# BIM e Virtual Reality

Realizzazione di un Tour Virtuale per la comprensione dell'architettura e del funzionamento della Centrale Idroelettrica di Chiomonte







### **BIM e Virtual Reality**

Realizzazione di un Tour Virtuale per la comprensione dell'architettura e del funzionamento della Centrale Idroelettrica di Chiomonte



Davide Patuzzo
Relatore
Prof.ssa Anna Osello
Correlatore
Matteo Del Giudice

Sessione di dicembre 2020

### **ABSTRACT**

Il seguente la voro di tesi na sce al fine di raccontare attraverso l'utilizzo della metodologia BIM (Building Information Modeling) l'architettura, gli spazi e l'insieme di tutte le complesse opere della Centrale Idroelettrica di Chiomonte necessari per la produzione di energia idroelettrica. In collaborazione con la Società Iren Energia S.p.A, si è individuata come necessità quella di realizzare, attraverso l'utilizzo della tecnologia di Virtual Reality, un percorso museale virtuale (Tour Virtuale) di supporto all'allestimento in fase di realizzazione di un museo sull'energia idroelettrica, collocato all'interno della centrale e gestito direttamente da Iren S.p.A. Grazie all'utilizzo di un visore VR il visitatore si troverà catapultato nella ricostruzione virtuale della centrale e potrà muoversi liberamente in prima persona interagendo con determinati oggetti al fine di ottenere informazioni e spiegazioni sulla produzione di energia idroelettrica. Per il raggiungimento dell'obiettivo finale è stato necessario suddividere il lavoro in diverse fasi. All'interno della tesi si troveranno infine i procedimenti che hanno portato alla creazione del modello BIM dell'intera opera ed i test effettuati per valutare l'interoperabilità tra i Software impiegati per la sua realizzazione e la sua virtualizzazione.

### **ABSTRACT**

The following dissertation aims at explaining the architecture, the areas and the complex construction projects which are necessary to produce hydroelectric power in Chiomonte hydroelectric power plant through the BIM (Building Information Modeling) methodology. The need of creating a virtual museum tour (Virtual Tour) through the use of Virtual Reality technology was identified in collaboration with Iren Energia S.p.A. The idea consists in supporting the setting up of a museum on hydroelectric energy, which is located inside the plant and managed directly by Iren S.p.A. Thanks to the use of a VR viewer the visitor will be catapulted into the power plant's virtual reconstruction and will be able to move freely and to interact with specific objects in order to get information and explanations on the production of hydroelectric energy. It was fundamental to divide this project into different phases in order to achieve the goal. Moreover, the reader will also find the procedures that led to the creation of the BIM model and the tests carried out to evaluate the interoperability between the softwares used for its realization and virtualization.

### **INDICE**

CAPITOLO 01 - Introduzione		
1.1 Obiettivi della tesi	p. 01	
1.2 Background - Stato dell'arte dei Musei Virtuali		
1.3 Il museo dell'Energia Idroelettrica di Cedegolo, Reale vs Virtuale	p. 06	
1.4 Panoramica software e tecnologie utilizzate	p. 10	
1.5 Che cos'è il BIM?	p. 11	
1.5.1 Il BIM nel mondo	p. 15	
1.5.2 Il BIM in Italia	p. 18	
1.5.3 Il concetto di Livello di Dettaglio (LOD)	p. 20	
1.6 VR - La Realtà Virtuale	p. 25	
1.6.1 L'evoluzione della tecnologia	p. 27	
1.6.2 Strumenti di visualizzazione della VR	p. 29	
CAPITOLO 02 - Il caso studio		
2.1 Inquadramento territoriale	p. 33	
2.2 Inquadramento storico	p. 34	
2.3 Riassunto dei principali Atti riguardanti l'Azienda	p. 42	
2.4 La Centrale Idroelettrica di Chiomonte	p. 44	
2.4.1 La planimetria di progetto	p. 48	
2.4.2 Le Opere di Presa	p. 51	
2.4.3 Camera di carico, sfioratori e bacino di accumulo	p. 53	
2.4.4 Il Fabbricato Motori	p. 56	
CAPITOLO 03 - Metodologia		
3.1 Casi d'uso del modello	p. 59	
3.2 Workflow metodologico	p. 64	
3.3 La Modellazione del terreno	p. 68	
3.3.1 Il Modello Digitale del Terreno (DTM)	p. 68	
3.3.2 Metodo 1 – Infraworks to ArchiCAD	p. 70	
3.3.3 Metodo 2 – Infraworks to Civil 3D to Revit	p. 71	
3.3.4 Metodo 3 – Qgis to Civil 3D to Revit	p. 73	
3.4 La Modellazione dei fabbricati	p. 76	
3.4.1 Pre Modellazione	p. 76	

