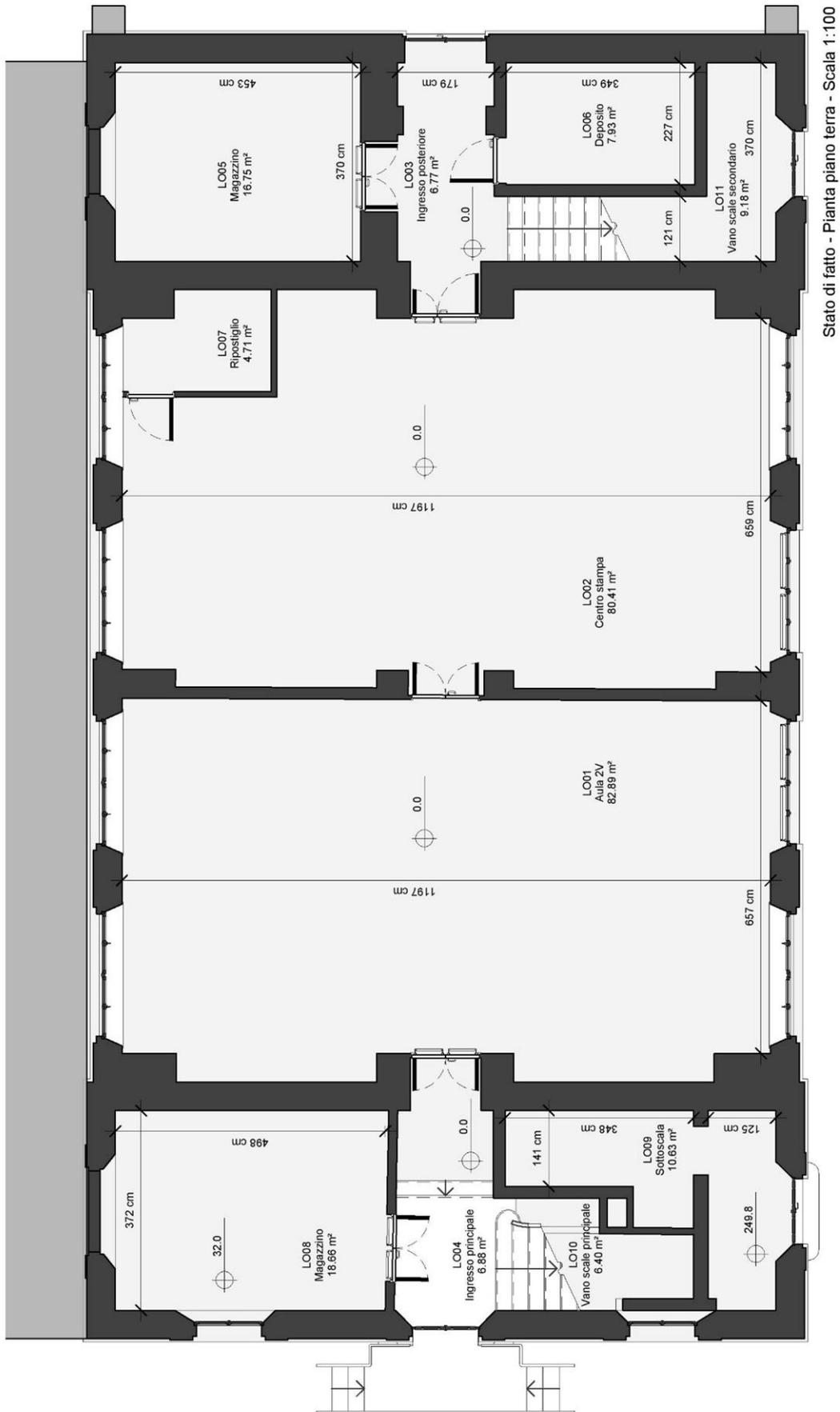


Stato di fatto - Prospetto Sud-Ovest - Scala 1:100

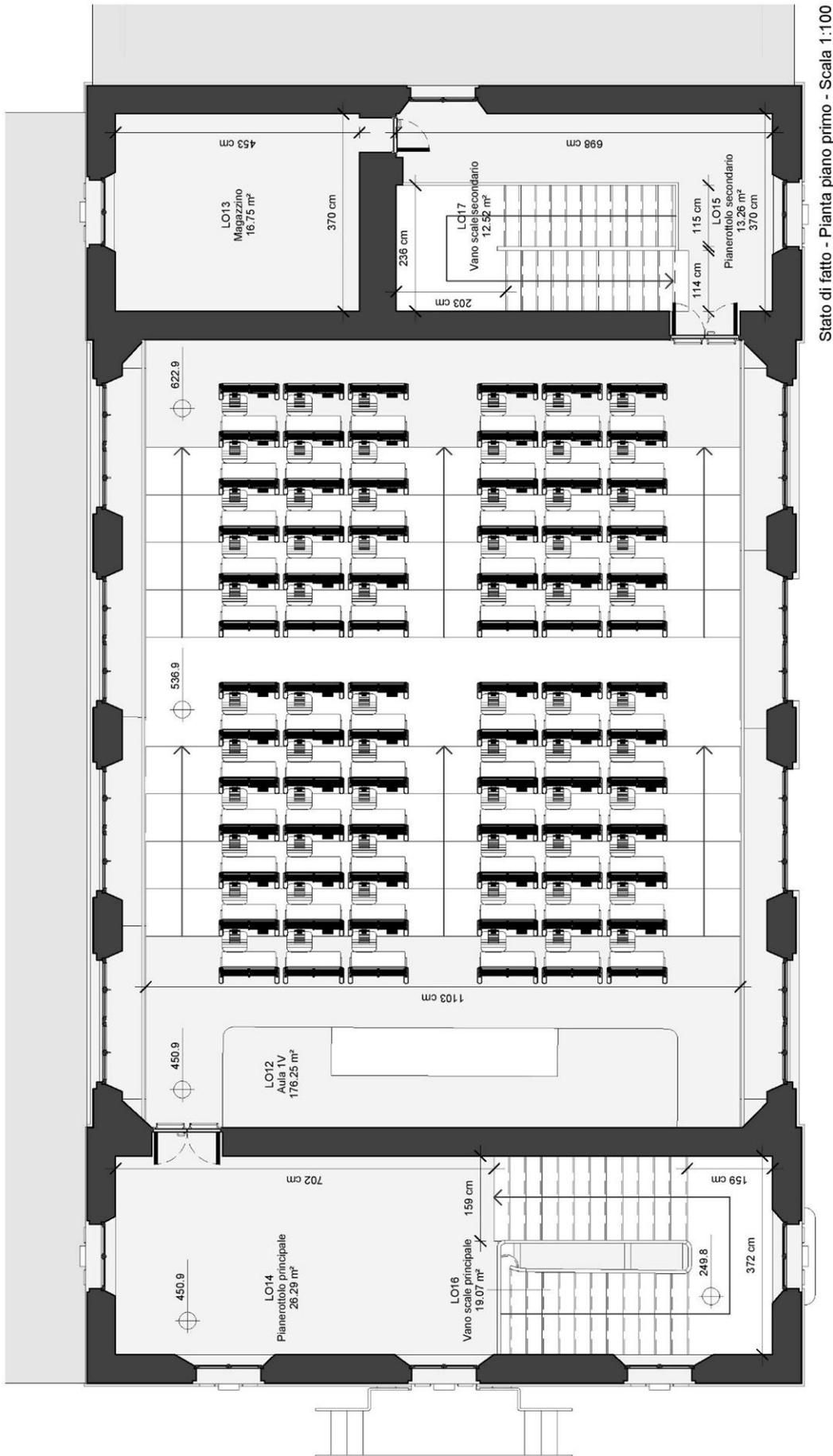


Stato di fatto - Prospetto Sud-Est - Scala 1:100

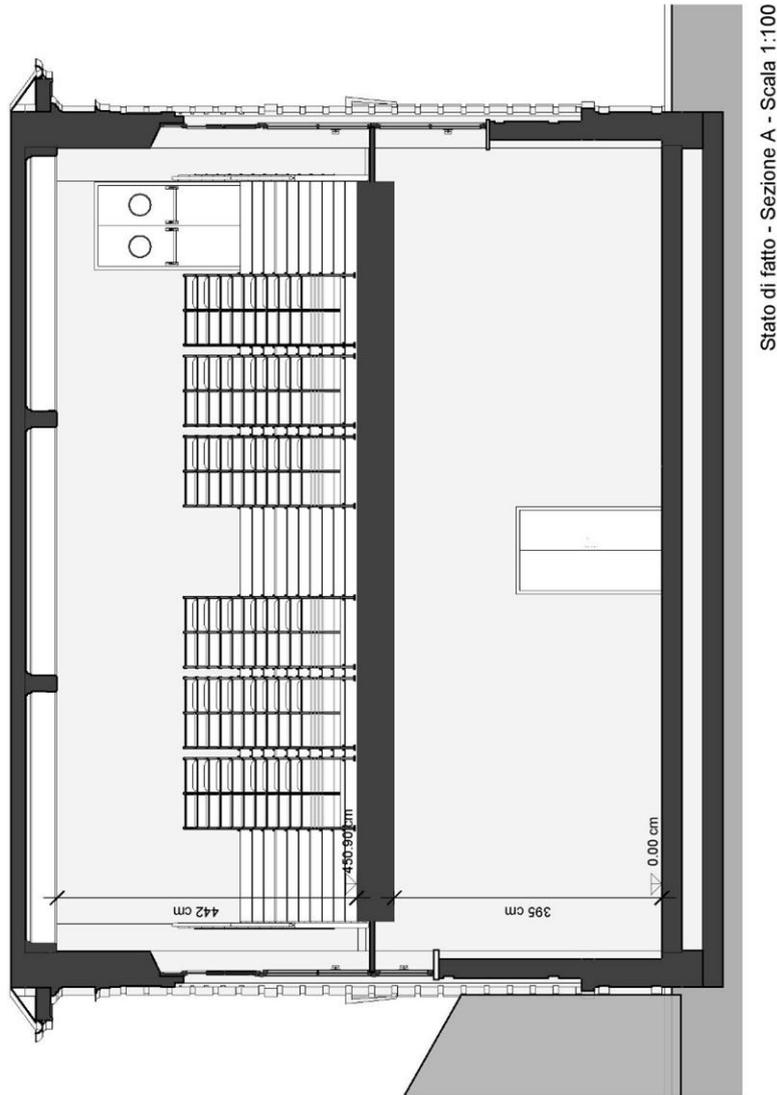


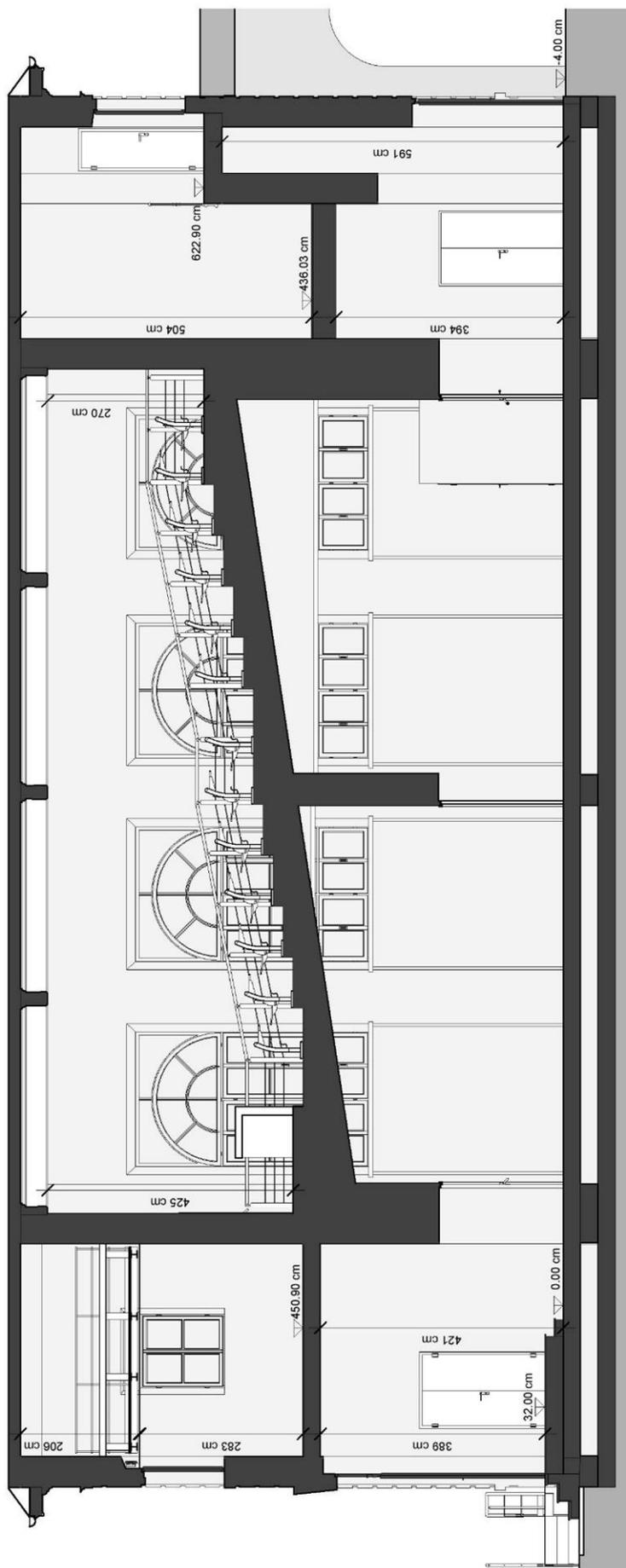


Stato di fatto - Pianta piano terra - Scala 1:100



Stato di fatto - Pianta piano primo - Scala 1:100





Stato di fatto - Sezione B - Scala 1:100

1.3 Storia dell'oggetto di studio e degli interventi subiti

La storia dell'oggetto di studio è legata in modo imprescindibile a quella del Castello del Valentino, costruito nel XVI secolo dagli Architetti Carlo e Amedeo di Castellamonte e acquistato da Emanuele Filiberto di Savoia, su consiglio di Andrea Palladio.

In origine la struttura fu luogo di soggiorno extraurbano per alcune delle più illustri famiglie nobiliari italiane, tra le quali si distinguono gli Este di San Martino, i Pacelli e i Calvi che acquisirono alcune sale del castello. Nel XVII secolo fu dimora della Duchessa Maria Cristina di Borbone, sposa di Vittorio Amedeo I di Savoia e figlia di Enrico IV Re di Francia, che finanziò i primi interventi di ristrutturazione e rammodernamento, attribuendo al castello l'aspetto armonico e solenne che oggi possiamo ammirare.

Dalla prima metà del XIX secolo all'anno dell'unità di Italia il Castello del Valentino fu destinato a uso caserma da parte del Genio Pontieri e negli stessi anni subì numerosi interventi che diedero nuova forma all'originaria composizione a padiglioni. A questo scopo furono abbattuti i portici di collegamento fra i fabbricati esistenti, voluti dagli Architetti Carlo e Amedeo di Castellamonte e vennero realizzate le attuali gallerie su progetto di Domenico Ferri e Luigi Tonta.

A metà del XIX secolo Jean-Baptiste Kettmann vinse il concorso internazionale per la progettazione del parco pubblico del Valentino e negli anni successivi la città di Torino si espanse verso Sud-Ovest, dando così origine all'odierno quartiere San Salvario e inglobando il castello all'interno dei nuovi confini.

Dal 1859, in virtù della legge Casati, il Castello del Valentino divenne sede della *"Scuola di Applicazione per gli Ingegneri"* che dal 1906 prese il nome di *"Regio Politecnico di Torino"*. Da allora il complesso di fabbricati adiacenti al castello subì numerosi interventi necessari ad ospitare gli spazi destinati alla didattica e alle attività di ateneo, realizzando così i locali delle odierne Aule 1V, 2V e 4V e degli attuali laboratori informatici.

Negli ultimi cinquanta anni furono costruiti la Biblioteca Centrale "Roberto Gabetti" e il Bar della Facoltà di Architettura, nel primo caso di fronte e nel secondo in adiacenza al fabbricato oggetto di studio. A questo scopo venne trasformato lo spazio antistante alla struttura e furono tamponate alcune aperture presenti al piano inferiore.

1.4 Stato di conservazione dell'oggetto di studio

Il fabbricato si presenta complessivamente in buono stato, ma necessita tuttavia di interventi, primariamente in campo energetico e impiantistico e successivamente in ambito architettonico e sul piano dell'antincendio, in modo tale da uniformarsi alle normative vigenti.

Le facciate dell'edificio sono visibilmente colpite dai segni del tempo: nella parte inferiore dei muri perimetrali infatti i corsi di malta sono arretrati rispetto ai mattoni, sintomo evidente del processo, lento e latente, di risalita capillare dell'acqua dal terreno; in quella superiore si osservano invece macchie scure ed efflorescenze, causate rispettivamente da un'esposizione prolungata all'inquinamento e all'umidità dell'aria in ambiente.

Non sono presenti segni evidenti di ammaloramento o deterioramento delle partizioni verticali, orizzontali e inclinate dell'edificio. Si individuano tuttavia numerose crepe sulle superfici coperte da intonaco, presumibilmente a causa del tempo e di condizioni termo-igrometriche incostanti all'interno dei locali.

Gli infissi esterni sono quelli originali a bassa prestazione energetica e quelli posti lungo le facciate Sud-Ovest e Nord-Ovest, poiché maggiormente esposti al vento, rivelano uno stato peggiore di usura, apparendo infatti sbeccati, in alcune parti privi di verniciatura e in altre addirittura marcescenti.

Gli infissi interni sono stati sostituiti ripetutamente, ma alcuni di essi sono tutt'ora fuori norma, essendo sprovvisti di oblò e non garantendo in caso di incendio l'isolamento e la tenuta ai fumi imposti dalla legge (D.M. 3 agosto 2015).

La composizione degli spazi e la distribuzione dei percorsi verticali impediscono ai soggetti diversamente abili di accedere in autonomia ad alcuni locali del primo livello fuori terra e a tutti quelli del secondo, costituendo così vere e proprie barriere architettoniche (D.M.13 giugno 1989).

I pavimenti dei locali destinati al pubblico sono in linoleum e si presentano complessivamente in buono stato, anche se alla vista appaiono sporchi, graffiati e sbiaditi.

L'impianto a tutt'aria precedentemente citato è obsoleto e a bassa efficienza per gli standard energetici moderni. Il posizionamento periferico dei condotti e la prossimità dei terminali di ripresa a quelli di mandata riducono inoltre l'efficacia del sistema in ambiente, dando luogo a un corto circuito e rappresentando quindi una strategia di ventilazione scorretta.

Alcuni dei pannelli costituenti il controsoffitto che separa il locale a soppalco dal pianerottolo principale si presentano ingialliti e coperti da macchie, probabilmente a causa dell'umidità dell'aria interna.

Le passerelle e i terminali dell'impianto elettrico, installato durante il primo intervento di recupero coordinato dal Politecnico di Torino, sono a vista e dunque non incluse all'interno delle partizioni, probabilmente per preservare l'integrità architettonica e strutturale del fabbricato e in modo da agevolare le future operazioni di manutenzione.

2. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Sulla base dello stato di conservazione del manufatto si dimostra l'urgenza di un intervento di ristrutturazione e rammodernamento che preveda delle modifiche, soprattutto in ambito architettonico e impiantistico, con lo scopo di adeguarsi alle esigenze di un'utenza allargata e di garantire l'efficienza energetica richiesta, secondo quanto prescritto dalle norme vigenti.

2.1 Descrizione dell'intervento in ambito architettonico

Dal punto di vista distributivo e compositivo sono previste delle modifiche rivolte principalmente all'abbattimento delle barriere architettoniche presenti, a cui si è fatto già riferimento in precedenza. L'intervento in questione può quindi essere riassunto nei seguenti obiettivi:

a.a) Smontaggio della scala esterna in carpenteria metallica, a servizio del pubblico per l'accesso al fabbricato dal lato Nord-Ovest;

a.b) Recupero della scala esterna originaria in materiale lapideo, nascosta al momento da quella di cui al pt.(a.a);

a.c) Inserimento di un terzo ingresso, a servizio del pubblico per l'accesso al fabbricato dal lato Sud-Ovest, mediante l'ampliamento dell'apertura attualmente utilizzata per consentire l'ispezione del vano sottoscala;

a.d) Realizzazione di un percorso riservato ai soggetti diversamente abili, attraverso l'abbattimento delle partizioni verticali e orizzontali che chiudono il vano sottoscala e mediante la creazione di una rampa inclinata, che colleghi l'ingresso di cui al pt.(a.c), abbassato alla quota di -28 cm, con l'ingresso principale, posto a livello con il piano terra;

a.e) Inserimento di un percorso verticale servito da ascensore all'interno del locale ad uso magazzino presente a fianco dell'ingresso principale.

a.f) Smantellamento della attuale pedana dell'Aula 1V e posa in opera di quella nuova, dotata di rampa inclinata, per consentire ai soggetti diversamente abili di partecipare alle attività didattiche organizzate dall'ateneo.

a.g) Sostituzione delle porte interne presenti con quelle REI, munite di maniglione antipanico, taglio al fuoco e oblò;

2.2 Descrizione dell'intervento in ambito strutturale

Dal punto di vista strutturale sono previste delle modifiche rivolte principalmente alla realizzazione delle forometrie necessarie all'inserimento dei nuovi percorsi verticali. L'intervento in questione può quindi essere riassunto nei seguenti obiettivi:

- b.a) Rimozione della scala esterna originaria in materiale lapideo, attualmente a servizio della manutenzione per l'ispezione del vano sottoscala e demolizione della relativa soglia in mattoni;
- b.b) Abbattimento delle partizioni verticali di ostacolo alla realizzazione del percorso di cui al pt.(a.d);
- b.c) Atterramento della pavimentazione del vano sottoscala in modo da permettere la posa in opera della rampa inclinata di cui al pt.(a.d);
- b.d) Realizzazione delle forometrie nei solai esistenti per consentire il passaggio dell'ascensore di cui al pt.(a.e).