3.4.2 Modellazione delle Famiglie Parametriche	p. 76
3.4.3 La modellazione di dettaglio: le capriate in acciaio	p. 79
3.5 La modellazione delle parti meccaniche	p. 85
3.6 Da modello integrato a modello federato	p. 87
3.7 Assegnazione Codice ID ad elementi del modello	p. 88
3.8 Soluzioni di visualizzazione del Modello Virtuale	p. 91
3.8.1 Interoperabilità tra Revit e VAR	p. 91
3.8.2 Struttura dell'Ambiente Virtuale	p. 93
3.8.3 Creazione delle animazioni	p. 96
CAPITOLO 04 - Risultati	
4.1 Interoperabilità	p.100
4.2 Il modello BIM	p.101
4.3 Il processo BIM per la creazione di un Virtual Tour	p.103
4.4 Visualizzazione dei dati con la Virtual Reality	p.104
CAPITOLO 05 - Conclusioni e sviluppi futuri	
5.1 Conclusioni	p.105
5.2 Sviluppi futuri	p.106
BIBLIOGRAFIA	p.109
SITOGRAFIA	p.111

#### INDICE DEGLI ACRONOMI

- AIA: American Institute for Architects
- **AR:** Augmented Reality
- **BIM:** Buildin Information Modeling
- **BS:** British Standard
- **CAD:** Computer Aided Drafting
- CDE: Common Data Environment
- **DAE:** Collaborative Design Activity
- **DBSM:** Data Base Management System
- **DTM:** Digital Terrain Model
- DWG: Drawing
- **DXF:** Drawing Exchange Format
- **FBX:** FilmBoX
- GIS: Geographic Information System
- **GSA:** General Services Administration
- IAM: Inventor formats for Assemblies
- IFC: Industry Foundation Classes
- **IMX:** iMindMap File
- **IPT:** Inventor formats for Parts
- LARTU: Laboratorio di Analisi e Rappresentazione Territoriale Urbana
- LOD: Level Of Development
- LOG: Livello di sviluppo dell'Oggetto-attributi Geometrici
- LOI: Livello di sviluppo dell'Oggetto-attributi Informativi
- **MR:** Mixed Reality
- NBS: National Building Specification
- NIBS: National Institute of Building Science
- **OBJ**: OBJect
- PAS: Publicly Avaiable System
- **RFT:** Revit Family Type
- **RVT:** Revit
- SAT: Standard ACIS Text
- SMLX: Steel Markup Language
- TIN: Triangulated Irregular Network
- UNI: Ente Nazionale Italiano di unificazione
- **VR:** Virtual Reality

## CAPITOLO 01 Introduzione

### 1.1 Obiettivi della tesi

L'obiettivo principale di questa tesi è quello di ottenere un modello BIM tridimensionale della centrale idroelettrica di Chiomonte che, attraverso l'utilizzo della tecnologia della realtà virtuale, possa essere utilizzato dalla società proprietaria dell'impianto (IREN S.p.A.) nell'allestimento museale in previsione in una porzione di questo fabbricato.

In particolare, il modello verrà utilizzato per fare in modo che i visitatori del museo abbiano la possibilità di esplorare, attraverso l'utilizzo di un visore di Realtà Virtuale, spazi che non è possibile esplorare nella realtà. Deve inoltre servire per comunicare in maniera diretta ed interattiva all'utente le tappe che hanno portato alla costruzione della centrale così come la vediamo oggi, oltre che ad illustrare gli spazi e le opere necessarie alla produzione di energia idroelettrica in maniera interattiva.

Il primo obiettivo da raggiungere attraverso la modellazione, a seguito della lunga ricerca di materiale storico effettuata negli archivi comunali e statali, è quello di mettere in evidenza le diverse fasi di costruzione del complesso andando a compiere una sorta di excursus storico visibile dal modello tridimensionale. Attraverso l'utilizzo della realtà virtuale sarà possibile visualizzare ed indagare le componenti virtuali dell'edificio, in maniera tale da ottenere informazioni utili relative ad esempio alla reale data di costruzione oltre che ad una serie di parametri relativi alle caratteristiche del componente indagato. Sarà quindi possibile muoversi all' interno della ricostruzione dello stato di fatto della centrale visualizzando però schede informative e pannelli che riportano elaborati e disegni relativi al primo progetto della centrale risalente al 1905, al fine di capirne l'originale conformazione. Questo approccio verrà di conseguenza applicato anche agli altri edifici ed alle altre opere di supporto al fabbricato motori, in maniera tale da comprendere quali siano state le diverse fasi di costruzione dell'impianto.

Il secondo obiettivo riguarda l'aspetto didattico che si vuole conferire al modello attraverso il progetto di un Tour Virtuale. Nella centrale in questione

è previsto l'allestimento da parte della Società Iren Energia S.p.A di un museo sull'energia idroelettrica. Si è individuata quindi la necessità di realizzare, attraverso l'utilizzo della tecnologia di Virtual Reality, un percorso museale virtuale (Tour Virtuale) di supporto all'allestimento. Grazie all'utilizzo di questa tecnologia sarà possibile in un primo momento visualizzare ed identificare il complesso sistema di edifici e di opere accessorie con le relative relazioni che intercorrono tra di loro, necessarie per la produzione dell'energia idroelettrica. Sarà così possibile ottenere informazioni sul loro funzionamento, in maniera tale da avere un primo quadro generale teorico sul processo di produzione dell'energia idroelettrica. Il Tour Virtuale vero e proprio permetterà poi di capire perfettamente questo processo. Attraverso la realtà virtuale, l'utente si troverà a compiere in prima persona il lungo percorso che una goccia d'acqua deve compiere durante il processo di produzione dell'energia idroelettrica. Si partirà dunque dalla Dora Riparia, per passare attraverso le opere di presa ed essere indirizzati verso il canale derivatore. Da qua si passerà all'interno della camera di carico ed all'interno delle condotte. Si arriverà alla sala motori, si verrà turbinati e poi indirizzati verso il canale scaricatore. A questo punto o si farà finalmente ritorno in Dora, oppure si verrà nuovamente immessi in un canale derivatore che porterà alla centrale idroelettrica di Susa.

Per tutti gli obiettivi descritti sopra, è stato realizzato un solo modello BIM navigabile ed interattivo, che verrà utilizzato in maniera diversa in relazione all'obiettivo da raggiungere.

Il modello è stato realizzato per fasi, reso navigabile dall'esterno e dall'interno per ciò che riguarda la visualizzazione cronologica della costruzione dell'edificio (sarà possibile vedere gli ampliamenti e le fasi di costruzione in un modellino appositamente dedicato collocato nell'ambiente virtuale), e navigabile all'interno in molte delle sue parti per ciò che riguarda l'aspetto didattico del tour virtuale. All'interno di questo modello è stata operata una distinzione del livello di dettaglio LOD tra gli edifici e le opere accessorie necessarie solamente a far capire come funziona tutto l'insieme (edifici di presa, condotte, scarichi, casa del custode) e gli edifici in cui effettivamente si svolge il tour virtuale, e che quindi devono avere un maggior livello di dettaglio. Facendo riferimento per la definizione dei LOD da impiegare in un modello BIM alla normativa italiana 11337 del 2007, si è individuato nel LOD C il dettaglio da raggiungere per le parti meno dettagliate, mentre un LOD D per ciò che riguarda le parti da sviluppare più approfonditamente.