2.3 Descrizione dell'intervento in ambito energetico e impiantistico

Dal punto di vista energetico e impiantistico sono previste delle modifiche rivolte principalmente alla sostituzione degli elementi presenti con quelli a maggiore efficienza o più alta prestazione energetica. L'intervento in questione può quindi essere riassunto nei seguenti obiettivi:

- c.a) Smantellamento dell'impianto meccanico esistente e installazione di quello nuovo; distribuito omogeneamente secondo una strategia di ventilazione corretta;
- c.b) Inserimento di una controparete per il passaggio dei condotti di ripresa;
- c.c) Rimozione dell'impianto elettrico esistente e installazione di quello nuovo, dotato di prese elettriche e di rete per ogni singola postazione a sedere;
- c.d) Sostituzione degli infissi esterni con quelli nuovi, identici ai primi per geometria e colore, ma sostanzialmente diversi per materiale, forma del profilo e quindi classe energetica.

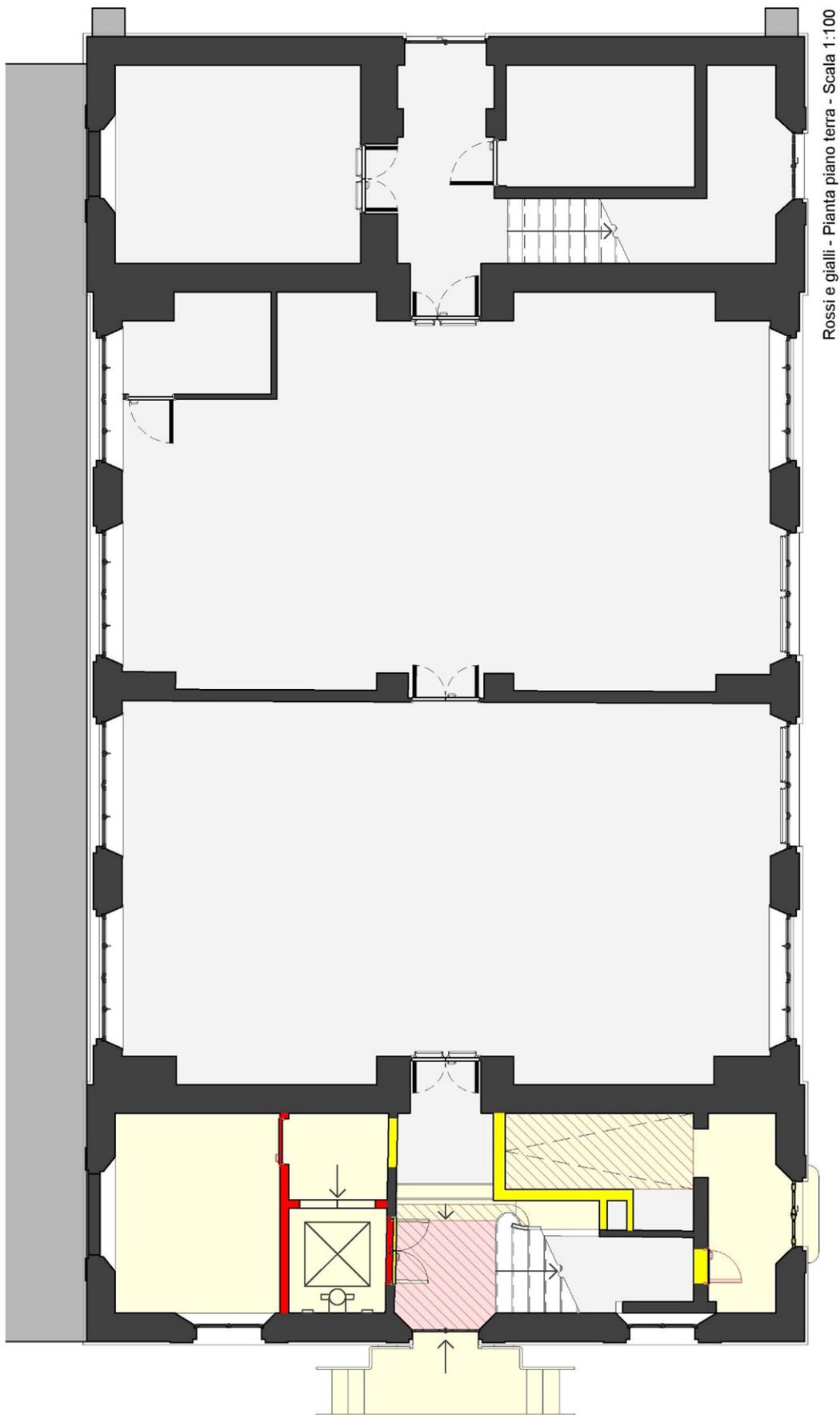
Nelle pagine successive sono allegate le viste del fabbricato in fase di intervento sotto forma di piante, prospetti, sezioni e rendering. Queste sono estratte in modo semi-automatico dal modello BIM per mezzo del software Revit.

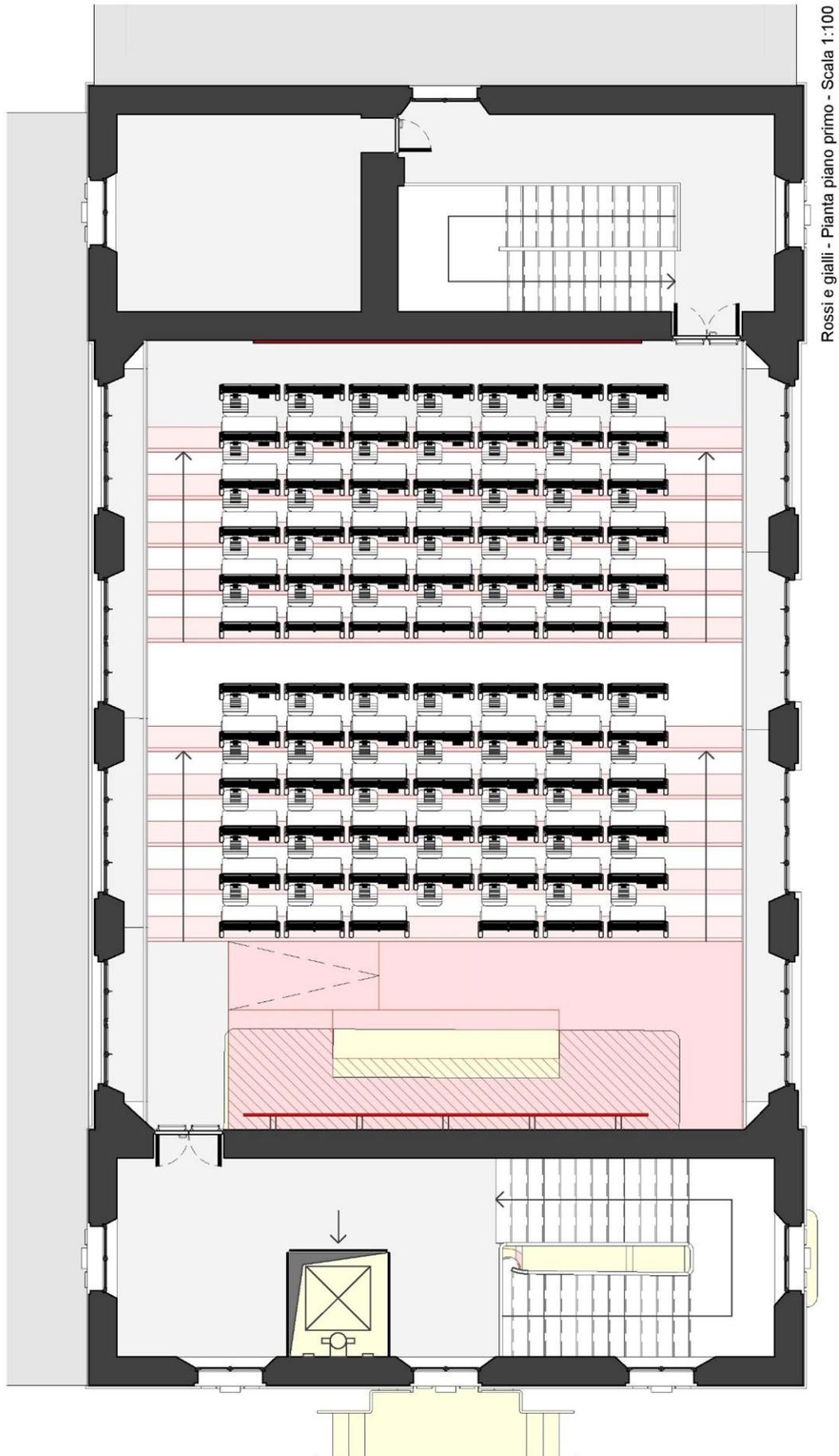


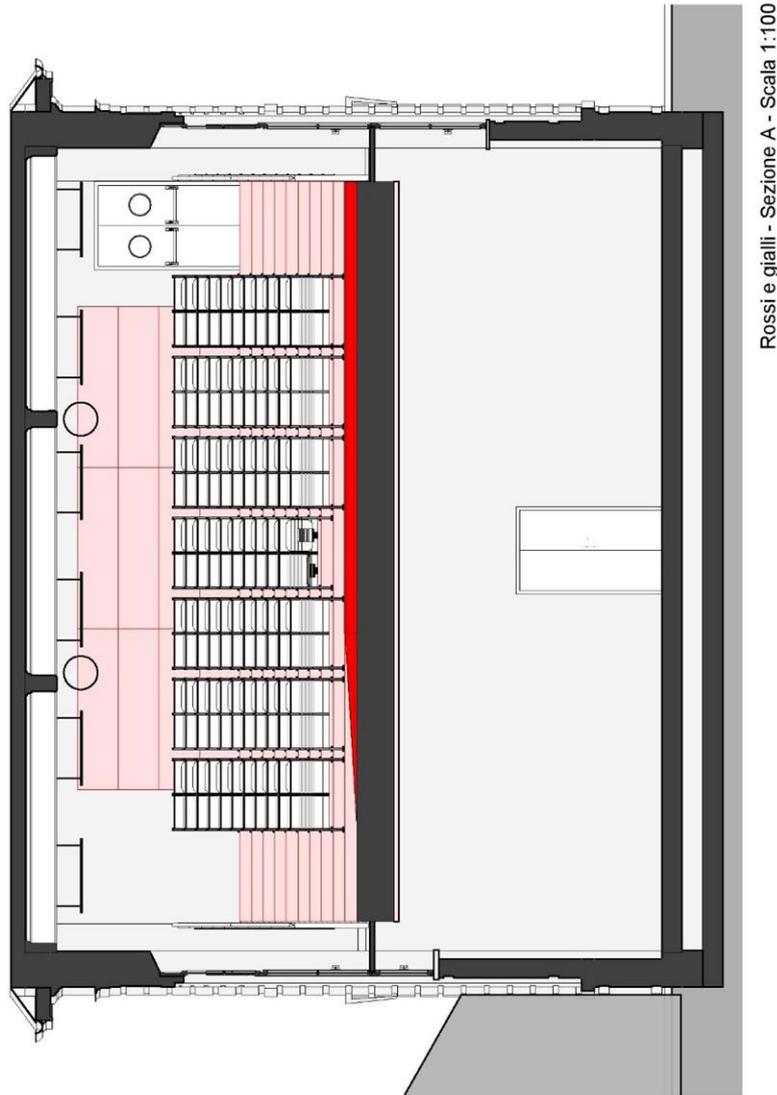
Figura 14 – Intervento, Rendering esterno



Figura 13 - Intervento, Rendering interno

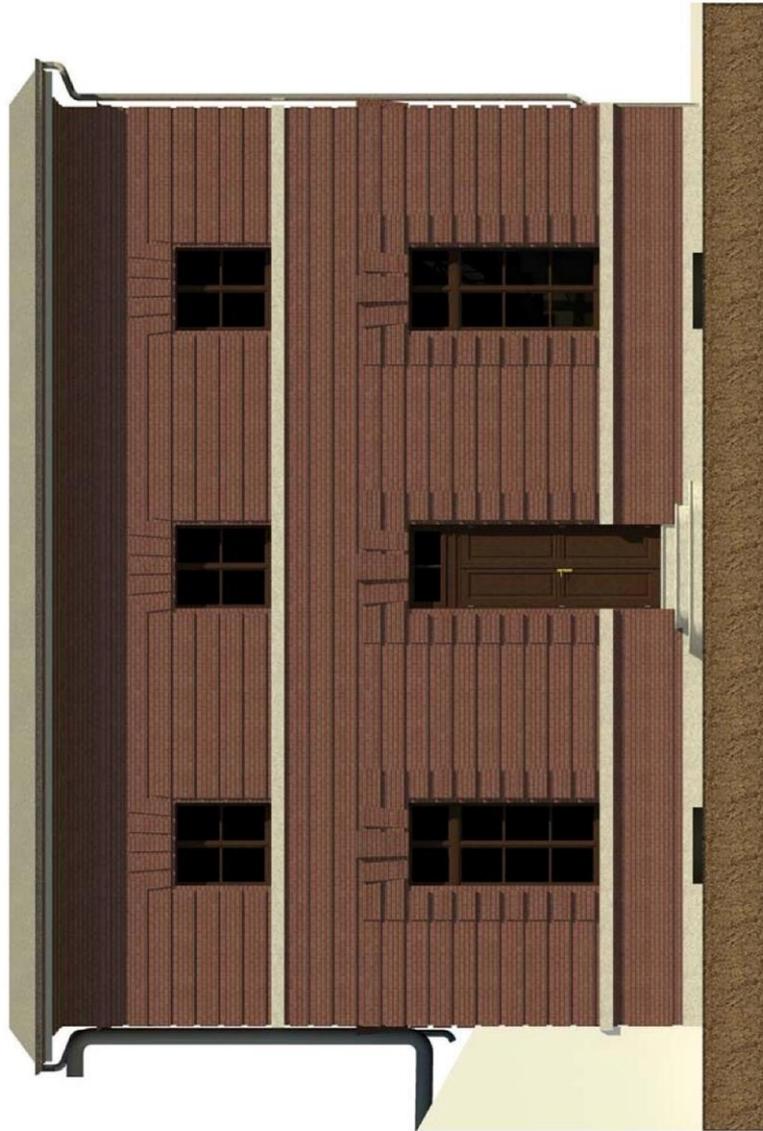




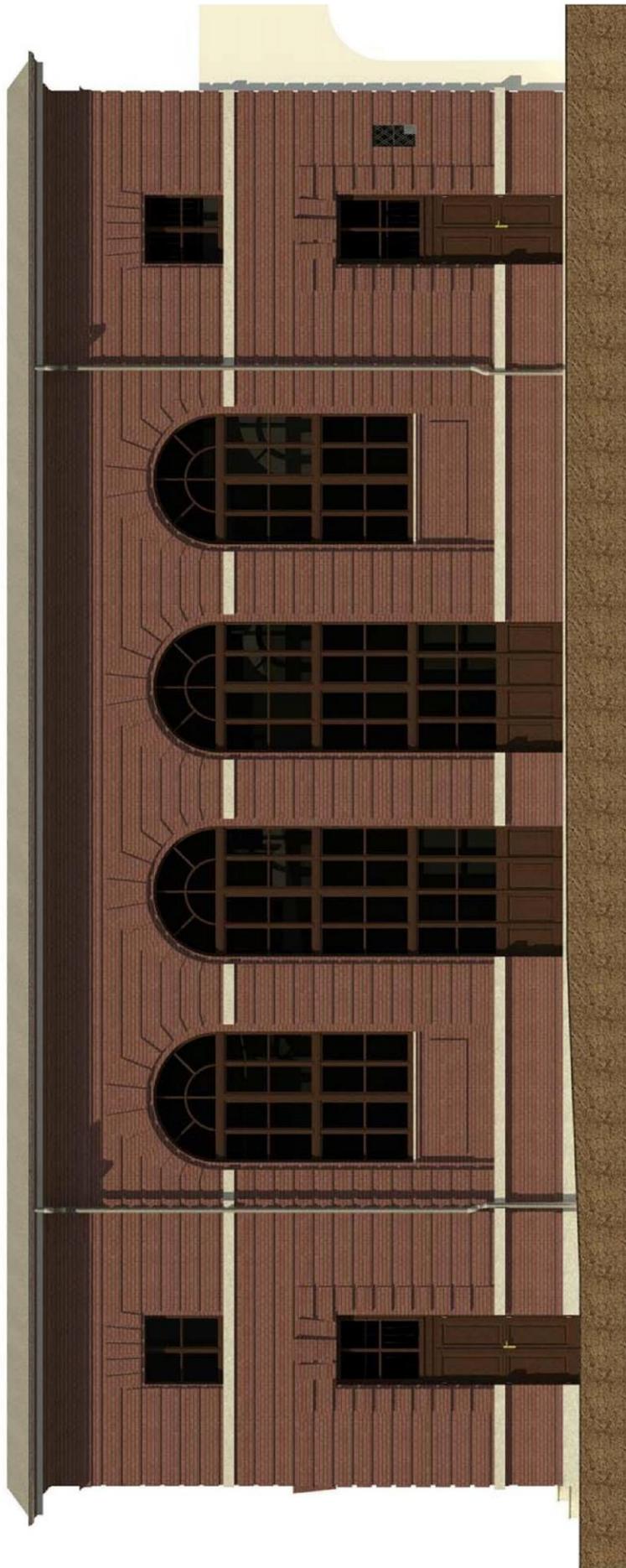




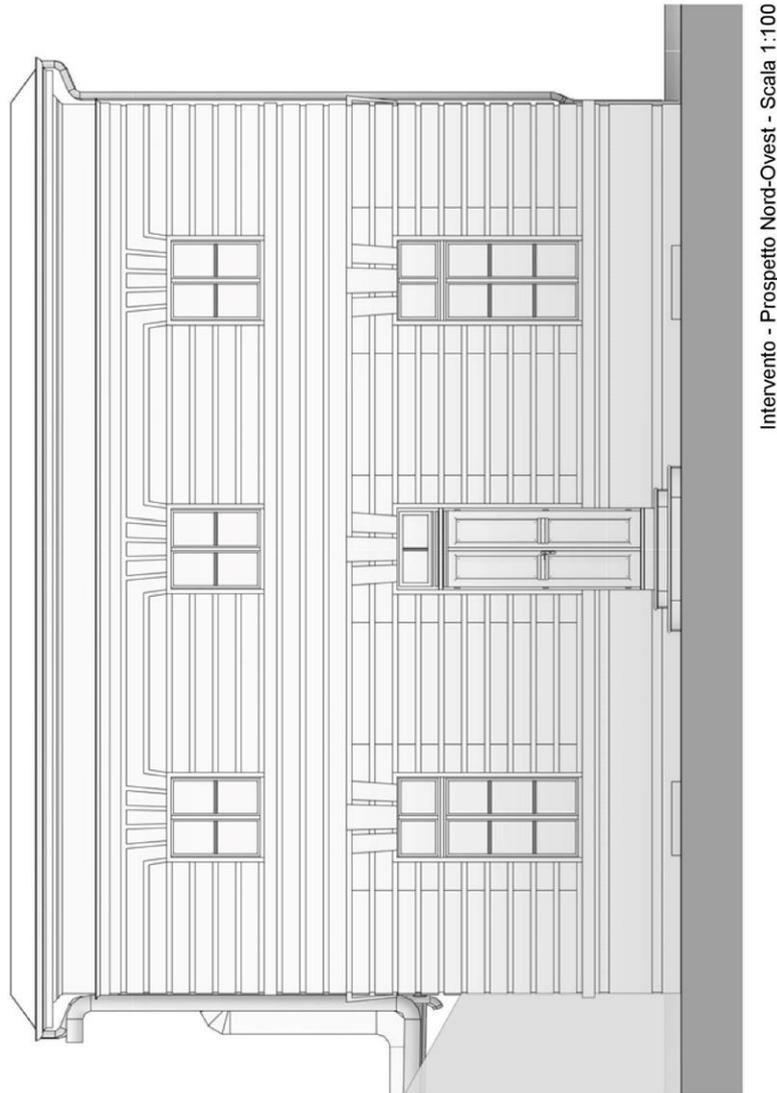
Rossi e gialli - Sezione B - Scala 1:100