### 1.2 Background - Stato dell'arte dei Musei Virtuali

Dopo aver illustrato nel paragrafo precedente gli obiettivi da raggiungere con la seguente tesi e gli usi che ne verranno fatti, passiamo ora ad analizzare ed approfondire eventuali allestimenti di musei virtuali già realizzati e completati che possano essere in qualche modo correlati e presi come spunto per questo specifico caso di studio.

Negli ultimi anni l'utilizzo di queste particolari tecnologie (AR, VR, MR) si sta facendo sempre più insistente non solamente per ciò che riguarda la progettazione di musei in VR, ma in generale nel mondo dell'edilizia così come in tutti gli altri ambiti. Nonostante l'utilizzo della VR si stia espandendo a macchia d'olio solamente negli ultimi anni, come precedentemente accennato, è una tecnologia di cui si trovano le prime tracce già a partire dagli anni '60.

Un caso emblematico dell'utilizzo della Realtà Virtuale in un allestimento museale del recente passato è la Mostra del Nefertari (Luce d'Egitto), avvenuta a Roma a Palazzo Rispoli già nel 1994. Questa mostra venne organizzata dal GCI (Getty Conservation Institute, un'istituzione americana che si occupa della tutela e della salvaguardia delle opere d'arte) ed era una mostra particolarmente attraente e innovativa in quanto realizzata interamente con l'utilizzo della Realtà





Virtuale. In questo caso la VR venne utilizzata per permettere ai visitatori di muoversi all'interno di un ambiente virtuale che riproduceva gli spazi, i dipinti e gli allestimenti funebri della tomba di Nefertari (moglie di Ramesse II). Il visitatore si trovava così fisicamente nel presente, ma si stava muovendo e ed era immerso in un ambiente virtuale del passato. Inoltre, l'utilizzo della VR permetteva al visitatore di vedere come si presentava la tomba precedentemente e successivamente alla sua conservazione.

Un altro esempio di applicazione della VR in allestimenti museali lo si trova a Mestre, nel Museo del 900 (M9) che racconta le più significative trasformazioni economiche, sociali, culturali ed ambientali avvenute nel secolo che si è appena concluso. In questo caso, all'interno del museo troviamo due stanze che sono state dedicate all'utilizzo della Realtà Virtuale. Nella prima vengono utilizzati gli Oculus Rift (stesso visore impiegato per la visualizzazione del modello della seguente tesi) per far sì che il visitatore possa tele-trasportarsi in nove diverse ambientazioni ognuna rappresentante una significativa trasformazione del paesaggio. Una volta dentro a questi ambienti virtuali al visitatore verranno fornite diverse informazioni storiche attraverso delle ricostruzioni animate. Nella seconda sala invece, sempre attraverso l'utilizzo dell'Oculus Rift, viene sensibilizzato sul tema del consumo di suolo attraverso un mini-gioco chiamato "Trova l'intruso".

Un altro caso ancora riguarda la ricostruzione virtuale della tomba Etrusca Regolini Galassi collocata presso i Musei Vaticani, entrata in funzione nel 2013. Come per la precedente tomba di Nefertari, anche qui è stato ricostruito un ambiente virtuale in cui il visitatore può muoversi, toccare e vedere lo stato di conservazione iniziale dei diversi reperti ed oggetti presenti nella tomba. Di tutti gli oggetti virtuali presenti all'interno della tomba si trovano poi i corrispondenti reali nelle teche esposte lungo il percorso di visita. In questo modo, attraverso l'utilizzo della VR, gli arredi e gli oggetti esposti nelle sale del museo vengono contestualizzati negli spazi della tomba virtuale dando così a chi indossa il visore l'impressione di trovarsi proprio al suo interno.

L'ultimo caso che si riporta fa riferimento al Tour Virtuale del Museo dell'Ara Pacis di Roma. In questo caso il visitatore può navigare le mappe interattive muovendosi attraverso il semplice utilizzo di mouse e tastiera. Come riportato nel sito del museo in questione, "il tour permette la visita effettuando una passeggiata virtuale muovendosi all'interno degli ambienti. Grazie al movimento del mouse è possibile ruotare a 360°, in alto e in basso e zoomare

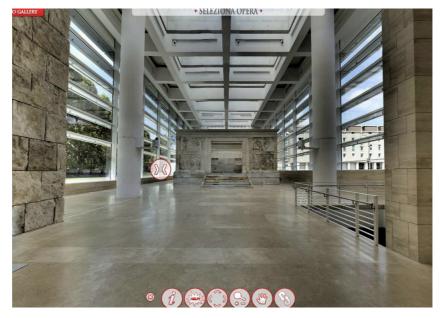
fino ad avvicinarsi ai diversi elementi presenti nelle sale: sculture, quadri, dettagli architettonici, rivestimenti, soffitti e pavimenti".

Figura 1.2: Museo M9, stanza di Realtà Virtuale, visori Oculus Rift. Fonte: https://www.carraro-lab. com/portfolio-item/museo-m9gioco-oculus-rift/



Figura 1.3: Tour Virtuale del Museo dell'Ara Pacis di Roma, Galleria di ingresso.

Fonte: http://www.arapacis.it/ it/infopage/tour-virtuale-delmuseo-dellara-pacis



### 1.3 Il museo dell'energia idroelettrica di Cedegolo Reale vs Virtuale

Oltre ai significativi esempi di musei virtuali riportati e descritti precedentemente, data la particolare attinenza con gli argomenti trattati nella seguente tesi, si è deciso di dedicare alla centrale idroelettrica di Cedegolo (poi diventata museo dell'energia idroelettrica) un paragrafo in cui muovere alcune considerazioni ed alcune riflessioni di carattere generale.

È bene chiarire sin da subito che in questo caso non si tratta di un museo virtuale, bensì di un museo vero e proprio. Proprio questa contrapposizione tra realtà e virtuale ha stimolato una serie di riflessioni e di considerazioni che sono state utili per la progettazione e la realizzazione del museo virtuale nella centrale idroelettrica di Chiomonte oggetto della tesi.

Nonostante questi due fabbricati si trovino in due vallate alpine totalmente distante fra di loro (Valle di Susa e Valle Camonica), molti sono gli aspetti in comune che legano queste due centrali e che di fatto ne rendono possibile il confronto. Entrambe sono state costruite e sono entrate in funzione intorno al 1909-1910, anni particolarmente frenetici per ciò che riguardava la corsa all'accaparramento delle concessioni di derivazione dei corsi d'acqua, al fine di soddisfare attraverso la produzione sempre maggiore di energia idroelettrica, un sempre crescente fabbisogno energetico.

Nel caso della centrale di Cedegolo fu la Società Elettrica Bresciana (SEB) a farla costruire. La centrale idroelettrica bresciana continuò ininterrottamente la produzione di energia fino al 1951, quando l'apertura di un secondo impianto idroelettrico nelle vicinanze ne ridusse il bacino imbrifero e quindi, di conseguenza, anche la potenza nominale. La produzione a questi ritmi ridotti continuò così fino al 1962, anno in cui si decise per la definitiva chiusura dell'impianto. L'edificio venne utilizzato come deposito e magazzino fino agli anni '90, quando si iniziò a pensare alla sua ristrutturazione ed alla realizzazione del museo dell'energia idroelettrica, che venne terminato ed aperto al pubblico nel 2008 dopo un concorso indetto nel 2003.

Il percorso museale si divide in quattro distinte parti. Nella prima parte troviamo la "sala delle sfere", una sala in cui si sensibilizza il visitatore sull'importanza dell'acqua e sul suo ciclo naturale. La seconda parte è la "stanza delle dighe", spazio

in cui attraverso filmati ed animazioni vengono mostrate le dighe più importanti a livello nazionale e globale e in cui viene spiegato il loro funzionamento, oltre che alle possibili criticità di queste enormi infrastrutture. Viene inoltre spiegato il funzionamento di una centrale idroelettrica. Si attraversa poi fisicamente una sezione di condotta forzata e si giunge poi alla "sala della turbina", in cui è possibile osservare un gruppo storico turbina-alternatore Francis della centrale originale; ne viene spiegato il funzionamento attraverso l'utilizzo di video ed

Figura 1.4: Museo dell'Energia Idroelettrica di Cedegolo, "Stanza delle Dighe". Fonte: https://www.musilbrescia. it/sedi/cedegolo/



Figura 1.5: Museo dell'Energia Idroelettrica di Cedegolo, "Sezione di Condotta Forzata". Fonte: https://www.musilbrescia. it/sedi/cedegolo/



altri multimedia.