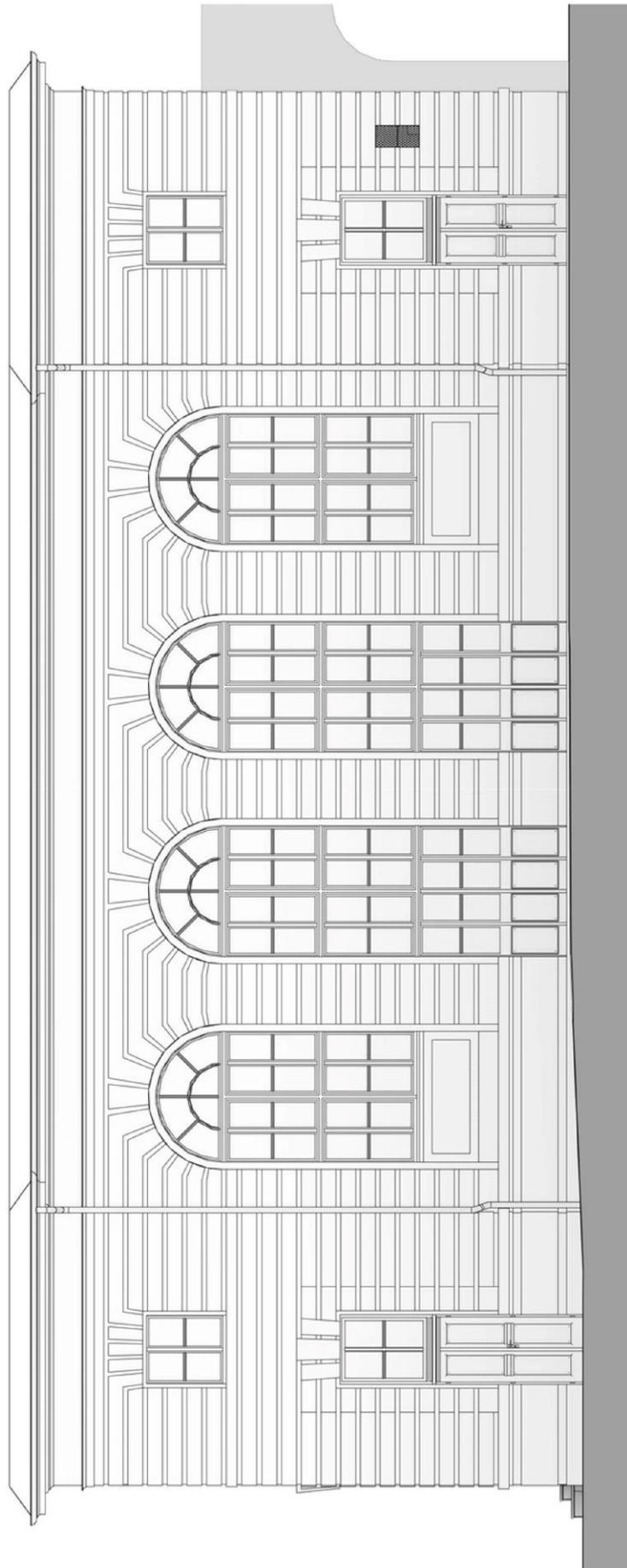


Intervento - Prospetto Nord-Ovest - Scala 1:100

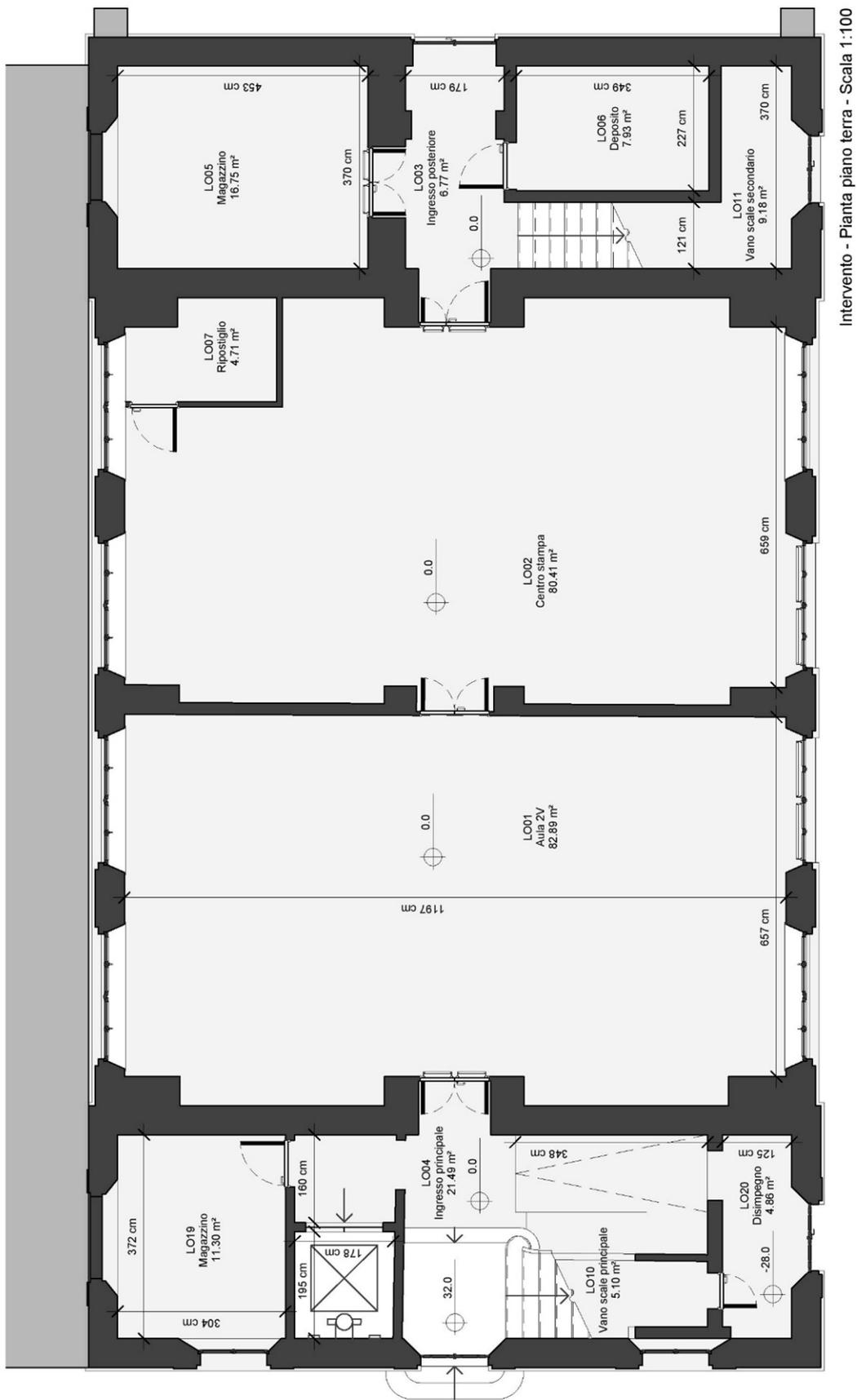


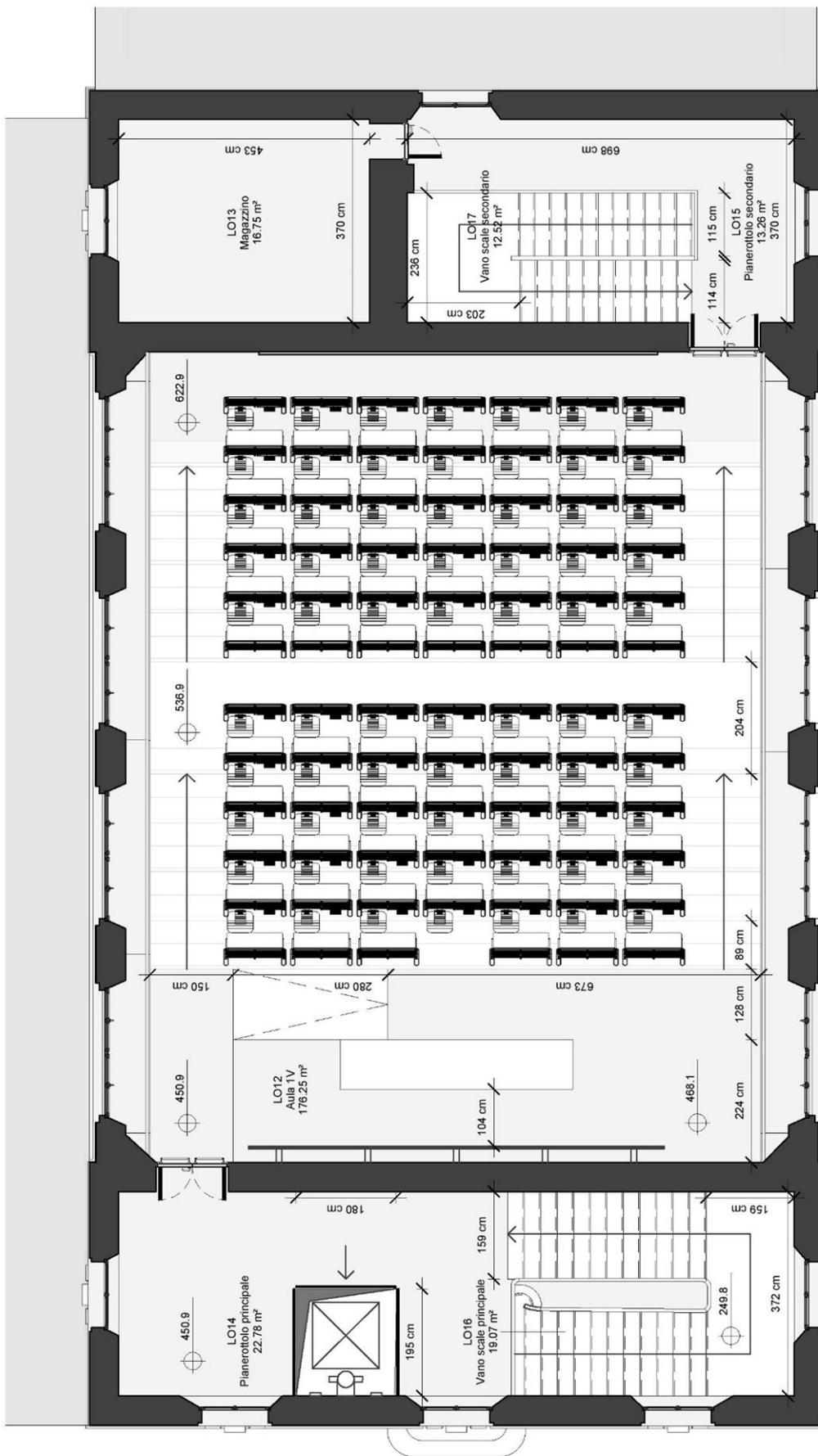
Intervento - Prospetto Sud-Ovest - Scala 1:100



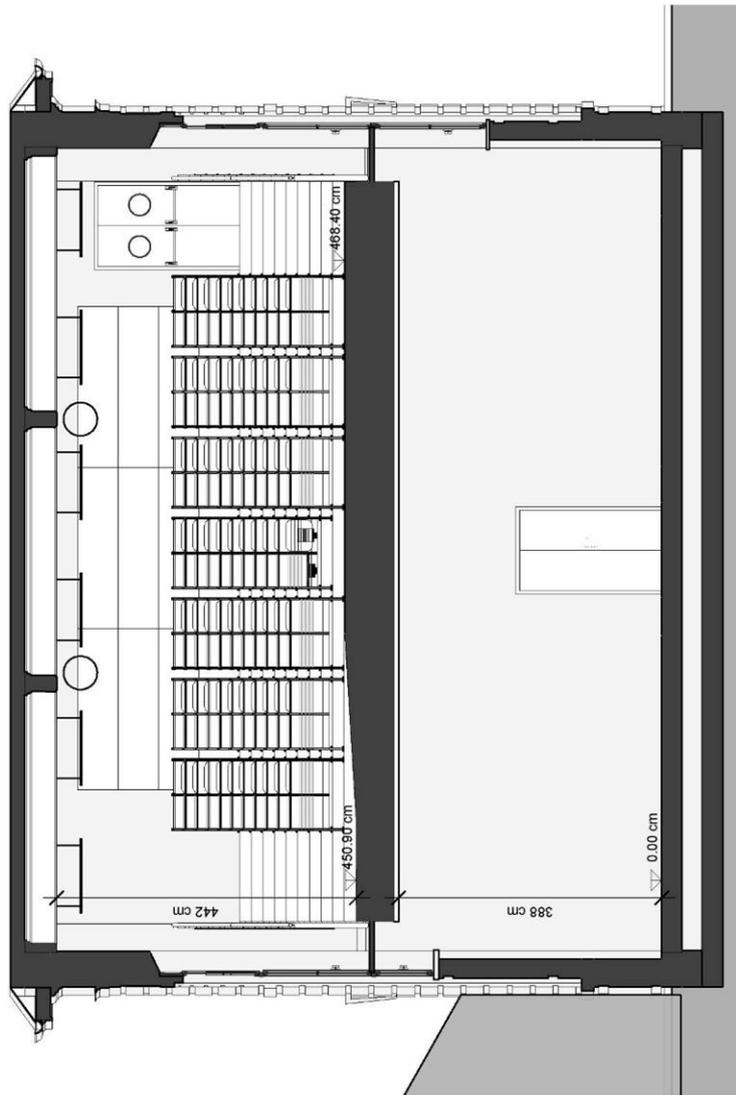


Intervento - Prospetto Sud-Ovest - Scala 1:100

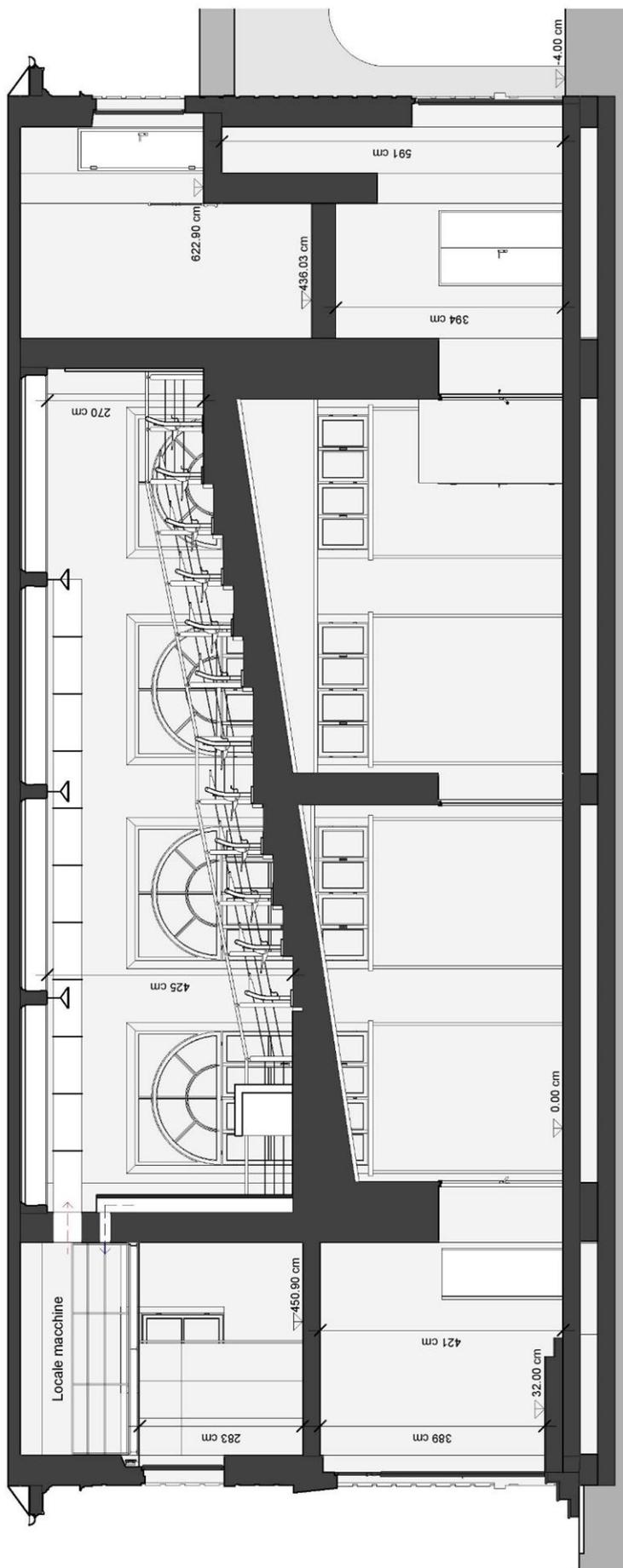




Intervento - Pianta piano primo - Scala 1:100



Intervento - Sezione A - Scala 1:100



Intervento - Sezione B - Scala 1:100

3. GLI OBIETTIVI DELLA MODELLAZIONE DIGITALE

Al fine di svolgere la modellazione del fabbricato oggetto di studio nel pieno rispetto della metodologia BIM, è necessario prima definire un piano di azione che comprenda le indicazioni sulle modalità di gestione e di sviluppo delle attività e su quelle di controllo e di verifica dei dati.

A questo scopo nei due capitoli correnti saranno trattati principalmente i seguenti argomenti:

- a) La pianificazione delle attività da svolgere, secondo la scomposizione gerarchica della Work Breakdown Structure (WBS), con lo scopo di controllare e quindi gestire l'intero processo di modellazione;
- b) La definizione e la suddivisione delle responsabilità, secondo la scomposizione gerarchica della Organizational Breakdown Structure (OBS), con lo scopo di individuare le figure di riferimento responsabili dello sviluppo dei Work Package;
- c) La tipologia e la modalità di rilievo del fabbricato allo stato di fatto attraverso la tecnica di telerilevamento *Lidar*, in grado di discretizzare la realtà esistente per nuvole di punti, quale principale base di supporto digitale alla fase di restituzione tridimensionale, eseguita per mezzo delle categorie messe a disposizione dell'utente dal software Autodesk Revit;
- d) Lo sviluppo del progetto in fase di intervento mediante l'elaborazione del modello informativo;
- e) La tipologia e la modalità di verifica del coordinamento dei modelli informativi e di controllo dello scambio dei dati;
- f) La modalità di codifica degli elementi;
- g) I parametri associati alle categorie del modello;
- h) La gestione dei contenuti del modello informativo attraverso l'associazione di codifiche e l'associazione di parametri;
- i) La modalità di condivisione del lavoro e di scambio delle informazioni, i formati aperti e i proprietari;
- j) La struttura dei modelli informativi nelle discipline "architettonico" e "meccanico".
- k) Le indicazioni sugli hardware e i software utilizzati;

Il Bim Execution Plan (BEP), a cui i capitoli correnti fanno riferimento, è stato redatto dagli Architetti Silvia Vasciaveo e Lorenzo Penna sulla base delle informazioni accolte e scambiate con il BIM Manager della stazione appaltante.

A seguire sono allegate le tabelle indicanti le informazioni e gli obiettivi del progetto definitivo.

Nome	Luogo	Cliente	Settore	Discipline	LOD	Team	Worksharing
Lavori di riqualificazione dell'aula 1V del Politecnico di Torino	Castello del Valentino - Viale Mattioli 39, 10125	Politecnico di Torino	scolastico	Rilievo <i>Points Cloud</i> , Architettonico, MEP	E7	BIM Manager BIM Specialist	Collegamento Revit tra modelli indipendenti

Tabella 1 - Le informazioni del progetto definitivo

Priorità	Obiettivo	Attività BIM
Alta	Gestione e manutenzione del fabbricato in fase di esercizio	Modellazione geometrica e informativa, Parametrizzazione avanzata, Programmazione dinamica
Alta	Semplificazione del flusso di lavoro in fase di progetto	Modellazione geometrica e informativa, Programmazione dinamica, Produzione automatica degli elaborati
Media	Restituzione tridimensionale del fabbricato allo stato di fatto	Modellazione geometrica e informativa da <i>Point Cloud</i>
Media	Controllo e gestione del cantiere	Definizione e programmazione delle fasi, Parametrizzazione avanzata
Bassa	Controllo e computo dei costi in fase di progetto	Estrazione mirata di abachi delle quantità e dei materiali, Esportazione dei dati in formato IFC
Bassa	Valutazione della sostenibilità ambientale ed energetica	Estrazione mirata di abachi delle quantità e dei materiali, Esportazione dei dati in formato IFC

Tabella 2 - Gli obiettivi del progetto definitivo

3.1 WBS: La pianificazione delle attività

La Work Breakdown Structure è una rappresentazione grafica che esprime la scomposizione gerarchica delle attività che devono essere svolte dal gruppo di lavoro, con lo scopo di controllare e quindi gestire l'intero processo di modellazione e di produrre infine gli elaborati cartacei richiesti.

La WBS si presenta sotto forma di diagramma ad albero, composto quindi da blocchi, che individuano le singole attività del processo edilizio e da segmenti, che ne stabiliscono la scomposizione secondo livelli gerarchici progressivi. Ciascuno di questi rappresenta una definizione sempre più dettagliata del lavoro da svolgere, giungendo infine al livello di scomposizione più basso, costituito dai cosiddetti Work Package ovvero quelle attività a carico di un singolo operatore.

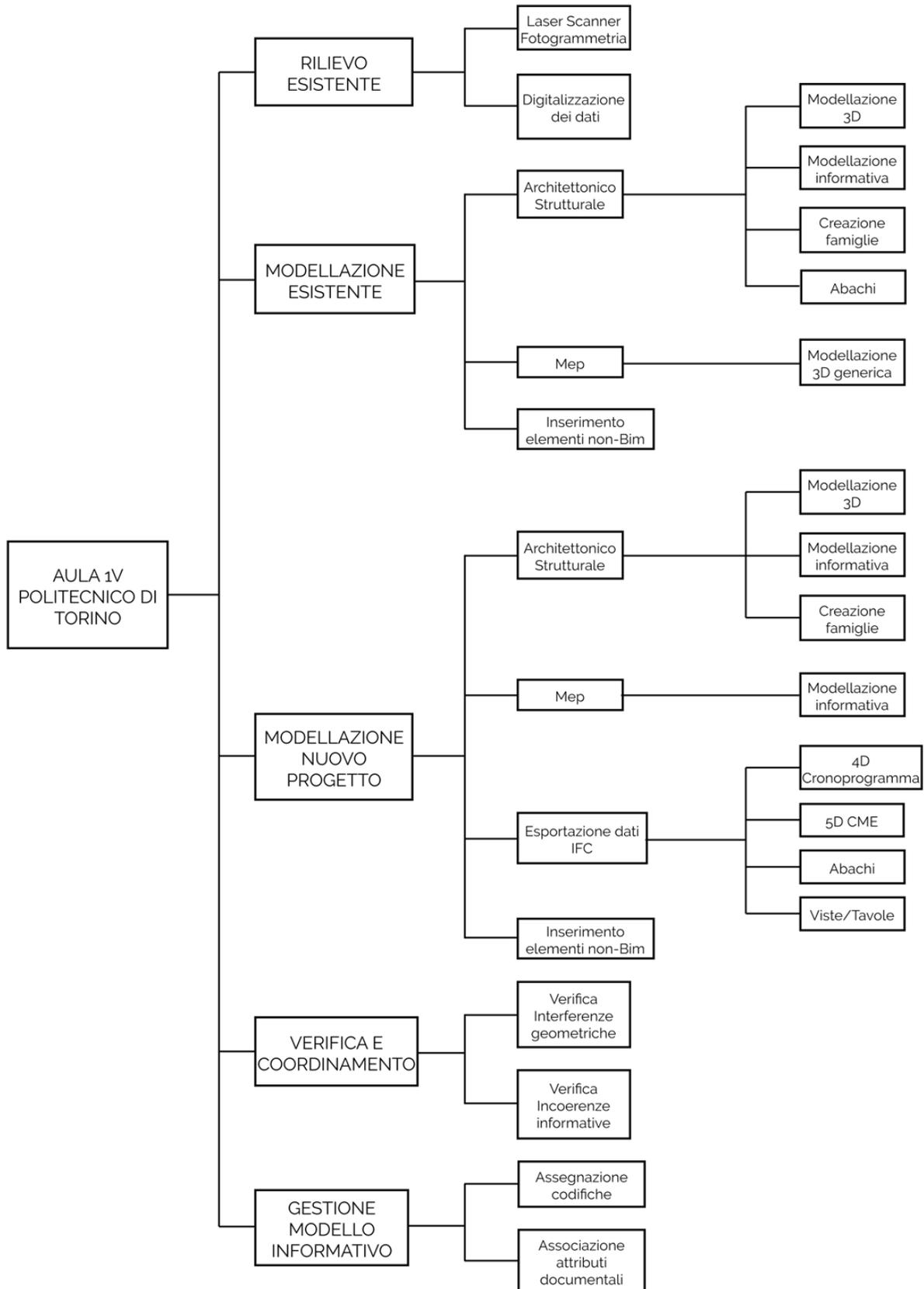
La WBS risulta essere un ottimo strumento perché:

- a) fornisce una descrizione sintetica, ma pur sempre completa del processo edilizio, dichiarandone gli obiettivi a diversi livelli di lettura;
- b) semplifica la definizione del gruppo di lavoro, potendo associare a ciascuna attività indicata uno o più operatori;
- c) agevola il monitoraggio delle attività, articolando in modo chiaro e schematico le fasi di progetto.
- d) permette di ottenere stime accurate su tempi e costi mediante l'approccio bottom-up;

Nella pagina seguente è allegata la scomposizione gerarchica delle attività svolte attraverso la metodologia BIM. Si individuano in essa tre differenti livelli di dettaglio che verranno descritti nei paragrafi successivi.