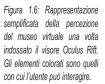
Essendo il legame tra territorio e museo molto forte, questo luogo è diventato per la società un importante centro di aggregazione, di cultura e di educazione, in quanto può aiutare le nuove generazioni a sviluppare e riflettere sulle proprie radici e sul contesto territoriale che li circonda. È proprio sull'aspetto più didattico e educativo del museo che si sono sviluppate le riflessioni e gli spunti più interessanti per ciò che riguarda l'allestimento del museo virtuale della centrale idroelettrica di Chiomonte.

Il percorso di visita virtuale allestito per la centrale di Chiomonte si svolge interamente all'interno del fabbricato motori (ancora oggi funzionante) e prevede sei diverse attività, tutte da svolgere con l'utilizzo del visore Oculus Rift. In un primo momento il visitatore si troverà immerso nella storia della centrale e potrà capire e visualizzare attraverso il visore le principali tappe ed i progetti originali del 1904 che hanno portato alla sua realizzazione. Successivamente, indagando le turbine Pelton installate, sarà possibile visualizzare i dati e le informazioni energetiche, oltre che ad osservare i profili longitudinali delle condotte forzate con tutte le quote ed i dislivelli. Avvicinandosi poi ad una condotta forzata l'utente verrà risucchiato al suo interno e verrà "spostato" nel paese di Serre La Voute (circa 8 km da Chiomonte). Qua inizierà un tour virtuale in prima persona (l'utente sarà una goccia d'acqua) che farà conoscere al visitatore il percorso completo compiuto dalla goccia stessa per la produzione di energia idroelettrica. Sarà poi ancora possibile visualizzare un modellino tridimensionale dell'intero impianto (comprensivo anche delle opere accessorie) che nominerà e metterà in evidenza le diverse parti dell'impianto idroelettrico. Ci si potrà infine muovere liberamente all'interno del fabbricato motori esplorando tutte le sue stanze ed il piano interrato, solitamente mai accessibile nella realtà. Il tutto rimanendo fermi, fisicamente, all'interno del fabbricato motori.

Sorge a questo punto spontaneo fare una sorta di confronto sulle possibilità didattiche di un museo reale con quelle di un museo virtuale. Nel museo di Cedegolo troviamo ad esempio una sezione di condotta forzata collocata nella sala della turbina che è possibile attraversare fisicamente. Tramite l'impiego della realtà virtuale è possibile, ad esempio, passare all'interno della condotta forzata lungo tutto il suo percorso quando questa è ancora collocata in opera, cosa che non può accadere nella realtà. Anche nella sala della turbina di Cedegolo, dove è possibile osservare un gruppo turbina alternatore e capirne

il funzionamento attraverso l'impiego di pannelli multimediali, l'utilizzo della realtà virtuale permetterebbe di capirne i meccanismi direttamente dal suo interno. Il contenuto informativo di un museo virtuale può essere implementato con diversi livelli e gradi di approfondimento per far sì che possa essere fruito e capito da un pubblico disomogeneo per età ed istruzione. Inoltre, l'alto coinvolgimento del visitatore che si trova letteralmente immerso in un ambiente a lui nuovo, può generare maggior interesse e curiosità e dunque aumentare la capacità e la velocità di apprendimento.