Work Breakdown Structure

scomposizione e definizione delle attività BIM



Livello 0

Livello 1

Livello 2

Livello 3

3.2 OBS: La definizione e la suddivisione delle responsabilità

La OBS è la scomposizione gerarchica delle responsabilità, con lo scopo di individuare le figure di riferimento responsabili dello sviluppo dei Work Package, semplificare il controllo del flusso di lavoro e agevolare la comunicazione all'interno del team di progetto.

Per il caso studio in oggetto si dimostra la necessità di quattro differenti figure:

- a) L'operatore in fase di rilievo, responsabile dell'acquisizione e della rielaborazione dei dati geometrici del fabbricato allo stato di fatto;
- b) Il Project leader, responsabile dell'intero processo di progettazione, della stesura del cronoprogramma (4D) e della redazione del computo metrico estimativo (5D).
- c) Il BIM Manager, responsabile dell'organizzazione, della gestione e della verifica dei modelli informativi.
- d) Il BIM Specialist, responsabile della restituzione tridimensionale, sulla base del rilievo del fabbricato allo stato di fatto e dell'elaborazione dei modelli geometrici e informativi.

A seguire è indicata la composizione del team di lavoro.

Figura coinvolta	Conteggio	Figura coinvolta	Conteggio
Project Leader	1	BIM Manager	2
BIM Coordinator	0	BIM Specialist	1
BIM Consultant	0	Operatore in fase di rilievo	1

Tabella 3 - La composizione del team di lavoro

4. LA DESCRIZIONE DEL WORKFLOW

In base al caso studio sono state definite due macro-fasi di progetto:

- a) il rilievo del fabbricato allo stato di fatto, corredato della documentazione architettonica fornita dalla stazione appaltante;
- b) il progetto definitivo riguardante l'intervento di ristrutturazione e rammodernamento del fabbricato oggetto di studio e in particolare dell'Aula 1V.

Allo stesso modo sono stati delineati su Autodesk Revit due tempi di modellazione, anche chiamati dal software *Fasi di lavoro*, con lo scopo di agevolare il controllo e la gestione delle diverse attività di cantiere e al fine di produrre le viste, sotto forma di piante, prospetti e sezioni, da allegare alla tavola dei rossi e dei gialli. Essi sono:

- 1) Stato di fatto
- 2) Intervento di ristrutturazione

Al fine di rispettare la dimensione massima di 100.000 Kb per file richiesta dalla stazione appaltante, il progetto riguardante l'intervento di ristrutturazione e rammodernamento è stato elaborato in due modelli distinti. Questi sono:

- a) il modello in ambito architettonico e strutturale del fabbricato allo stato di fatto e in fase di intervento;
- b) Il modello in ambito impiantistico del fabbricato allo stato di fatto e in fase di intervento.

Alcune delle discipline specialistiche previste dal progetto non sono state elaborate per mezzo di software BIM *oriented*, ma mediante piattaforme di calcolo specifiche. Le informazioni così ricavate sono state inserite tuttavia all'interno del modello informativo, assegnando i risultati dei report agli elementi del modello. E' questo il caso dello studio acustico e delle analisi strutturali ed energetiche.

A seguire sono descritte le attività costituenti il flusso di lavoro secondo i diversi livelli di scomposizione gerarchica.

4.1 Il rilievo del fabbricato allo stato di fatto

L'operazione denominata "RILIEVO ESISTENTE" consiste nell'acquisizione dei dati geometrici del fabbricato allo stato di fatto e nella successiva digitalizzazione e georeferenziazione degli stessi rispetto a un sistema di coordinate locali. Tale attività è stata eseguita mediante metodi e strumentazioni differenti:

- a) la fotogrammetria diretta, attraverso l'uso di una camera semimetrica e di sistemi aerei a pilotaggio remoto (droni);
- b) la tecnica di telerilevamento *Lidar*, tramite l'utilizzo di un laser scanner ad alta precisione in grado di registrare fino a 976.000 punti al secondo e di attribuire a essi i valori di RGB;
- c) le tecniche di elaborazione dei dati, attraverso il calcolo svolto dal CED della rete topografica di inquadramento;
- d) le tecniche di "make-up", mediante l'impiego del software Autodesk Recap.

4.1.1 L'acquisizione dei dati

Il rilievo dei prospetti Nord-Ovest e Sud-Ovest del fabbricato oggetto di studio è stato condotto mediante le tecniche di cui al pt.(a).

L'acquisizione dei dati geometrici relativi a tutti i prospetti e agli spazi circostanti al fabbricato è stata eseguita per mezzo della tecnica di cui al pt.(b). Ai punti misurati con il laser scanner si è scelto di attribuire inoltre il valore di RGB, ricavando in questo modo l'aspetto effettivo delle facciate e del contesto.

L'acquisizione dei dati geometrici relativi ai locali, ai vani e quindi alle zone interne del fabbricato è stata eseguita per mezzo della tecnica di cui al pt.(b). In questo caso si è preferito non associare il valore di RGB ai punti estratti, ottenendo così per gli spazi elencati un rilievo in scala di grigi.

4.1.2 La digitalizzazione e la georeferenziazione dei dati

La digitalizzazione e la georeferenziazione di tutti i dati acquisiti è stata realizzata attraverso le tecniche di cui al pt.(c).

L'elaborazione finale di tutti i dati acquisiti è stata compiuta mediante le tecniche di cui al pt.(d), ottenendo così un modello altimetrico numerico di tipo DDSM (*Dense Digital Surface Model*) sotto forma di nuvola di punti in formato *.rcp*. Quest'ultima costituisce la principale base di supporto digitale alla fase di restituzione tridimensionale, eseguita per mezzo delle categorie messe a disposizione dell'utente dal software Autodesk Revit.

A completamento della campagna di misura sono state elaborate in formato *.jpg* le ortofoto dei prospetti Nord-Ovest e Sud-Ovest del fabbricato. Le due immagini sono state allegate agli elaborati del progetto definitivo, con lo scopo di arricchire la documentazione architettonica del manufatto e quindi di ottenere da parte della Soprintendenza del Comune di Torino le autorizzazioni necessarie all'avvio della successiva fase di progetto.

Nelle pagine successive sono allegate le immagini del modello altimetrico numerico sotto forma di prospettive e spaccati.



Figura 28 - Il modello altimetrico numerico, Vista esterna

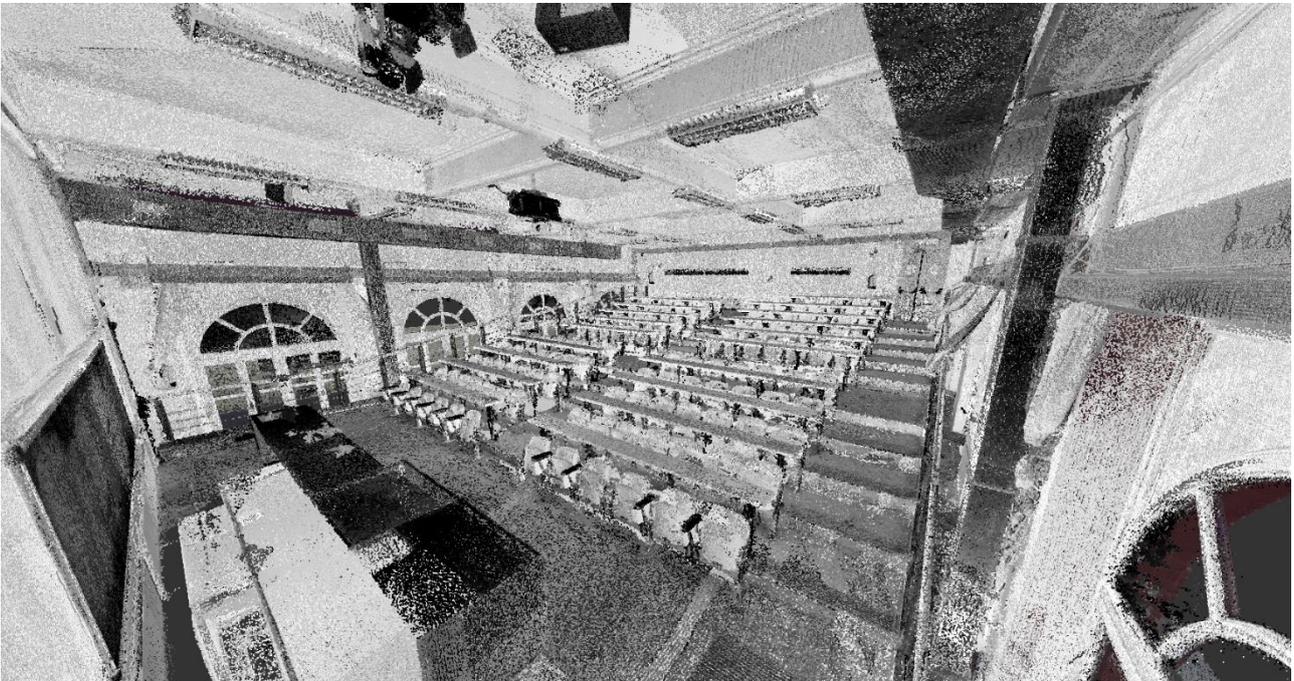


Figura 29 - Il modello altimetrico numerico, Vista interna

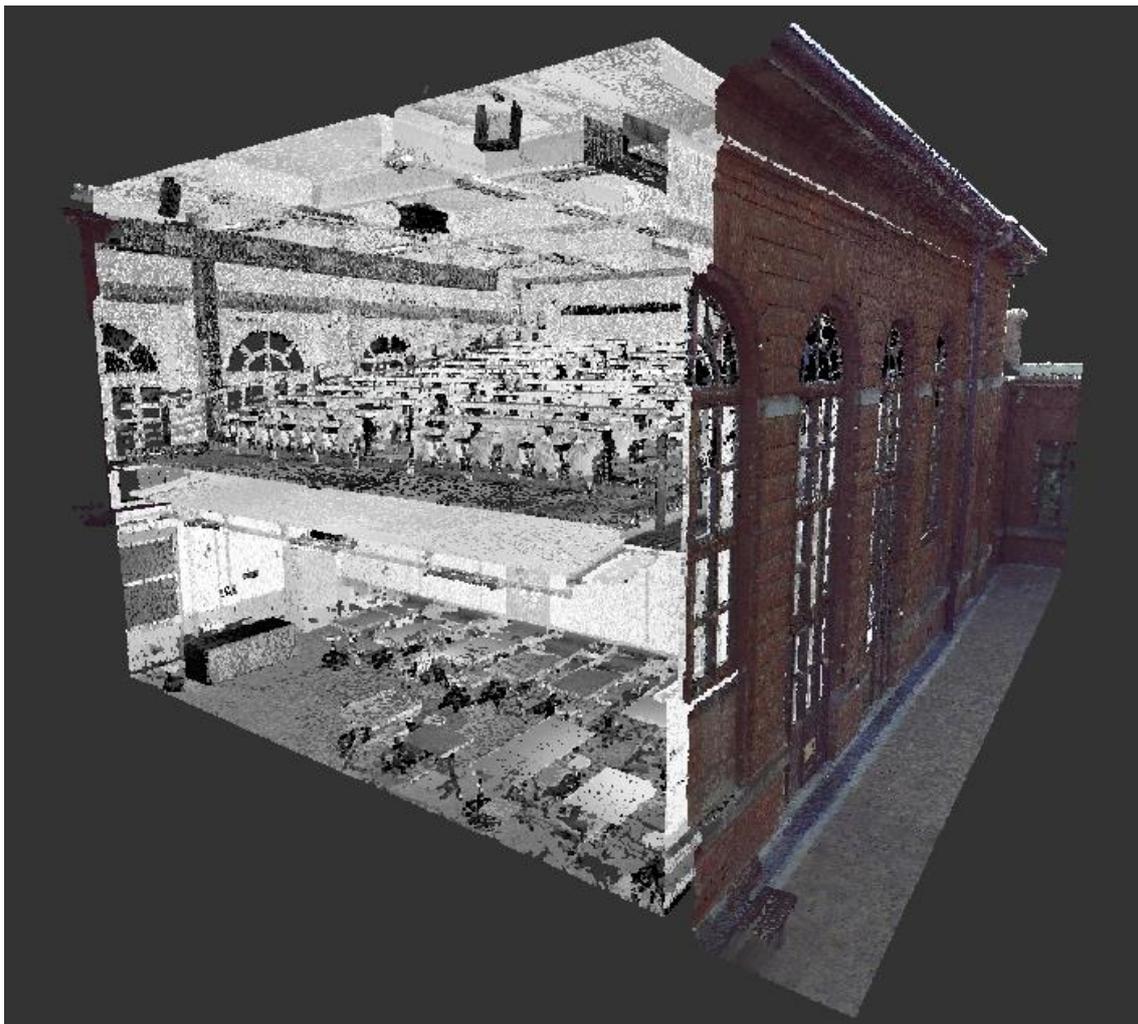


Figura 30 – Il modello altimetrico numerico, Spaccato frontale

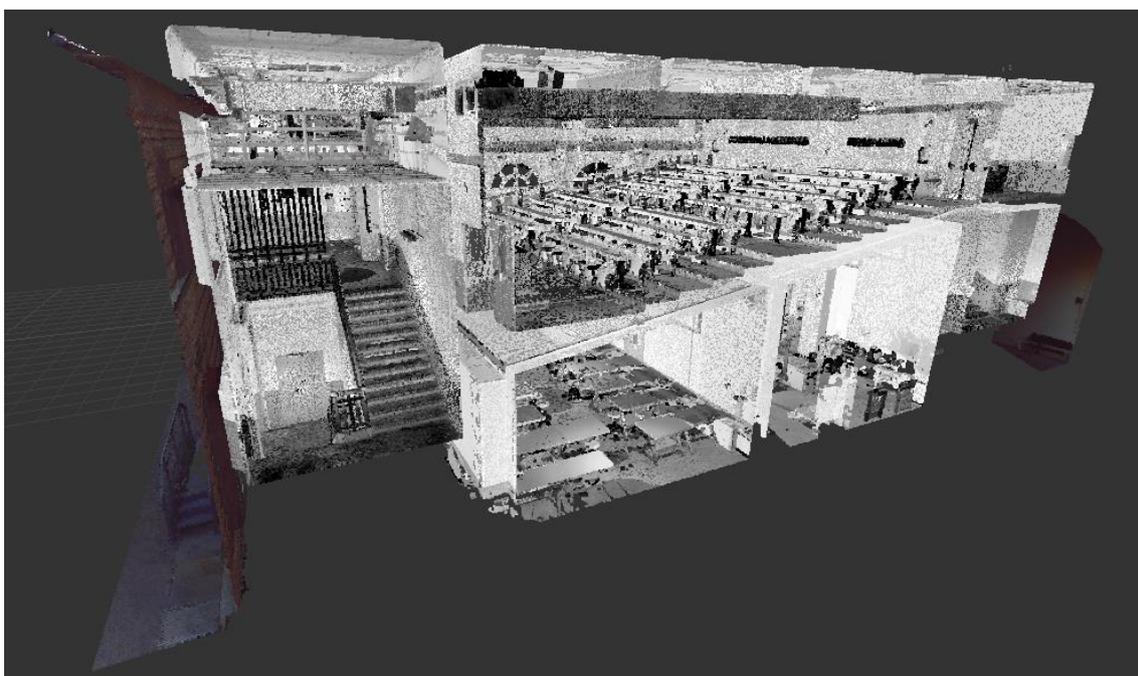


Figura 31 – Il modello altimetrico numerico, Spaccato sagittale

4.2 La modellazione del fabbricato allo stato di fatto

A partire dalla forma del modello altimetrico numerico ottenuto in fase di rilievo, è stato elaborato in modo semi-automatico un modello geometrico e informativo del fabbricato allo stato di fatto per mezzo delle categorie messe a disposizione dell'utente dal software Autodesk Revit. Esso risulta essere un ottimo strumento perché:

- a) fornisce la base di riferimento su cui condurre il progetto definitivo ed esecutivo in fase di intervento, mettendo in evidenza le criticità, ma soprattutto le potenzialità del manufatto;
- b) rappresenta le geometrie del fabbricato allo stato di fatto, consentendo quindi di estrarne le viste, sotto forma di piante, prospetti e sezioni, da allegare agli elaborati cartacei necessari alla divulgazione del progetto;
- c) consente di codificare e di quantificare gli elementi del manufatto, agevolando così la stesura del cronoprogramma dei lavori, la compilazione del compunto metrico estimativo e la pianificazione del *facility management*;
- d) costituisce la banca dati del fabbricato allo stato di fatto, in grado di memorizzare, elaborare e condividere per ciascuna istanza informazioni sia quantitative che qualitative e dunque di natura anche diversa da quella geometrica.

Il BIM Authoring del modello riguardante il fabbricato allo stato di fatto è affidato al BIM Specialist ed è stato eseguito mediante l'impiego del software Autodesk Revit, salvando in formato proprietario *.rvt* ed esportando in formato aperto *.ifc*.

Il controllo dei dati, delle interferenze spaziali e di tutte le informazioni estratte dal modello riguardante il fabbricato allo stato di fatto è affidato al BIM Manager ed è stato eseguito mediante l'impiego del software Autodesk Navisworks.

4.2.1 La modellazione in ambito architettonico e strutturale

Il BIM Authoring in ambito architettonico e strutturale del modello geometrico e informativo riguardante il fabbricato allo stato di fatto è affidato al BIM Specialist ed è stato eseguito mediante l'impiego del software Autodesk Revit, salvando in formato proprietario *.rvt* ed esportando in formato aperto *.ifc*.

Il modello geometrico in ambito architettonico e strutturale del fabbricato allo stato di fatto è stato elaborato in modo semi-automatico, sulla base del modello altimetrico numerico ottenuto in fase di rilievo e per mezzo delle categorie messe a disposizione dell'utente dal software Autodesk Revit.

Il modello geometrico in ambito architettonico e strutturale del suolo pubblico, circostante al fabbricato oggetto di studio e comprendente la pavimentazione esterna, le mura di cinta e quelle di contenimento, è stato elaborato in modo semi-automatico, sulla base del modello altimetrico numerico ottenuto in fase di rilievo e per mezzo delle categorie messe a disposizione dell'utente dal software Autodesk Revit.

Il modello geometrico in ambito concettuale delle masse circostanti al fabbricato oggetto di studio è stato elaborato in modo manuale, sulla base del modello altimetrico numerico ottenuto in fase di rilievo e per mezzo degli strumenti messi a disposizione dell'utente dal software Autodesk Revit all'interno dell'editor della famiglia denominata "masse concettuali".

Tutti gli elementi architettonici e strutturali del modello geometrico riguardante il fabbricato allo stato di fatto sono stati elaborati in modo semi-automatico come famiglie di sistema o in modo manuale come famiglie utente, associando ad esse parametri specifici a seconda della categoria di appartenenza e salvando in formato proprietario *.rfa*. Fanno eccezione tuttavia gli arredi fissi e gli arredi, reperiti da librerie online o da quelle messe a disposizione dell'utente da Autodesk. Questi ultimi elementi sono solo stati arricchiti dei parametri necessari, pur mantenendo inalterata la geometria.

Tutte le famiglie nidificate in ambito architettonico e strutturale sono state condivise con il file modello, in modo da poter essere conteggiate e computate singolarmente e quindi da poter essere incluse successivamente nel programma di manutenzione.

In nessun caso sono state eseguite modellazioni *in-place*, al fine di contenere lo spazio di memoria occupato dal file modello e di non compromettere la gestione per abachi delle istanze architettoniche e strutturali riguardanti il fabbricato allo stato di fatto.

In questa fase di lavoro non è stata gestita la geometria degli elementi architettonici e strutturali ai diversi livelli di dettaglio.

Il modello informativo in ambito architettonico e strutturale del fabbricato allo stato di fatto è stato compilato in modo manuale, a partire dalle conoscenze raccolte nella documentazione architettonica fornita dalla stazione appaltante e sulla base di quelle acquisite in fase in rilievo.

I dati associati agli elementi architettonici e strutturali del modello informativo riguardante il fabbricato allo stato di fatto sono principalmente: il contrassegno tipo, il contrassegno, la fase di creazione, quella di demolizione, la fonte di provenienza e il materiale. I primi sono parametri di tipo "testo", l'ultimo di tipo "materiale". Per tutte le istanze architettoniche e strutturali inserite in questa fase di lavoro è stato associato il valore "Stato di fatto" al parametro *Fase di creazione*.

Con lo scopo di rendere nota l'affidabilità di modellazione degli elementi sopra indicati, è stato aggiunto inoltre un parametro di tipo booleano denominato *ADM*. Se spuntato, esso certifica la conformità dell'istanza modellata all'oggetto che quest'ultima rappresenta. In caso contrario denuncia l'incertezza sulla restituzione tridimensionale proposta, a causa della presenza di inevitabili zone d'ombra nella nuvola di punti utilizzata o più semplicemente per via della mancanza di sufficienti punti di presa nell'operazione di rilievo.

A questo proposito si individuano quattro locali non rilevati tramite l'utilizzo del laser scanner:

- a) il magazzino al piano terra (Numero: LO05)
- b) il deposito al piano terra (Numero: LO06)
- c) il sottoscala al piano terra (Numero: LO09)
- d) il magazzino al piano primo (Numero: LO13)

Non potendo attingere dalle informazioni plano altimetriche del modello numerico, per questi locali si è fatto riferimento alla documentazione architettonica fornita dalla stazione appaltante.

Gli abachi dei materiali e delle quantità riguardanti le istanze architettoniche e strutturali inserite in questa fase di lavoro sono stati estratti in modo semi-automatico dal software Autodesk Revit, impostando in modo opportuno i campi, i filtri, l'ordinamento e il raggruppamento dei dati.

Gli abachi grafici delle porte, delle finestre e delle stratigrafie sono stati generati in modo semi-automatico dal Software Autodesk Revit sotto forma di legenda.

4.2.2 La modellazione in ambito impiantistico

Il BIM Authoring in ambito impiantistico del modello geometrico e informativo riguardante il fabbricato allo stato di fatto è affidato al BIM Specialist ed è stato eseguito mediante l'impiego del software Autodesk Revit, salvando in formato proprietario *.rvt* ed esportando in formato aperto *.ifc*.

Il modello geometrico in ambito impiantistico del fabbricato allo stato di fatto è stato elaborato in modo semi-automatico, sulla base del modello altimetrico numerico ottenuto in fase di rilievo e per mezzo delle categorie messe a disposizione dell'utente dal software Autodesk Revit.

Tutti gli elementi impiantistici del modello geometrico riguardante il fabbricato allo stato di fatto sono stati caricati in modo diretto dalle librerie messe a disposizione dell'utente da Autodesk, senza eseguire alcuna modifica alla struttura, alla forma o alla parametrizzazione delle famiglie.

In nessun caso sono state eseguite modellazioni *in-place*, al fine di contenere lo spazio di memoria occupato dal file modello e di non compromettere la gestione per abachi delle istanze impiantistiche riguardanti il fabbricato allo stato di fatto.

In questa fase di lavoro non è stata gestita la geometria degli elementi impiantistici ai diversi livelli di dettaglio.

Il modello informativo in ambito impiantistico del fabbricato allo stato di fatto non è stato compilato, dovendo sostituire l'impianto meccanico esistente con quello nuovo. Si è fatta eccezione tuttavia per i parametri *Contrasegno tipo* e *Contrasegno*, utili a ordinare e raggruppare le istanze negli abachi e quindi a gestire gli elementi nella fase di smontaggio.

4.2.3 Gli elementi privi di estensione informativa

All'interno del file modello riguardante il fabbricato allo stato di fatto sono stati inseriti in formato diverso da quello proprietario alcuni elementi tridimensionali e dunque a estensione solamente geometrica. Sono un esempio le sedute dell'Aula 1V e gli arredi dell'Aula 2V e del centro stampa in formato aperto *.dxf*. Anche se questi elementi si presentano di per sé privi di estensione informativa, una volta caricati su Revit, è possibile dichiarare per essi i valori da associare ai parametri *Fase di creazione* e *Fase di demolizione*, estendendoli così alla quarta dimensione.

A seguire sono inseriti alcuni *screenshot* relativi all'attività di modellazione appena descritta.

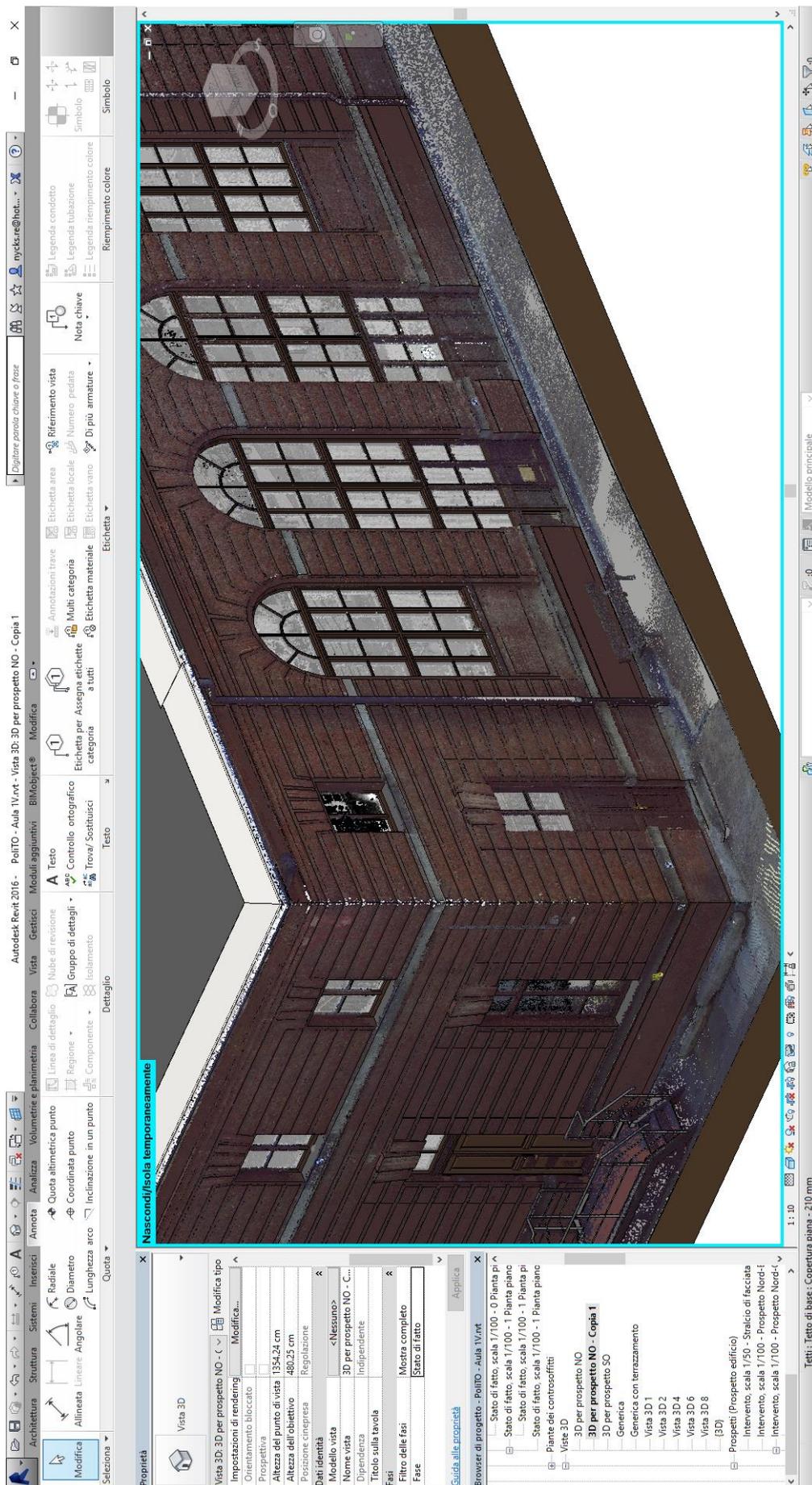


Figura 32 - La restituzione tridimensionale in ambito architettonico sulla base della nuvola di punti (1)

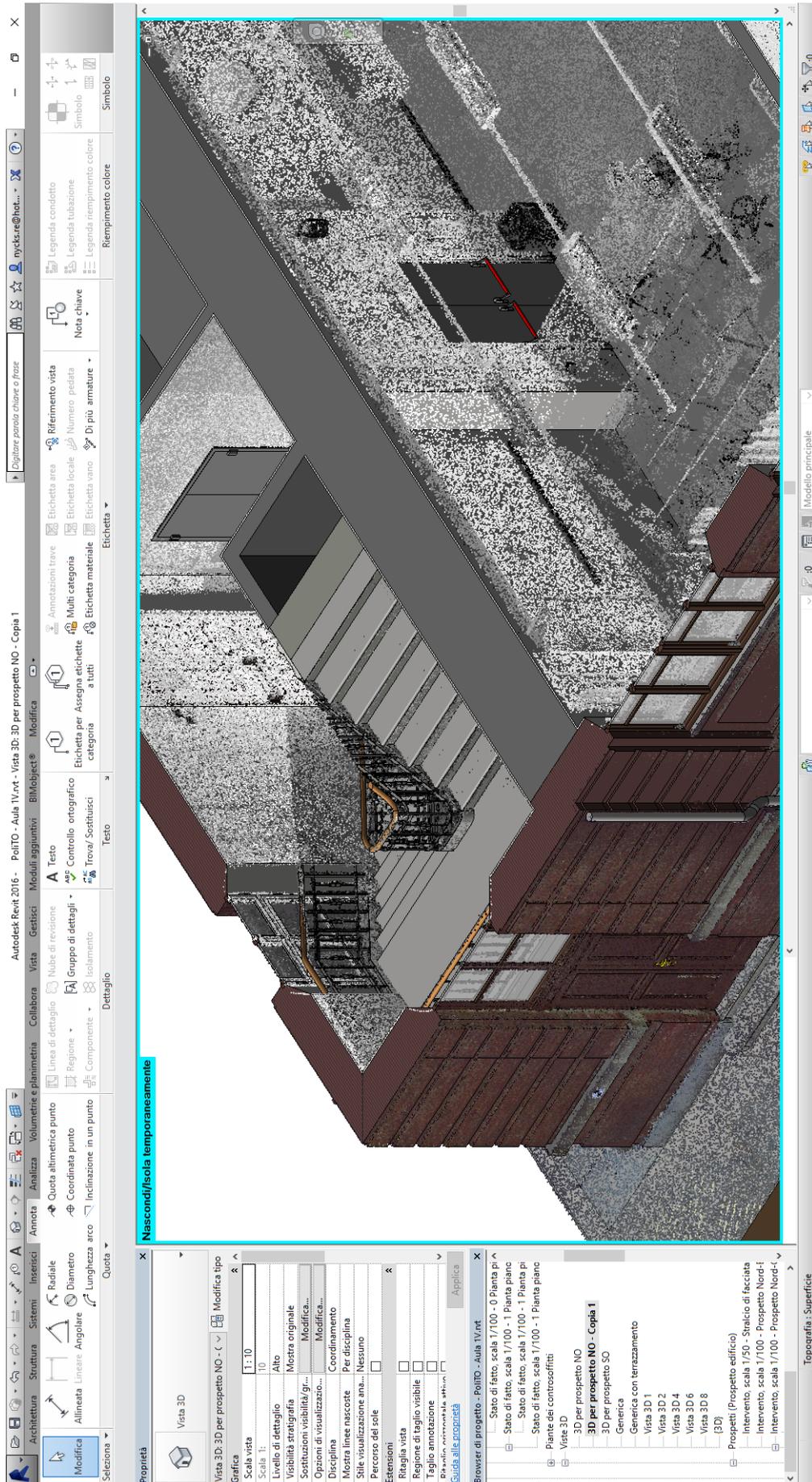


Figura 33 - La restituzione tridimensionale in ambito architettonico sulla base della nuvola di punti (2)

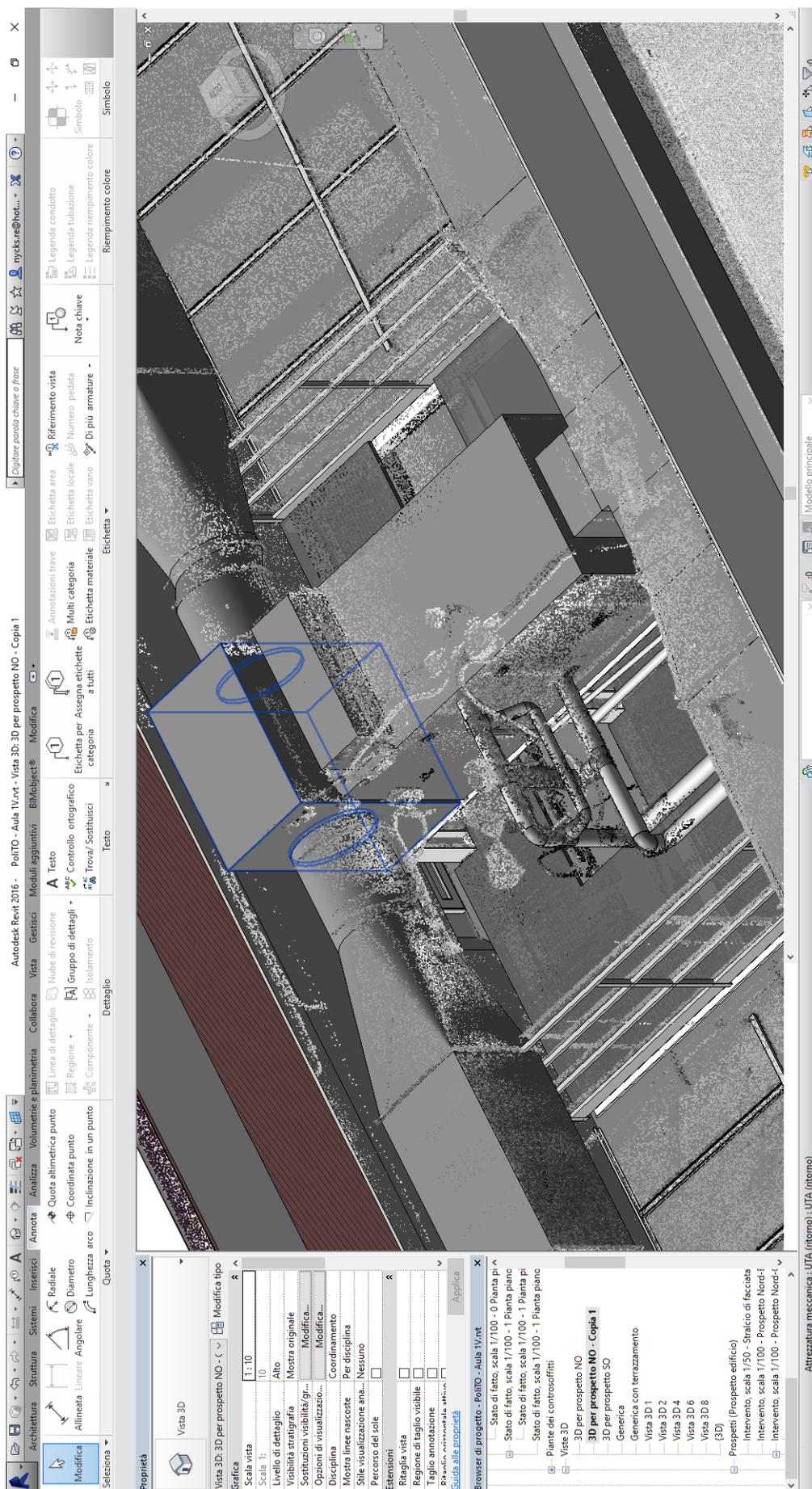


Figura 34 - La restituzione tridimensionale in ambito impiantistico sulla base della nuvola di punti (1)

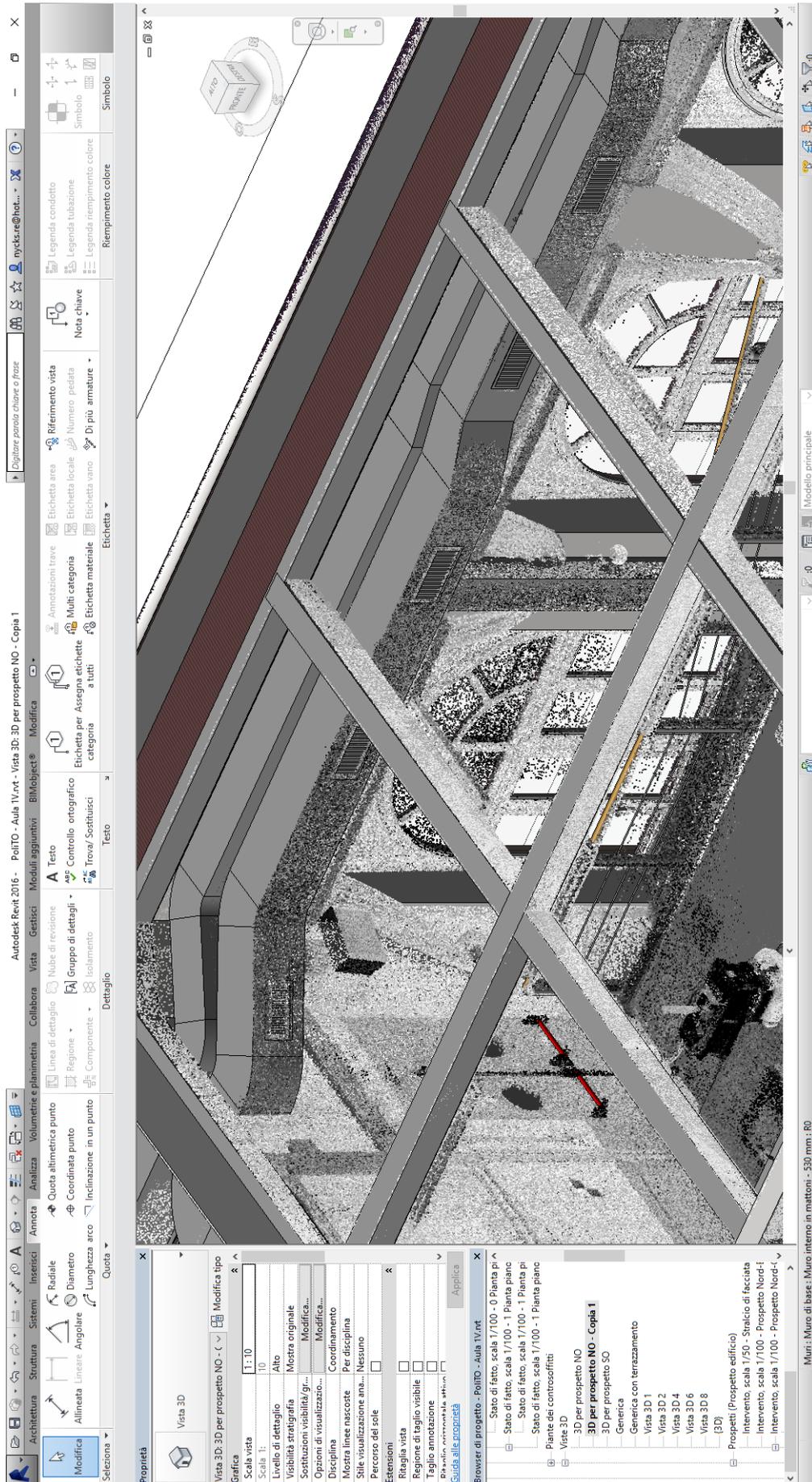


Figura 35 - La restituzione tridimensionale in ambito impiantistico sulla base della nuvola di punti (2)

4.3 La modellazione del fabbricato in fase di intervento

A partire dal modello geometrico e informativo del fabbricato allo stato di fatto, è stato avviato e sviluppato il progetto definitivo, riguardante l'intervento di ristrutturazione e rammodernamento descritto nel secondo capitolo.

Il BIM Authoring del modello riguardante il fabbricato in fase di intervento è affidato al BIM Specialist ed è stato eseguito mediante l'impiego del software Autodesk Revit, salvando in formato proprietario *.rvt* ed esportando in formato aperto *.ifc*.

Il controllo dei dati, delle interferenze spaziali e di tutte le informazioni estratte dal modello informativo riguardante il fabbricato in fase di intervento è affidato al BIM Manager ed è stato eseguito mediante l'impiego del software Autodesk Revit con l'ausilio di Autodesk Navisworks.

4.3.1 La modellazione in ambito architettonico e strutturale

Il BIM Authoring in ambito architettonico e strutturale del modello geometrico e informativo riguardante il fabbricato in fase di intervento è affidato al BIM Specialist ed è stato eseguito mediante l'impiego del software Autodesk Revit, salvando in formato proprietario *.rvt* ed esportando in formato aperto *.ifc*.

Il modello geometrico in ambito architettonico e strutturale del fabbricato in fase di intervento è stato elaborato in modo semi-automatico, sulla base degli elaborati del progetto definitivo sviluppato dal Project Leader e per mezzo delle categorie messe a disposizione dell'utente dal software Autodesk Revit.

Tutti gli elementi architettonici e strutturali del modello geometrico riguardante il fabbricato in fase di intervento sono stati elaborati in modo semi-automatico come famiglie di sistema o in modo manuale come famiglie utente, associando ad esse parametri specifici a seconda della categoria di appartenenza e salvando in formato proprietario *.rfa*. Fanno eccezione tuttavia gli arredi fissi e gli arredi, reperiti da librerie online o da quelle messe a disposizione dell'utente da Autodesk. Questi ultimi elementi sono solo stati arricchiti dei parametri necessari, pur mantenendo inalterata la geometria.

Tutte le famiglie nidificate in ambito architettonico e strutturale sono state condivise con il file modello, in modo da poter essere conteggiate e computate singolarmente e quindi da poter essere incluse successivamente nel programma di manutenzione.

In nessun caso sono state eseguite modellazioni *in-place*, al fine di contenere lo spazio di memoria occupato dal file modello e con lo scopo di non compromettere la gestione per abachi delle istanze architettoniche e strutturali riguardanti il fabbricato in fase di intervento.

In questa fase di lavoro non è stata gestita la geometria degli elementi architettonici e strutturali ai diversi livelli di dettaglio.

Il modello informativo in ambito architettonico e strutturale del fabbricato in fase di intervento è stato compilato in modo manuale, a partire dalle informazioni contenute nella documentazione architettonica e nella relazione tecnica strutturale del progetto definitivo e sulla base dei dati specificati nelle schede tecniche dei prodotti.

I dati associati agli elementi architettonici e strutturali del modello informativo riguardante il fabbricato in fase di intervento sono principalmente: il contrassegno tipo, il contrassegno, la fase di creazione, quella di demolizione, la fonte di provenienza, il produttore, il costo e il materiale. I primi sono parametri di tipo “testo”, il penultimo di tipo “valuta” e infine l’ultimo di tipo “materiale”. Per tutte le istanze architettoniche e strutturali demolite in questa fase di lavoro è stato associato il valore “Stato di fatto” al parametro *Fase di demolizione*. Per tutte quelle inserite è stato associato invece il valore “Intervento di ristrutturazione” al parametro *Fase di creazione*.

Gli abachi dei materiali e delle quantità riguardanti le istanze architettoniche e strutturali inserite in questa fase di lavoro sono stati estratti in modo semi-automatico dal software Autodesk Revit, impostando in modo opportuno i campi, i filtri, l’ordinamento e il raggruppamento dei dati.

Gli abachi grafici delle porte, delle finestre e delle stratigrafie sono stati generati in modo semi-automatico dal Software Autodesk Revit sotto forma di legenda.

4.3.2 La modellazione in ambito impiantistico

Il BIM Authoring in ambito impiantistico del modello geometrico e informativo riguardante il fabbricato in fase di intervento è affidato al BIM Specialist ed è stato eseguito mediante l’impiego del software Autodesk Revit, salvando in formato proprietario .rvt ed esportando in formato aperto .ifc.

Il modello geometrico in ambito impiantistico del fabbricato in fase di intervento è stato elaborato in modo semi-automatico, sulla base degli elaborati del progetto definitivo sviluppato dal Project Leader e per mezzo delle categorie messe a disposizione dell'utente dal software Autodesk Revit.

La maggior parte degli elementi impiantistici del modello geometrico riguardante il fabbricato in fase di intervento è stata caricata in modo diretto dalle librerie messe a disposizione dell'utente da Autodesk, senza eseguire alcuna modifica alla struttura, alla forma o alla parametrizzazione delle famiglie. Gli apparecchi illuminanti, le attrezzature elettriche e quelle speciali sono stati elaborati invece in modo manuale come famiglie utente, associando ad esse parametri specifici a seconda della categoria di appartenenza e salvando in formato proprietario *.rfa*.

Tutte le famiglie nidificate in ambito impiantistico sono state condivise con il file modello, in modo da poter essere conteggiate e computate singolarmente e quindi da poter essere incluse successivamente nel programma di manutenzione.

In nessun caso sono state eseguite modellazioni *in-place*, al fine di contenere lo spazio di memoria occupato dal file modello e con lo scopo di non compromettere la gestione per abachi delle istanze impiantistiche riguardanti il fabbricato in fase di intervento.

In questa fase di lavoro non è stata gestita la geometria degli stessi elementi impiantistici ai diversi livelli di dettaglio.

Il modello informativo in ambito impiantistico del fabbricato in fase di intervento è stato compilato in modo manuale, a partire dalle informazioni contenute nella relazione tecnica degli impianti elettrici e meccanici del progetto definitivo e sulla base dei dati specificati nelle schede tecniche dei componenti.

I dati associati agli elementi impiantistici del modello informativo riguardante il fabbricato in fase di intervento sono principalmente: il contrassegno tipo, il contrassegno, la fase di creazione, il sistema impiantistico e il quadro di appartenenza, la fonte di provenienza, il produttore, il costo e il materiale. I primi sono parametri di tipo "testo", il penultimo di tipo "valuta" e infine l'ultimo di tipo "materiale". Per tutte le istanze impiantistiche demolite in questa fase di lavoro è stato associato il valore "Stato di fatto" al parametro *Fase di demolizione*. Per tutte quelle inserite è stato associato invece il valore "Intervento di ristrutturazione" al parametro *Fase di creazione*.

Gli abachi dei materiali e delle quantità riguardanti le istanze impiantistiche inserite in questa fase di lavoro sono stati estratti in modo semi-automatico dal software Autodesk Revit, impostando in modo opportuno i campi, i filtri, l'ordinamento e il raggruppamento dei dati.

4.3.3 L'esportazione dei dati in formato aperto

Il modello del fabbricato in fase di intervento è stato utilizzato come base di esportazione dei dati geometrici e informativi necessari alla redazione degli elaborati cartacei del progetto definitivo. Questi ultimi sono il cronoprogramma dei lavori, il computo metrico estimativo e il piano di manutenzione.

Nel caso del cronoprogramma dei lavori e in quello del computo metrico estimativo i dati sono stati esportati in modo semi-automatico, per mezzo degli strumenti messi a disposizione dell'utente dal software Autodesk Revit e salvando in formato aperto *.ifc*. Nel caso del programma di manutenzione invece i dati sono stati esportati per mezzo dei nodi logici forniti da Dynamo, quale modulo aggiuntivo del software Autodesk Revit, in grado di estendere la capacità di gestione delle forme e dei dati del modello geometrico e informativo.

A seguire è spiegata in dettaglio l'esportazione dei dati a estensione informativa e dunque la gestione della quarta, della quinta e della sesta dimensione del progetto.

4D) Il cronoprogramma dei lavori è stato elaborato in modo semi-automatico, sulla base del computo metrico estimativo compilato tramite il software Acca Primus-IFC e per mezzo del software Acca Primus-K. I dati trasferiti da Acca Primus-IFC ad Acca Primus-K sono in formato proprietario *.dcf*.

5D) Il computo metrico estimativo è stato compilato in modo semi automatico, sulla base delle quantità e dei valori associati ai parametri e per mezzo del software Acca Primus-IFC. I dati trasferiti da Autodesk Revit ad Acca Primus-IFC sono in formato aperto *.ifc*.

E' stato scelto il software Acca Primus-IFC perché:

- a) consente di associare in modo diretto le voci del prezzario di riferimento agli elementi del modello informativo;
- b) permette di eseguire l'analisi prezzo per quelle voci che non sono direttamente misurabili all'interno del modello informativo;

c) garantisce interoperabilità monodirezionale da Autodesk Revit attraverso il formato aperto *.ifc*.

I dati associati agli elementi architettonici e strutturali e quelli associati agli elementi impiantistici sono stati estratti in formato aperto "IFC 2X3 Coordination View 2.0" e quindi conteggiati e computati separatamente. I due computi sono stati esportati successivamente in formato proprietario *.dcf* e inseriti all'interno di un file master, consegnato infine alla stazione appaltante in formato aperto *.pdf*.

Le voci generate da analisi prezzo sono segnate con il prefisso "*" .

Gli abachi dei materiali e delle quantità sono stati esportati in modo automatico in formato aperto *.txt* ed editati in seguito tramite il software Microsoft Excel, salvando in formato proprietario *.xlsx*.

6D) Il programma di manutenzione è stato pianificato in modo semi-automatico, sulla base dei dati inseriti nel modello informativo e di quelli specificati nelle schede tecniche dei prodotti e dei componenti e per mezzo dei nodi logici forniti da Dynamo, salvando da Microsoft Excel in formato proprietario *.xlsx* ed esportando in formato aperto *.pdf*. Tale argomento è trattato in modo più approfondito nel sesto capitolo della presente tesi.

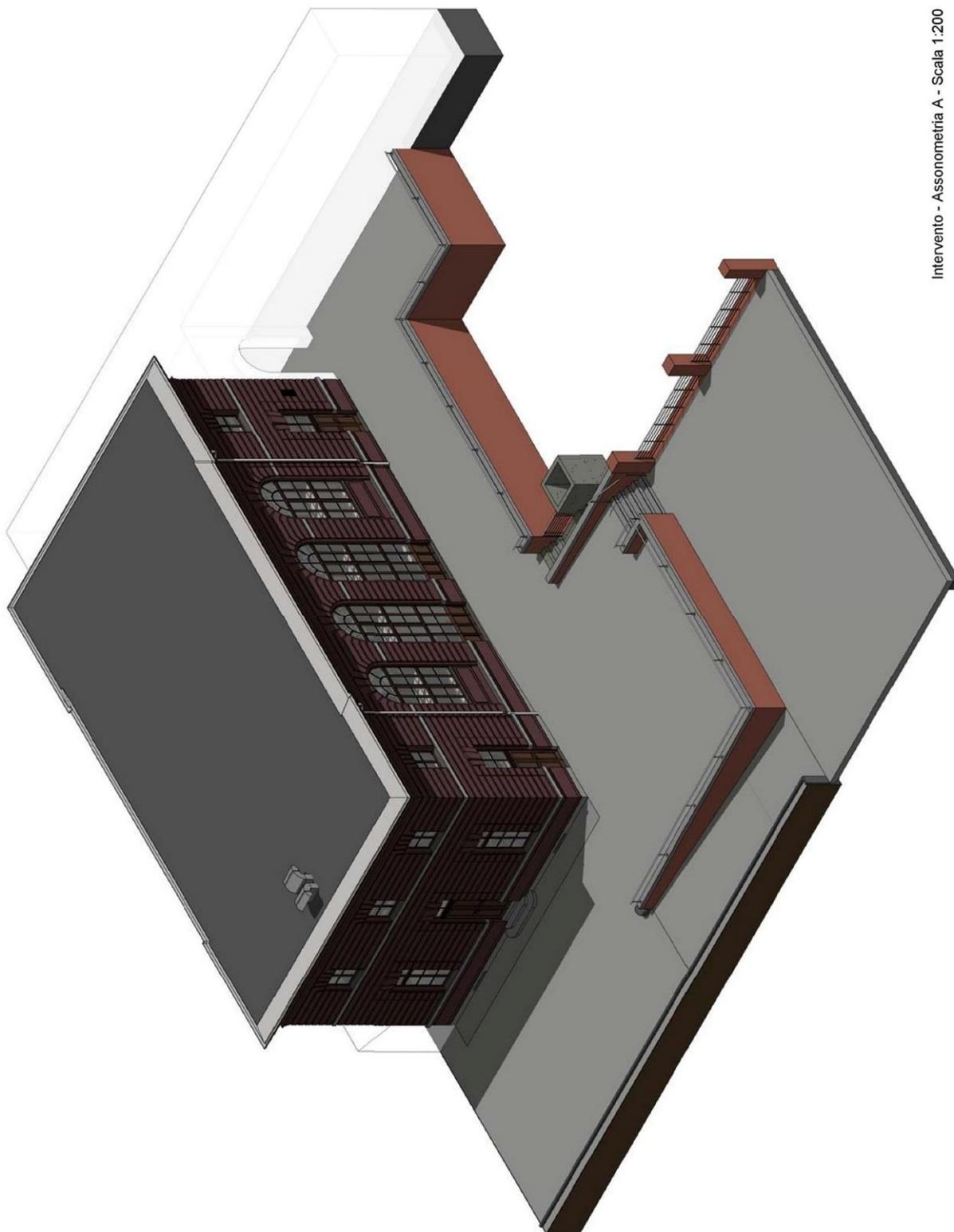
Le viste sotto forma di piante, prospetti, sezioni del fabbricato oggetto di studio sono state codificate in modo univoco come indicato dalla stazione appaltante e quindi inserite all'interno delle tavole di progetto, esportate infine in formato aperto *.pdf*.

4.3.4 Gli elementi privi di estensione informativa

All'interno del file modello riguardante il fabbricato in fase di intervento sono stati inseriti in formato diverso da quello proprietario alcuni elementi tridimensionali e dunque a estensione solamente geometrica. Sono un esempio le nuove sedute dell'Aula 1V in formato aperto *.dxf*.

All'interno dello stesso file modello sono state inserite inoltre le tavole in formato *.dwg* relative al progetto definitivo dell'impianto meccanico ed elettrico.

A seguire sono inseriti alcuni screenshot relativi all'attività di modellazione appena descritta.



Intervento - Assonometria A - Scala 1:200

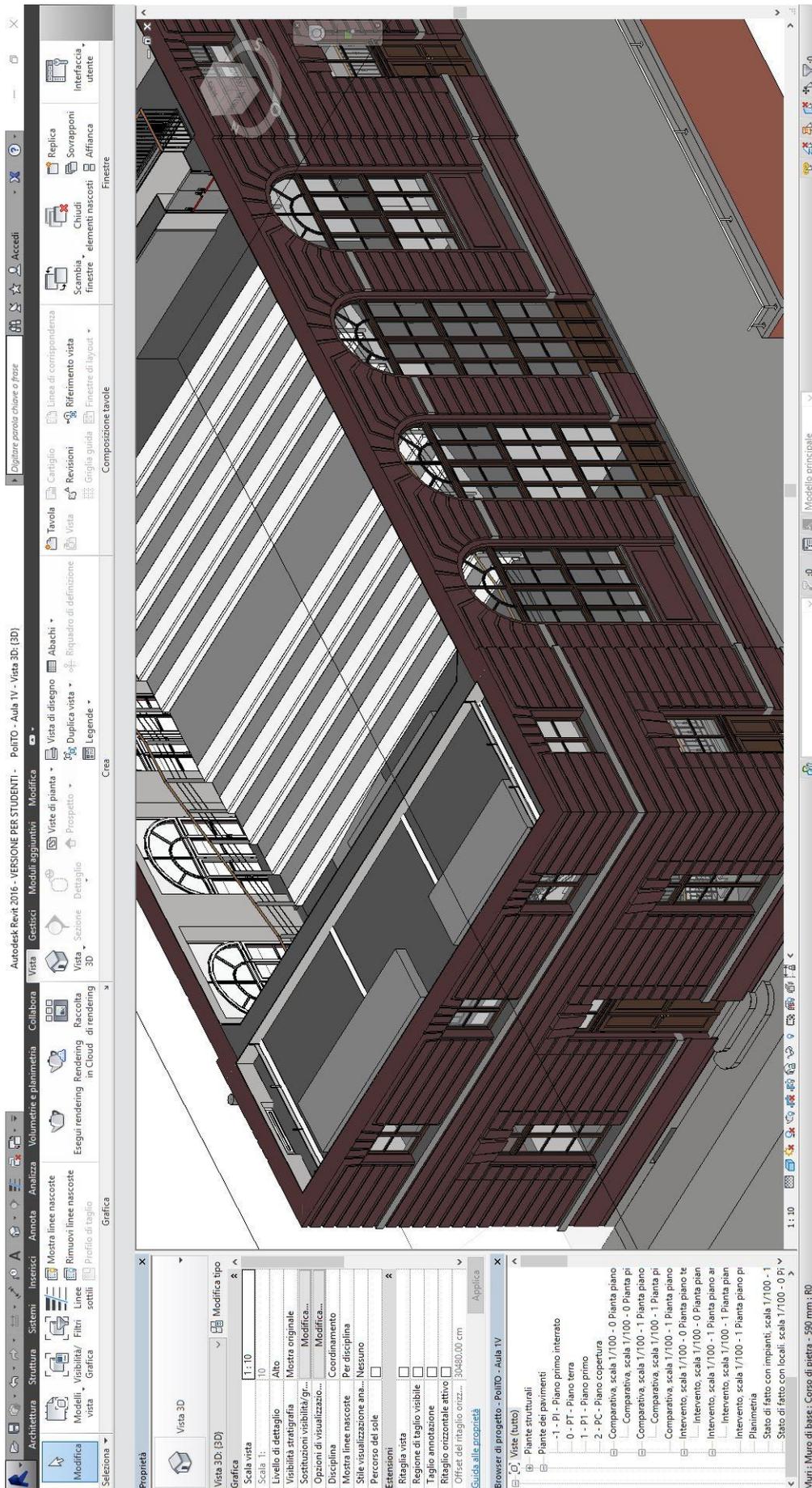


Figura 37 - La modellazione del fabbricato in fase di intervento (1)

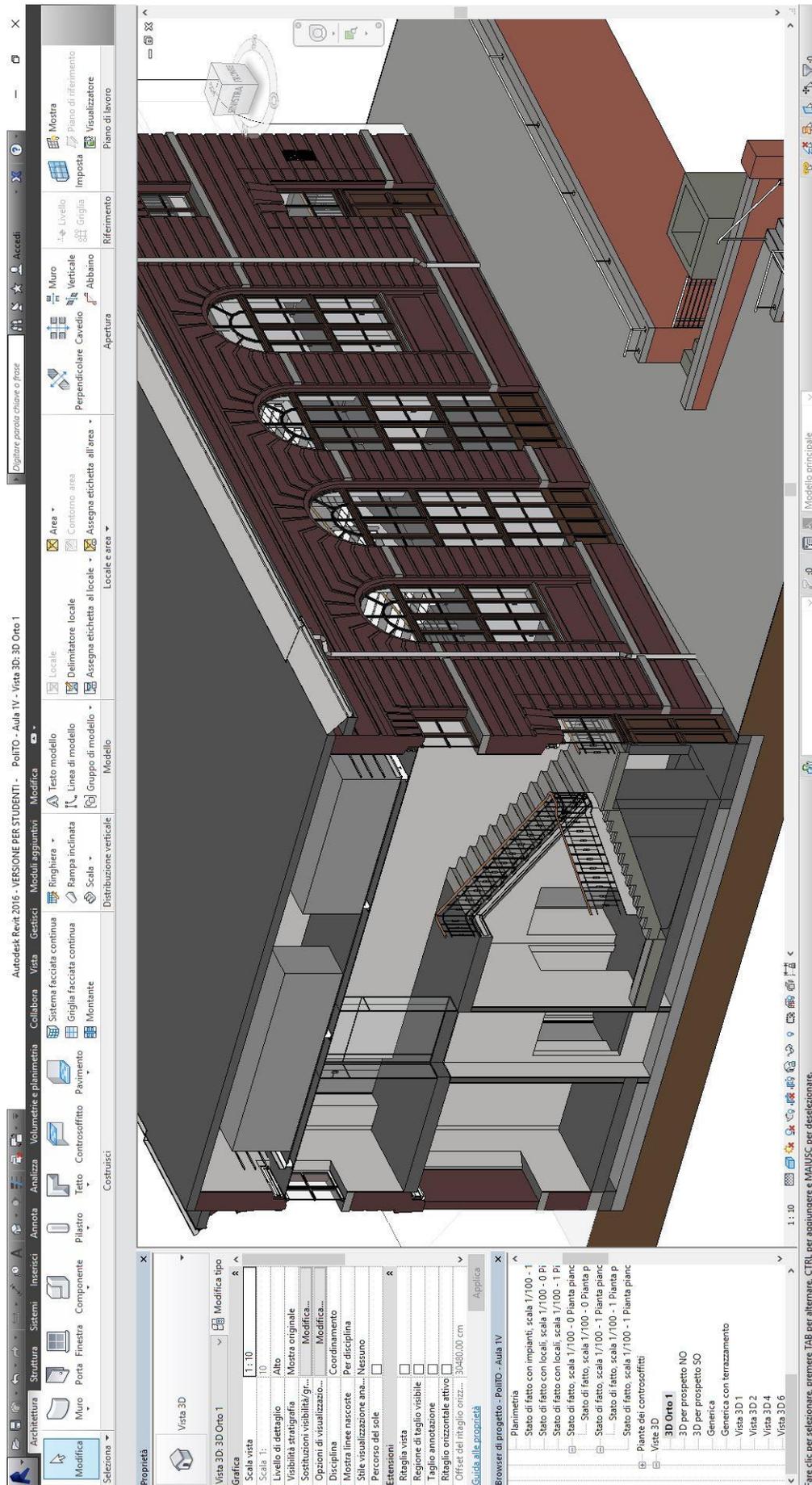


Figura 38 - La modellazione del fabbricato in fase di intervento (2)

4.4 La verifica e il coordinamento dei modelli geometrici e informativi

La verifica e il coordinamento dei modelli geometrici e informativi descritti in precedenza sono stati condotti in modo automatico per mezzo degli strumenti messi a disposizione dell'utente da Autodesk Revit. Questi sono:

- a) il comando *Controllo interferenze*, presente nel toolbox *Coordina* della barra degli strumenti alla voce *Collabora*;
- b) i comandi *Copia/Controlla* e *Verifica coordinamento*, presenti nel toolbox *Coordina* della barra degli strumenti alla voce *Collabora*.

4.4.1 La verifica delle interferenze geometriche

La verifica delle interferenze geometriche o *clash detection* è stata condotta in modo automatico per mezzo del comando di cui al pt.(a), con lo scopo di mettere in evidenza un'eventuale compenetrazione delle istanze architettoniche e strutturali con quelle impiantistiche, ma soprattutto al fine di garantire l'indipendenza volumetrica fra le istanze del modello architettonico e strutturale in entrambe le fasi di lavoro.

In aggiunta a una *clash detection* generica e comprendente quindi tutte le categorie dei modelli geometrici e informativi descritti in precedenza, sono state condotte anche le seguenti verifiche:

- a) Le categorie dei *Muri*, dei *Pavimenti* e dei *Tetti* del modello architettonico e strutturale riguardante il fabbricato allo stato di fatto con tutte quelle del modello impiantistico relative alla medesima fase di lavoro;
- b) Le categorie dei *Muri*, dei *Pavimenti* e dei *Tetti* del modello architettonico e strutturale riguardante il fabbricato in fase di intervento con tutte quelle del modello impiantistico relative alla medesima fase di lavoro;
- c) Le categorie dei *Muri*, dei *Pavimenti* e dei *Tetti* del modello architettonico e strutturale con le stesse del medesimo modello in entrambe le fasi di lavoro;

Le interferenze geometriche messe in evidenza dal software sono state poi corrette manualmente *in loco*, unendo, tagliando o modellando nuovamente la forma delle istanze origine del problema.

Sono state ignorate le interferenze geometriche derivanti dalle categorie delle Scale, delle Rampe e delle *Ringhiere*, non potendo utilizzare per questi elementi il comando *Unisci geometria*, presente nel toolbox *Geometria* della barra degli strumenti alla voce *Modifica*.

A seguito di ogni verifica è stato esportato in formato aperto *.html* il file report delle interferenze geometriche messe in evidenza dal software.

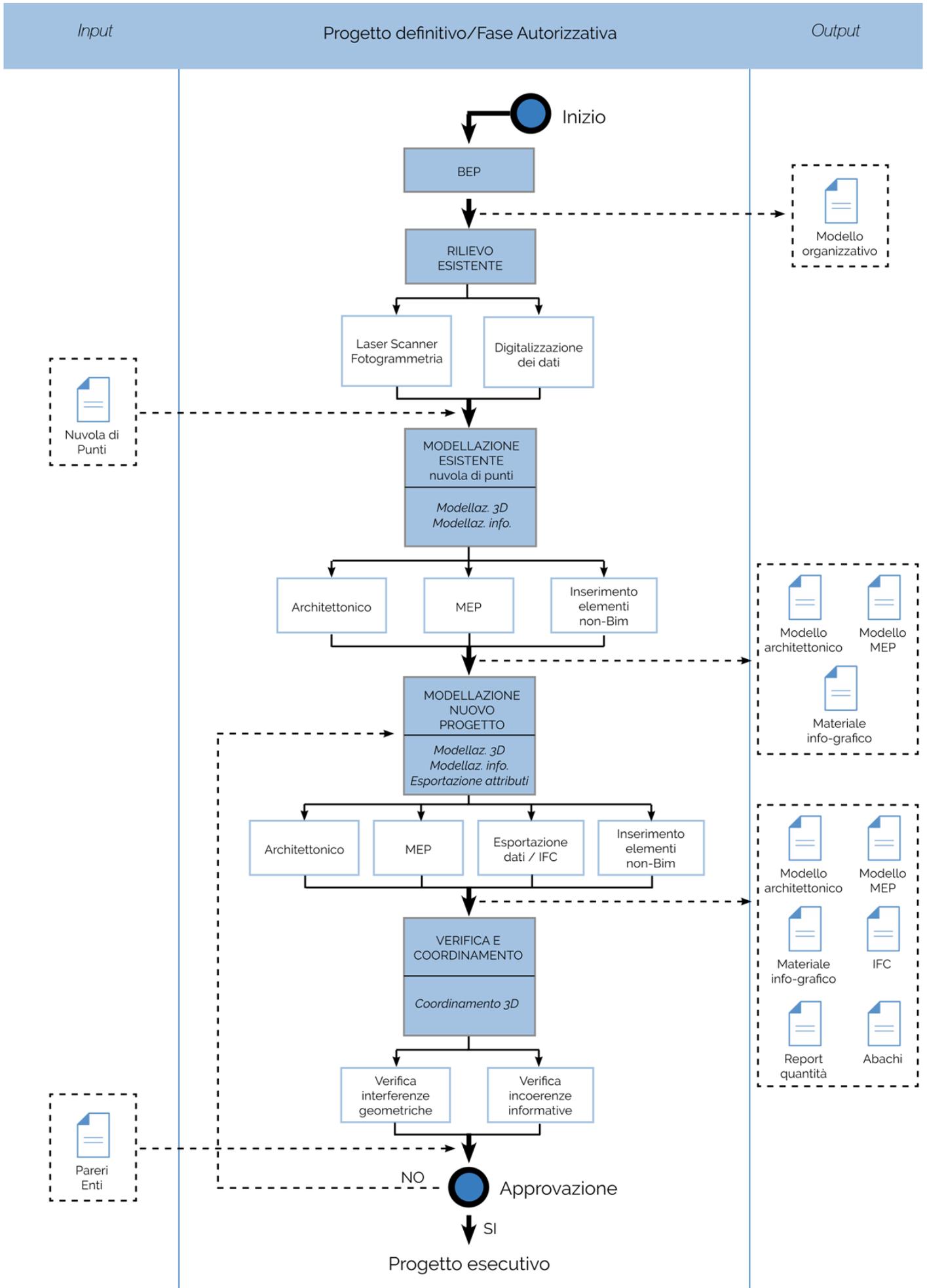
4.4.2 La verifica delle incoerenze informative

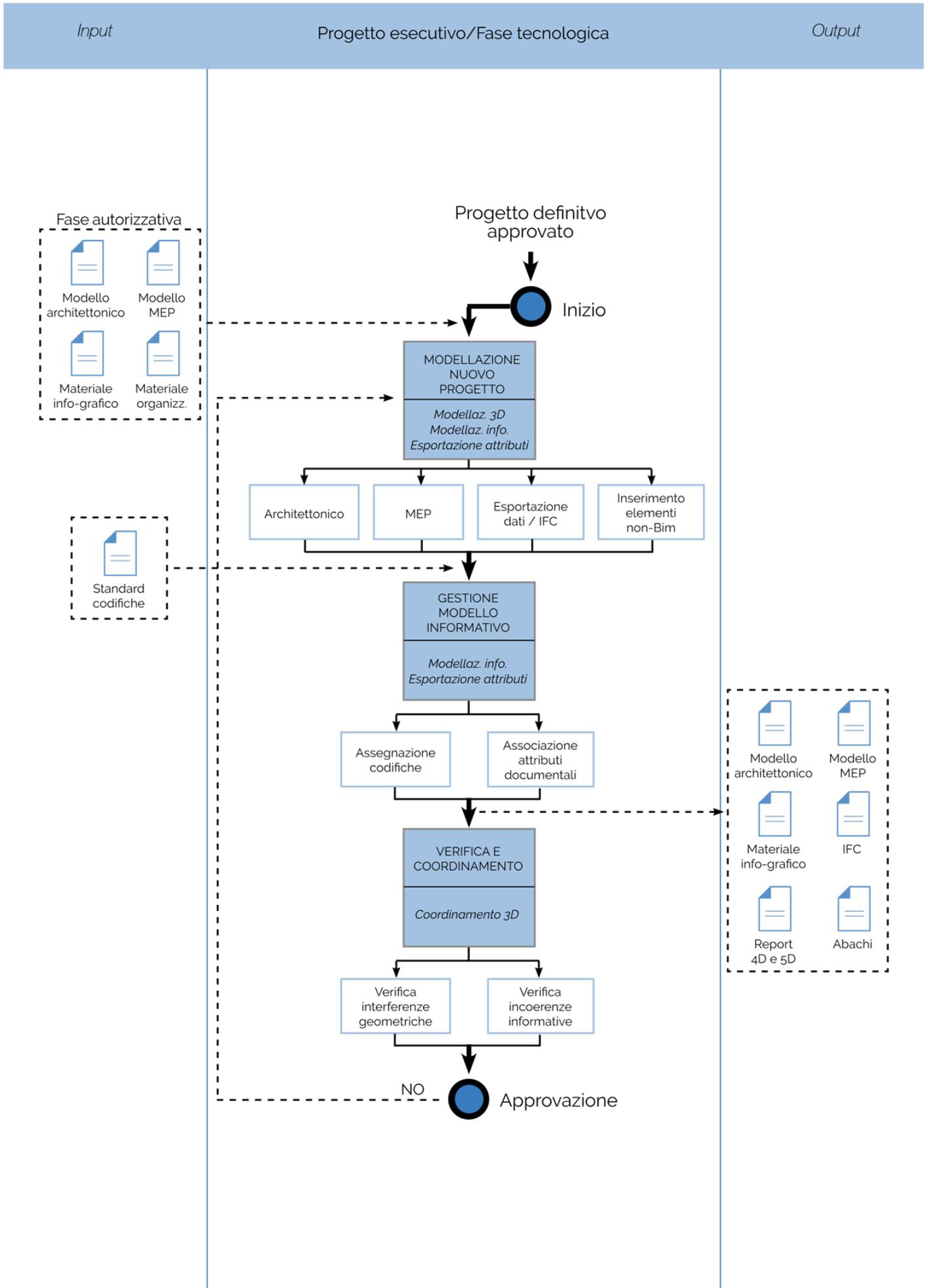
La verifica delle incoerenze informative o *code checking* è stata condotta in modo diretto per mezzo di controlli a campione e dunque senza l'ausilio di comandi, moduli aggiuntivi o software specifici.

Tali controlli sono stati eseguiti settimanalmente dal BIM Manager in presenza del Project Leader, sulla base degli abachi delle categorie inserite nel modello e per mezzo dei comandi di filtraggio e di ordinamento/raggruppamento messi a disposizione dell'utente da Autodesk Revit. Infatti:

a) Il filtraggio degli elementi di un abaco in base al valore assunto da uno specifico parametro consente di mettere in evidenza tutte le occorrenze a cui lo stesso valore è (o non è) attribuito. Filtrando ad esempio la categoria dei muri per il valore "MU17" con riferimento al parametro *Contrassegno tipo*, è possibile visualizzare solo quelle istanze per cui il contrassegno del tipo è "MU17". In questo modo risulta alquanto semplice verificare la presenza di eventuali errori o ripetizioni all'interno del modello informativo.

b) L'ordinamento o il raggruppamento degli elementi di un abaco in base al valore assunto da uno specifico parametro permette di agevolare il confronto fra i dati associati agli attributi nelle diverse occorrenze e ne consente il conteggio. Raggruppando ad esempio la categoria delle finestre secondo il parametro *Famiglia*, è possibile visualizzare in colonna tutti i valori assunti per le istanze di una stessa famiglia dai diversi parametri ad esse associati. In questo modo risulta alquanto semplice verificare la presenza di eventuali errori o incoerenze all'interno del modello informativo.





4.5 La gestione e il controllo dei modelli geometrici e informativi

Nelle pagine precedenti sono state allegare le mappe concettuali che sintetizzano il processo di modellazione, a partire dalla redazione del BIM Execution Plan (BEP), in risposta al Employer Information Requirements (EIR), fino alla consegna degli elaborati digitali e cartacei relativi al progetto definitivo e a quello esecutivo.

4.5.1 L'assegnazione delle codifiche

A ogni elemento inserito nel modello geometrico e informativo nell'una o nell'altra fase di lavoro è stato assegnato un codice univoco.

La codifica delle istanze architettoniche, strutturali e impiantistiche del modello geometrico e informativo riguardante il fabbricato oggetto di studio è stata composta nel modo seguente:

XXNN^T.NN^I, in cui

- a) XX rappresenta le prime due lettere, trascritte in maiuscolo, della categoria a cui l'istanza appartiene;
- b) NN^T è la numerazione progressiva del tipo di famiglia a cui l'istanza appartiene;
- c) NN^I è la numerazione progressiva della singola istanza all'interno di uno stesso tipo di famiglia.

Ad esempio, il codice "MU17.03" identifica la terza istanza del diciassettesimo tipo di muro tra quelli costituenti il fabbricato oggetto di studio.

Con lo scopo di distinguere negli abachi delle quantità gli elementi propri del fabbricato da quelli appartenenti al suo contesto, si è scelto di comporre per questi ultimi una codifica leggermente diversa.

La codifica delle istanze architettoniche, strutturali e impiantistiche del modello geometrico e informativo riguardante il contesto del fabbricato oggetto di studio è stata composta infatti nel modo seguente:

XxNN^T.NN^I, in cui

- a) Xx rappresenta le prime due lettere, trascritte rispettivamente in maiuscolo e in minuscolo, della categoria a cui l'istanza appartiene;

b) NN^T è la numerazione progressiva del tipo di famiglia a cui l'istanza appartiene;

c) NN^l è la numerazione progressiva della singola istanza all'interno di uno stesso tipo di famiglia.

Ad esempio, il codice "Mu03.01" identifica la prima istanza del terzo tipo di muro tra quelli costituenti il contesto del fabbricato oggetto di studio.

Per ogni famiglia utente del modello riguardante il fabbricato in fase di intervento è stato dichiarato inoltre il valore da assegnare ai parametri *Numero OmniClass* e *Titolo OmniClass*.

La codifica di tutti gli elaborati digitali e cartacei relativi al progetto definitivo è stata composta sulla base dei *template* forniti dalla stazione appaltante. Agli stessi elaborati è stata associata inoltre una seconda codifica sulla base dei *template* dell'impresa esecutrice e dunque in modo da consentirne l'archiviazione all'interno del server dello studio di progettazione.

4.5.2 L'associazione degli attributi contestuali e di quelli ipertestuali

La tabella allegata nella pagina seguente riassume i principali parametri contestuali associati agli elementi del modello geometrico e informativo a seconda della categoria di appartenenza.

Nella stessa tabella è indicato inoltre il livello di sviluppo o LOD (*Level of development*) a cui sono stati elaborati gli elementi dei modelli informativi descritti in precedenza. La lettera indicata fa riferimento alla normativa UNI 11337:2017.

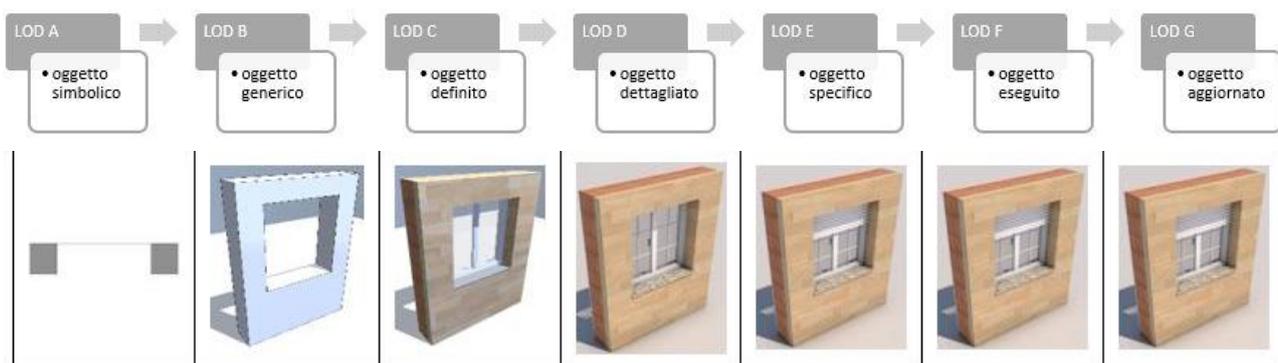


Figura 41 - I livelli di sviluppo secondo la UNI 11337:2017

Con lo scopo di agevolare l'attività di manutenzione del fabbricato oggetto di studio è stata associata a ogni istanza del modello geometrico e informativo una scheda tecnica digitale in formato aperto *.pdf* sotto forma di collegamento ipertestuale.

CATEGORIA / LOD	LIVELLO	OFFSET LIVELLO	LUNGHEZZA	LARGHEZZA	ALTEZZA	DIAMETRO	SPESSORE	AREA	VOLUME	PERIMETRO	INCLINAZIONE	INTERNO/ESTERNO	MATERIALE	TRASMITTANZA TERMICA	RESISTENZA AL FUOCO	CODICE	SCHEDA TECNICA	PRODUTTORE	MODELLO	FONTI DI PROVENIENZA	ADM	FASE DI CREAZIONE	FASE DI DEMOLIZIONE	CODICE MANUTENZIONE	DDI	
Ambito architettonico e strutturale	Arredi	E	X	X	X							X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	Arredi fissi	E	X	X	X							X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	Controsoffitti	E	X	X	X		X					X	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	Fasce / Grondaie	D	X	X	X							X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	Finestre	E	X	X	X			X			X	X	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	Fondazioni strutturali	B	X	X	X		X		X		X	X	X			X		X	X	X	X	X	X	X	X	
	Locali	E	X	X		X		X		X		X	X			X		X	X	X	X	X	X	X	X	
	Muri	D	X	X	X		X		X		X		X		X		X		X	X	X	X	X	X	X	
	Pavimenti	E	X	X		X		X		X		X	X		X		X		X	X	X	X	X	X	X	X
	Porte	E	X	X	X	X		X				X	X		X		X		X	X	X	X	X	X	X	X
	Rampe inclinate	D	X	X	X		X			X		X	X		X		X		X	X	X	X	X	X	X	X
	Ringhiere	D	X	X	X		X					X	X			X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Scale	D	X	X	X		X					X	X			X		X		X	X	X	X	X	X	X
	Telaio strutturale	D	X	X	X		X			X		X	X		X		X		X	X	X	X	X	X	X	X
	Tetti	D	X	X	X		X		X		X		X		X		X		X	X	X	X	X	X	X	X
	Ambito impiantistico																									
	Apparecchi elettrici	E	X	X	X								X	X			X		X	X	X	X	X	X	X	X
	Apparecchi idraulici	E	X	X	X								X	X			X		X	X	X	X	X	X	X	X
	Apparecchi per illuminazione	E	X	X	X								X	X			X		X	X	X	X	X	X	X	X
	Attrezzatura elettrica	E	X	X	X								X	X			X		X	X	X	X	X	X	X	X
Attrezzatura meccanica	E	X	X	X								X	X			X		X	X	X	X	X	X	X	X	
Attrezzature speciali	E	X	X	X								X	X			X		X	X	X	X	X	X	X	X	
Bocchettoni	E	X	X	X	X							X	X			X		X	X	X	X	X	X	X	X	
Condotti / Raccordi condotto	E	X	X	X	X		X					X	X			X		X	X	X	X	X	X	X	X	
Tubazione / Raccordi tubazione	E	X	X	X		X						X	X			X		X	X	X	X	X	X	X	X	
Vani	E	X	X		X			X		X		X	X			X		X	X	X	X	X	X	X	X	

Tabella 4 - I parametri associati agli elementi del modello

4.6 La condivisione del lavoro

Essendo composto il gruppo di modellazione da un unico BIM Specialist, si è scelto di non attivare la condivisione del lavoro sul software Autodesk Revit per mezzo del comando *Workset*, presente nel toolbox *Gestione collaborazione* della barra degli strumenti alla voce *Collabora*.

La condivisione del lavoro con il BIM Manager e il Project Leader è stata condotta invece mediante il *cloud* della piattaforma Dropbox, avendo cura di posizionare il percorso di cartella nello spazio C: del computer.

La tabella seguente elenca i formati di condivisione ed esportazione dei dati tra i vari software utilizzati.

File	Formato proprietario	Formato aperto	Note
Nuvola di punti (Modello DDSM)	.rcp / .rcs	.png / .jpg	-
Modello geometrico e informativo	.rvt	.ifc / .dxf	IFC 2X3 Coordination View 2.0
Rappresentazioni al CAD	.dwg	.dxf	-
Verifica e coordinamento	.rvt	.html	-
Computo	.dcf / .difc	.ifc / .txt	IFC 2X3 Coordination View 2.0
Elaborati grafici	-	.pdf	-
Documenti di testo	.doc / .indd	.txt / .pdf	-

Tabella 5 - I formati di condivisione ed esportazione

Il modello geometrico e informativo in ambito architettonico e strutturale riguardante il fabbricato allo stato di fatto e in fase di intervento costituisce il file Master a cui sono stati collegati per mezzo del comando *Collega Revit*, presente nel toolbox *Collega* della barra degli strumenti alla voce *Inserisci*:

- a) la nuvola di punti riguardante il fabbricato e il suo contesto allo stato di fatto, in formato proprietario *.rcp*;
- b) il modello geometrico e informativo in ambito architettonico e strutturale riguardante il contesto allo stato di fatto e in fase di intervento, in formato proprietario *.rvt*;
- c) il modello geometrico e informativo in ambito impiantistico riguardante il fabbricato allo stato di fatto e in fase di intervento, in formato proprietario *.rvt*;
- d) le tavole al CAD relative al progetto definitivo dell'impianto meccanico ed elettrico, in formato proprietario *.dwg*.

4.7 Hardware e Software: le informazioni tecniche

A seguire sono allegare le tabelle riassuntive contenenti le informazioni tecniche relative agli hardware e ai software utilizzati durante il processo di modellazione.

Obiettivo	Hardware	Specifiche tecniche	Utente
Visualizzazione e gestione della nuvola di punti	Asus Pro Series D320MT-I56400104C	8GB, Core i5, Intel, AMD Radeon RX 460, DDR4 SDRAM - (Win10)	BIM Specialist
Modellazione geometrica e informativa, Verifica e coordinamento	Asus Pro Series D320MT-I56400104C	8GB, Core i5, Intel, AMD Radeon RX 460, DDR4 SDRAM - (Win10)	BIM Specialist
Stesura del cronoprogramma dei lavori	Asus Pro Series D320MT-I77700002R	16GB, Core i7, Intel, NVIDIA GTX 1050 2GB, DDR3 SDRAM - (Win10)	Project Leader
Compilazione del computo metrico estimativo	Asus Pro Series D320MT-I77700002R	16GB, Core i7, Intel, NVIDIA GTX 1050 2GB, DDR3 SDRAM - (Win10)	Project Leader
Pianificazione del facility management	Asus Pro Series D320MT-I56400104C	8GB, Core i5, Intel, AMD Radeon RX 460, DDR4 SDRAM - (Win10)	BIM Specialist

Tabella 6 - Gli Hardware utilizzati

Obiettivo	Software	Versione	Licenza
Visualizzazione e gestione della nuvola di punti	<i>Autodesk Recap</i> ®	2016	Prova gratuita per 30 giorni
Modellazione geometrica e informativa, Verifica e coordinamento	<i>Autodesk Revit</i> ®	2016	Licenza annuale
Stesura del cronoprogramma dei lavori	<i>Acca Primus-K</i> ®	Versione 6	Licenza annuale
Compilazione del computo metrico estimativo	<i>Acca Primus-IFC</i> ®	Versione 4	Licenza annuale
Pianificazione del facility management	<i>Dynamo</i> ®	Versione 1.2.1	Gratuito come <i>plug-in</i> di <i>Autodesk Revit</i> ®

Tabella 7 - I Software utilizzati

5. LA NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Con il termine manutenzione si intende quella attività finalizzata all'adeguamento e al miglioramento di un sistema nei confronti delle esigenze espresse dall'utenza, ricorrendo dove necessario alla sua riprogettazione o alla sua sostituzione. La normativa di riferimento nel campo della manutenzione è vasta e complessa.

Le indicazioni relative all'attività di manutenzione in ambito edilizio sono prescritte dalla norma UNI 15331:2011, intitolata "*Criteri di progettazione, gestione e controllo dei servizi di manutenzione degli immobili*" e pubblicata a ottobre dello stesso anno a sostituzione della precedente UNI CEN/TS 15331:2006 e dunque della UNI 10604:1997. Essa recepisce ufficialmente a livello nazionale la norma europea EN15331:2011.

La definizione dei termini generici riguardanti l'attività di manutenzione è espressa dalla norma UNI 13306:2010, intitolata "*Manutenzione – Terminologia di Manutenzione*" e pubblicata a marzo dello stesso anno a sostituzione della precedente UNI EN 13306:2003. Essa recepisce ufficialmente a livello nazionale la norma europea EN 13306:2010.

La definizione delle differenti tipologie di manutenzione è espressa invece dalla norma UNI 10147:2013, intitolata "*Termini aggiuntivi alla UNI EN 13306 e definizioni*" e pubblicata a ottobre dello stesso anno a sostituzione della precedente UNI 10147:2003. Essa costituisce l'integrazione della norma UNI 13306:2010 appena citata.

5.1 La norma UNI 15331:2011

La norma UNI 15331:2011 fornisce i criteri e i metodi generali da utilizzare nella pianificazione, nella gestione e nel controllo della manutenzione degli immobili e delle relative pertinenze, trattando in particolare modo i seguenti argomenti:

- a) la definizione delle informazioni necessarie allo svolgimento dell'attività manutentiva;
- b) la gestione delle informazioni necessarie allo svolgimento dell'attività manutentiva;
- c) la definizione delle strategie di manutenzione;
- d) la pianificazione dell'attività manutentiva;

5.2 La norma UNI 13306:2010

La norma UNI 13306:2010 specifica e definisce i termini generici per le aree tecniche, amministrative e gestionali della manutenzione.

La norma UNI 10147:2013 integra la norma citata in precedenza, distinguendo e definendo cinque tipi di manutenzione:

- a) La manutenzione preventiva, quale strategia di manutenzione ordinaria, con lo scopo di sostituire, riparare o comunque revisionare il sistema prima che si manifesti il guasto e quindi al fine di contrastarne l'usura. In questo caso l'intervento è ciclico e dunque non subordinato alla presenza di malfunzionamenti.
- b) La manutenzione migliorativa o proattiva, quale strategia di manutenzione straordinaria, con lo scopo di ottimizzare o comunque potenziare la prestazione di un sistema o di una parte di esso. In questo caso l'intervento non è subordinato alla presenza di malfunzionamenti, ma dipende dalle esigenze di miglioramento espresse da parte dell'utente e/o del manutentore.
- c) La manutenzione incidentale o correttiva, quale strategia di manutenzione straordinaria, con lo scopo di sostituire, riparare o comunque revisionare il sistema a guasto avvenuto. In questo caso l'intervento è subordinato alla presenza di malfunzionamenti.
- d) La manutenzione autonoma o auto-manutenzione, quale strategia di manutenzione ordinaria e straordinaria, operata dallo stesso utente con lo scopo di sostituire, riparare o comunque revisionare in autonomia il sistema soggetto a usura. In questo caso l'intervento può essere o non essere subordinato alla presenza di malfunzionamenti.
- e) La manutenzione secondo condizione, quale strategia di manutenzione straordinaria, con lo scopo di sostituire, riparare o comunque revisionare il sistema sulla base del suo stato di usura. In questo caso l'intervento non è subordinato necessariamente alla presenza di malfunzionamenti, ma dipende dall'analisi dei valori di una o più grandezze fisiche e/o chimiche in relazione a quelli di soglia, oltre ai quali (o al di sotto dei quali) il componente ha un'elevata probabilità di guastarsi.

6. L'APPROCCIO ALLA PIATTAFORMA DYNAMO

Al fine di agevolare l'attività di manutenzione riguardante il fabbricato oggetto di studio e quindi di fornire al manutentore tutte le informazioni necessarie al suddetto intervento, si è scelto di utilizzare, a favore della pianificazione del *facility management*, la piattaforma Dynamo, quale modulo aggiuntivo del software di modellazione digitale Autodesk Revit, in grado di estendere la capacità di gestione delle forme e dei dati del modello geometrico e informativo e quindi di produrre, a tempo opportuno e in quasi totale autonomia, gli elaborati di progetto richiesti.

Il programma di manutenzione è stato pianificato infatti in modo semi-automatico, sulla base dei dati inseriti nel modello informativo e di quelli specificati nelle schede tecniche dei prodotti e dei componenti e per mezzo dei nodi logici forniti da Dynamo, salvando da Microsoft Excel in formato proprietario *.xlsx* ed esportando in formato aperto *.pdf*.

6.1 Le operazioni di *pre-processing*

Al fine di consentire il corretto funzionamento dell'algoritmo l'utente deve necessariamente:

- a) associare alle categorie MEP soggette a manutenzione il parametro condiviso e di tipo denominato *Codice manutenzione*. Il valore ad esso assegnato costituisce il puntatore al foglio di calcolo del *file* Excel chiamato "Scheda di manutenzione";
- b) associare alle categorie MEP soggette a manutenzione il parametro condiviso e di istanza denominato *DDI* (Data di installazione). Il valore ad esso assegnato indica la data in cui è stato installato il componente impiantistico.
- c) assegnare i valori al parametro di cui al pt.(a) a tutti i tipi di famiglia appartenenti alle categorie MEP soggette a manutenzione;
- d) assegnare i valori al parametro di cui al pt.(b) a tutte le istanze appartenenti alle categorie MEP soggette a manutenzione;
- e) assegnare i valori ai parametri *Contrassegno tipo* a tutti i tipi di famiglia appartenenti alle categorie MEP soggette a manutenzione;

- f) assegnare i valori ai parametri *Contrassegno* a tutte le istanze appartenenti alle categorie MEP soggette a manutenzione;
- g) inserire i locali e i vani all'interno del modello geometrico e informativo;
- h) compilare le schede di manutenzione digitali;
- i) indicare l'anno di partenza;
- j) indicare il percorso di cartella in cui è inserito il *file* Excel contenente le schede di manutenzione digitali sotto forma di fogli di calcolo.

L'utilizzo della scheda di manutenzione digitale elude le operazioni di associazione dei parametri alle categorie MEP del modello geometrico e informativo e agevola quelle di compilazione dei dati derivanti dalle schede cartacee dei prodotti e dei componenti.

6.3 La struttura dei nodi logici

A seguire è allegata l'immagine in formato raster dell'algoritmo definito in precedenza.

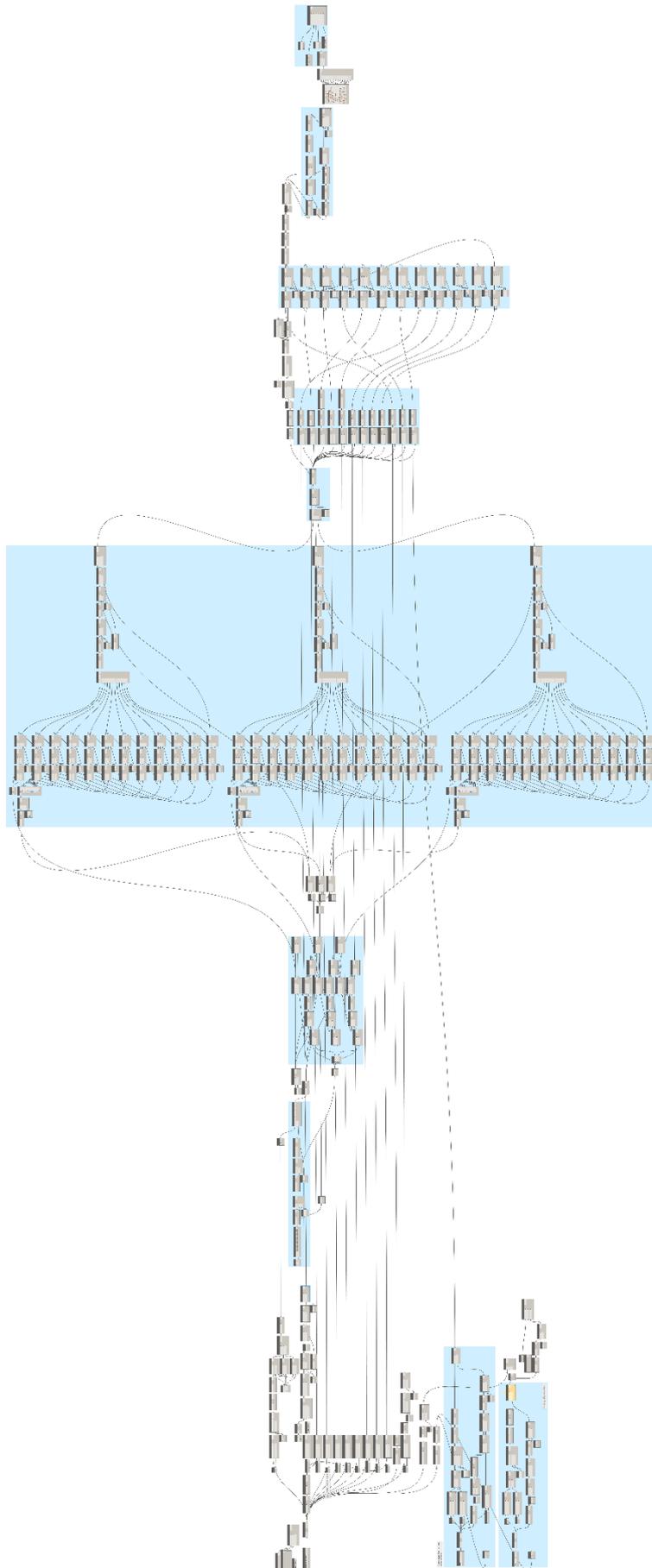


Figura 42 - La struttura dell'algorithm

6.4 I dati in output

Con riferimento al prodotto o al componente oggetto di manutenzione vengono fornite al manutentore le seguenti informazioni:

- a) *Data di manutenzione*, quale attributo temporale compilato automaticamente dalla piattaforma Dynamo sulla base dei dati in input presentati al sotto-capitolo 6.2. Il valore ad esso assegnato indica la data prevista per l'intervento di manutenzione ordinaria;
- b) *ID elemento*, quale attributo identificatore compilato automaticamente e univocamente dal software Autodesk Revit per ciascun elemento del modello geometrico e informativo. Può essere rintracciato per mezzo del comando *ID di selezione*, presente nel toolbox *Interroga* della barra degli strumenti alla voce *Gestisci*;
- c) *Codice*, quale attributo identificatore compilato manualmente e univocamente dall'utente per ciascun elemento del modello geometrico e informativo. Come indicato nel sotto-capitolo 4.5.1, è composto dal parametro incorporato e di tipo denominato *Contrassegno tipo* e da quello incorporato e di istanza denominato *Contrassegno* nella forma XXNN^T.NN^I;
- d) *Famiglia*, quale attributo identificatore compilato automaticamente e univocamente dal software Autodesk Revit, nel caso di famiglie di sistema, o manualmente e automaticamente dall'utente, nel caso di famiglie utente, per ciascuna famiglia del modello geometrico e informativo. Il valore ad esso assegnato indica la famiglia di appartenenza;
- e) *Tipo*, quale attributo identificatore compilato manualmente e univocamente dall'utente per ciascun tipo di famiglia del modello geometrico e informativo. Il valore ad esso assegnato indica il tipo-di-famiglia di appartenenza;
- f) *Livello abaco*, quale parametro incorporato e di istanza, compilato automaticamente dal software Autodesk Revit per ciascun elemento del modello geometrico e informativo. Il valore ad esso assegnato indica il piano del fabbricato o più generalmente il livello di quota a cui è installato il componente impiantistico;
- g) *Numero (del locale)*, quale parametro incorporato e di istanza, compilato manualmente e univocamente dall'utente per ciascun locale del modello geometrico e informativo. Il valore ad esso assegnato indica il codice del locale in cui è installato il componente impiantistico;

- h) *Nome* (del locale), quale parametro incorporato e di istanza, compilato manualmente dall'utente per ciascun locale del modello geometrico e informativo. Il valore ad esso assegnato indica il nome del locale in cui è installato il componente impiantistico e dunque la sua destinazione d'uso;
- i) *Numero* (del vano), quale parametro incorporato e di istanza, compilato manualmente e univocamente dall'utente per ciascun vano del modello geometrico e informativo. Il valore ad esso assegnato indica il codice del vano servito dal componente impiantistico;
- j) *Nome* (del vano), quale parametro incorporato e di istanza, compilato manualmente e univocamente dall'utente per ciascun vano del modello geometrico e informativo. Il valore ad esso assegnato indica il nome del vano servito dal componente impiantistico;
- k) *Quadro*, quale parametro incorporato e di istanza, compilato manualmente dall'utente per ciascun elemento MEP del modello geometrico e informativo. Il valore ad esso assegnato indica il quadro elettrico di controllo a servizio del componente impiantistico;
- l) *Numero di circuito*, quale parametro incorporato e di istanza, compilato manualmente dall'utente per ciascun elemento MEP del modello geometrico e informativo. Il valore ad esso assegnato indica il codice del circuito a cui è collegato il componente impiantistico;
- m) *Dati elettrici*, quale parametro incorporato e di istanza, compilato automaticamente dal software Autodesk Revit per ciascun elemento MEP del modello geometrico e informativo. Il valore ad esso assegnato componente impiantistico ed è composto dai parametri incorporati e di tipo denominati *Voltaggio reattanza (A)*, *Numero di poli di reattanza (B)* e *Carico apparente (C)* nella forma A/B-C;
- n) *Produttore*, quale parametro incorporato e di tipo, compilato manualmente dall'utente per ciascun tipo di famiglia del modello geometrico e informativo;
- o) *Codice manutenzione*, quale parametro condiviso e di tipo, compilato manualmente e univocamente dall'utente per ciascun tipo di famiglia del modello geometrico e informativo. Il valore ad esso assegnato indica il codice di riferimento alla scheda di manutenzione del prodotto o del componente.

A questi si aggiungono tutti gli attributi definiti nella scheda di manutenzione digitale e compilati manualmente dall'utente sulla base di quella cartacea.

A seguire è allegato uno stralcio del foglio di calcolo all'interno del quale è stato compilato automaticamente il programma di manutenzione.

Data	ID elemento	Codice	Nome tipo	Livello	Locale	Codice locale
03/03/2017	202205	AI02-01.01	300x1200 - 120V	Livello 1	Aula 2	1
	202413	AI02-01.02	300x1200 - 120V	Livello 1	Aula 2	1
23/03/2017	202205	AI02-01.01	300x1200 - 120V	Livello 1	Aula 2	1
	202413	AI02-01.02	300x1200 - 120V	Livello 1	Aula 2	1
12/04/2017	202205	AI02-01.01	300x1200 - 120V	Livello 1	Aula 2	1
	202413	AI02-01.02	300x1200 - 120V	Livello 1	Aula 2	1
15/04/2017	200444	AI01-02.01	2400mm - 120V	Livello 1	Aula 2	1
	200575	AI01-02.02	2400mm - 120V	Livello 1	Aula 2	1
	200741	AI01-01.01	1200mm - 120V	Livello 1	Aula 2	1
	200887	AI01-01.02	1200mm - 120V	Livello 1	Aula 2	1
	200949	AI01-01.03	1200mm - 120V	Livello 1	Aula 2	1
	213804	AI01-02.05	2400mm - 120V	Livello 1	Aula 1	2
	213806	AI01-02.06	2400mm - 120V	Livello 1	Aula 1	2
	213852	AI01-01.07	1200mm - 120V	Livello 1	Aula 1	2
	213853	AI01-01.08	1200mm - 120V	Livello 1	Aula 1	2
	214248	AI01-01.09	1200mm - 120V	Livello 1	Aula 3	3
	214249	AI01-01.10	1200mm - 120V	Livello 1	Aula 3	3
	214283	AI01-01.11	1200mm - 120V	Livello 1	Aula 2	1
	214284	AI01-01.12	1200mm - 120V	Livello 1	Aula 2	1
	214285	AI01-01.13	1200mm - 120V	Livello 1	Aula 2	1
	214607	AI01-01.14	1200mm - 120V	Livello 1	Locale tecnico	5
	214608	AI01-01.15	1200mm - 120V	Livello 1	Locale tecnico	5
	215090	AI01-01.16	1200mm - 120V	Livello 1	Aula 17	6
	215091	AI01-01.17	1200mm - 120V	Livello 1	Aula 17	6
	215126	AI01-01.18	1200mm - 120V	Livello 1	Aula 17	6
	215127	AI01-01.19	1200mm - 120V	Livello 1	Aula 17	6
	02/05/2017	202205	AI02-01.01	300x1200 - 120V	Livello 1	Aula 2
202413		AI02-01.02	300x1200 - 120V	Livello 1	Aula 2	1
22/05/2017	202205	AI02-01.01	300x1200 - 120V	Livello 1	Aula 2	1
	202413	AI02-01.02	300x1200 - 120V	Livello 1	Aula 2	1
04/06/2017	215090	AI01-01.16	1200mm - 120V	Livello 1	Aula 17	6
	215091	AI01-01.17	1200mm - 120V	Livello 1	Aula 17	6
	215126	AI01-01.18	1200mm - 120V	Livello 1	Aula 17	6
	215127	AI01-01.19	1200mm - 120V	Livello 1	Aula 17	6
11/06/2017	202205	AI02-01.01	300x1200 - 120V	Livello 1	Aula 2	1
	202413	AI02-01.02	300x1200 - 120V	Livello 1	Aula 2	1
14/06/2017	200444	AI01-02.01	2400mm - 120V	Livello 1	Aula 2	1
	200575	AI01-02.02	2400mm - 120V	Livello 1	Aula 2	1
	200741	AI01-01.01	1200mm - 120V	Livello 1	Aula 2	1
	200887	AI01-01.02	1200mm - 120V	Livello 1	Aula 2	1
	200949	AI01-01.03	1200mm - 120V	Livello 1	Aula 2	1
	213804	AI01-02.05	2400mm - 120V	Livello 1	Aula 1	2
	213806	AI01-02.06	2400mm - 120V	Livello 1	Aula 1	2
	213852	AI01-01.07	1200mm - 120V	Livello 1	Aula 1	2
	213853	AI01-01.08	1200mm - 120V	Livello 1	Aula 1	2
	214248	AI01-01.09	1200mm - 120V	Livello 1	Aula 3	3
	214249	AI01-01.10	1200mm - 120V	Livello 1	Aula 3	3
	214283	AI01-01.11	1200mm - 120V	Livello 1	Aula 2	1
214284	AI01-01.12	1200mm - 120V	Livello 1	Aula 2	1	

Tabella 8 - Il programma di manutenzione preventiva

6.5 I vantaggi e gli svantaggi dell'algoritmo

Al fine di verificarne il corretto funzionamento, ma soprattutto di valutarne la versatilità nei confronti di casi studio differenti, l'algoritmo descritto in precedenza è stato testato su altri quattro modelli geometrici e informativi. Questi ultimi sono stati elaborati dallo stesso candidato durante il percorso di studi e sono:

- a) Il "Fiume urbano" di Settimo Torinese (TO), preparato per il corso di "Progettazione integrale" del Professor Carlo Caldera nell'anno accademico 2014-2015.
- b) La residenza di Corso Mediterraneo 118 (TO), preparato per il corso di "Progettazione urbana" del Professor Enrico Desideri nell'anno accademico 2015-2016;
- c) La nuova scuola secondaria di primo grado per il Comune di Casatenovo (LC), preparato per il corso di "Gestione del progetto e del processo edilizio" del Professor Roberto Vancetti nell'anno accademico 2015-2016.
- d) La scuola secondaria di primo grado "Giacinto Pacchiotti" di Giaveno (TO), preparato per il corso di "Progettazione tecnologica per il patrimonio edilizio" del Professor Marco Zerbinatti nell'anno accademico 2016-2017.

N.B.: Per i modelli di cui al pt.(a) e al pt.(b), privi di categorie MEP, si è scelto di testare l'algoritmo per le sole istanze architettoniche e strutturali.

A seguire è inserito l'elenco dei vantaggi e degli svantaggi riscontrati in fase di verifica:

6.6 Uno sguardo al futuro

L'algoritmo descritto in precedenza può essere ulteriormente sviluppato, prevedendo per esso nuovi utilizzi e implementando quindi diverse funzioni.

Con uno sguardo al futuro si punta così al raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- a) capacità di lettura dei valori assegnati al parametro *DDI* (Data di installazione) direttamente dal cronoprogramma dei lavori per mezzo dell'interoperabilità con il software Autodesk Navisworks, eludendo così l'operazione di compilazione manuale dei dati all'interno del software Autodesk Revit;
- b) capacità di lettura dei dati specificati nelle schede tecniche cartacee dei prodotti e dei componenti, direttamente dal rispettivo file in formato aperto *.pdf*, eludendo così l'operazione di compilazione manuale dei dati all'interno del software Microsoft Excel per ciascuna scheda di manutenzione digitale di cui al sotto-capitolo 6.1;
- c) capacità di lettura dei valori assegnati ai parametri di famiglia, siano essi di tipo o di istanza, anche per gli elementi nidificati;
- d) inserimento di un parametro a valore booleano in grado di registrare l'avvenuto intervento e in caso contrario di riprogrammare il piano di manutenzione;
- e) inserimento di *Alert* specifici in grado di notificare l'utente sulla presenza di eventuali errori nel riconoscimento dei valori assegnati ai parametri o nella compilazione automatica del piano di manutenzione;
- f) programmazione in Python di un'interfaccia grafica, in grado di guidare l'utente nelle operazioni di *pre-processing* e quindi di eludere l'apertura del file contenente l'algoritmo.

7. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

1. Le informazioni relative al Castello del Valentino e alla sua storia sono state reperite da:

a) https://it.wikipedia.org/wiki/Castello_del_Valentino

b) <http://castellodelvalentino.polito.it/>

2. Le informazioni e le immagini relative ai livelli di sviluppo proposti dalla norma UNI 11337:2017 sono state reperite da:

a) <https://www.ingenio-web.it/6590-i-lod-nella-uni-113372017>

3. Le informazioni relative alla normativa di riferimento nel campo della manutenzione sono state reperite da:

a) https://it.wikipedia.org/wiki/Facility_management

b) <https://it.wikipedia.org/wiki/Manutenzione>

c) <https://www.certifico.com/normazione/173-documenti-riservati-normazione/documenti-estratti-norme/3135-manutenzione-tutte-le-definizioni-delle-norme-di-riferimento>

d) <http://store.uni.com/catalogo/index.php/uni-en-15331-2011.html>

e) <http://store.uni.com/catalogo/index.php/uni-en-13306-2010.html>

f) <http://store.uni.com/catalogo/index.php/uni-10147-2013.html>

g) http://www.uni.com/index.php?option=com_content&view=article&id=1593:manutenzione-dei-patrimoni-immobiliari-la-norma-uni-en-15331&Itemid=127

h) https://it.wikiversity.org/wiki/Tipi_di_manutenzione

4. L'algoritmo definito nel sesto capitolo della presente tesi è stato ispirato dalla seguente antologia:

a) Fedele L., Furlanetto L., Saccardi D., Progettare e gestire la manutenzione, McGraw-Hill, Collana di istruzione scientifica, I edizione, Milano 2004.

b) AA.VV., Manuale della manutenzione degli impianti industriali e dei servizi, Franco Angeli, Azienda Moderna, I edizione, Milano 1998.

c) Baldin A., Furlanetto L., Roversi A., Turco F., Manuale della manutenzione degli impianti industriali, Franco Angeli, Azienda Moderna, IV edizione, Milano 1981.

5. Le conoscenze necessarie allo sviluppo dell' algoritmo sulla piattaforma Dynamo, quale modulo aggiuntivo del software Autodesk Revit, sono state apprese da:

a) <http://dynamobim.org/learn/#videoTut>

b) <https://www.youtube.com/watch?v=p9O1Z3kHX8A>

c) <https://www.youtube.com/watch?v=iYGqkFtLbJw>

d) <https://www.youtube.com/watch?v=BxxIm8HGgGs>

e) <https://www.youtube.com/watch?v=ZPk2CasEu74>

f) https://www.youtube.com/watch?v=-Qx_LT2Wsvs

g) <https://www.youtube.com/watch?v=ZPk2CasEu74>

h) <https://www.youtube.com/watch?v=beq5U1BDqpU>

i) <https://www.youtube.com/watch?v=Ps-q3wnCDZU>

j) https://www.youtube.com/watch?v=vm_FsRQA-Jg

k) <https://www.youtube.com/watch?v=GpfxOjezryQ>

l) <https://www.youtube.com/watch?v=WbW6OHyuGRo>

m) <https://www.youtube.com/watch?v=XsYMY23GCnQ>

n) https://www.youtube.com/watch?v=X5Bh2k9b_m0

Tutti i siti sopra indicati sono stati consultati l'ultima volta in data 04/12/2017.