Al fine di mettere in risalto la virtualità del museo in questione, anche nell'organizzazione dello stesso si è cercato di discostarsi il più possibile dai tradizionali allestimenti museali. Il percorso di visita non è quindi organizzato seguendo un percorso ben preciso; l'utente potrà infatti muoversi liberamente all'interno della centrale creandosi il suo personale percorso di visita. Ci si accorgerà immediatamente della diversa strutturazione del museo in quanto non saranno presenti né pannelli espositivi/di testo/multimediali né altri oggetti espositivi che ne illustrino i contenuti. L'interazione tra utente e centrale diventa quindi l'unico modo per la totale fruizione e comprensione dei contenuti del museo. Ad esempio, camminando a fianco della turbina installata a Chiomonte, sarà possibile interagire con essa e dall'interazione si aprirà una schermata che fornirà i dati energetici della turbina stessa piuttosto che della condotta forzata. Nell'immagine sottostante viene riportato in maniera semplificata ciò che un utente vede quando indossa il visore di Realtà Virtuale Oculus Go ed è pronto per iniziare il tour museale. Gli elementi colorati sono quelli con cui l'utente può interagire per ottenere diversi tipi di informazioni.





### 1.4 Panoramica Software e tecnologie utilizzate



Autodesk Infraworks: software BIM utilizzato per la creazione, attraverso lo strumento Model Builder, del Modello Digitale del Terreno (DTM) dell'area di interesse.



QGis: utilizzato per l'esportazione delle curve di livello dal Modello Digitale del Terreno ottenuto in Infraworks in vettori 3D.



Autodesk Revit: software BIM utilizzato per la creazione delle superfici topografiche e per la modellazione strutturale ed architettonica dell'intero impianto idroelettrico. Grazie ad un Plug-In installato in Revit, è inoltre stato possibile creare un collegamento diretto con Excel volto all'ottimale gestione dei Codici Identificativi assegnati ad ogni singolo elemento del modello tridimensionale.



Autodesk Advance Steel: utilizzato per la modellazione dettagliata delle opere di carpenteria metallica presenti nel progetto, quali ad esempio le due griglie paratronchi delle opere di presa ed il sostegno della copertura del fabbricato motori in capriate di acciaio.



Autodesk Inventor: impiegato per la modellazione delle parti meccaniche ed impiantistiche specifiche, come ad esempio la girante della turbina, la cassa della turbina, le condotte forzate e le principali paratoie.



Autodesk Civil 3D: utilizzato per la creazione automatica del profilo delle condotte forzate, inserendo come Input il Modello Digitale del Terreno ottenuto con Autodesk Infraworks.



Unity 3D: motore grafico multipiattaforma utilizzarto nella fase finale della tesi per la creazione di interazioni ed animazioni oltre che per la renderizzazione e l'illuminazione del modello. Questa fase è fondamentale per predisporre il modello affinchè sia visibile in Virtual Reality.

CAPITOLO 01

#### 1.5 Che cos'è il BIM?

Con il termine BIM (acronimo di Building Information Modeling) si intende una precisa metodologia operativa per la progettazione e la gestione dei processi edilizi. Il National Institute of Building Science (NIBS) definisce il BIM come "la rappresentazione digitale delle caratteristiche fisiche e funzionali di un oggetto". Alla base di questo recente approccio che si sta diffondendo sempre di più nel mondo dell'edilizia, troviamo la progettazione parametrica. A differenza dei metodi di progettazione più tradizionali (si pensi al disegno manuale o a quello automatizzato con Software CAD) dove la progettazione di un edificio avviene interamente attraverso la creazione di una serie di elaborati descrittivi (quali ad esempio piante, prospetti, sezioni), con l'applicazione del metodo BIM gli elaborati necessari alla descrizione del progetto vengono automaticamente estrapolati e ricavati dal modello dell'edificio in progetto ricostruito virtualmente. Si capisce bene quindi che la metodologia BIM e quella tradizionale sono da considerarsi come due approcci sostanzialmente opposti.

La metodologia BIM consiste quindi nella realizzazione di un modello virtuale del progetto attraverso l'utilizzo di elementi e componenti edilizi virtuali che corrispondono a quelli impiegati realmente (muri, solai, tetti, scale..). In questo modo si ottiene quindi un modello virtuale che possiede le stesse relazioni e che simula il comportamento corrispondente edificio reale.

Tutto questo è possibile poiché, come già accennato in precedenza, la modellazione BIM è di tipo parametrico, quindi ogni componente viene definito attraverso una serie di parametri in base alle informazioni che il modello deve fornire. I componenti edilizi virtuali oltre che a contenere le semplici informazioni relative alla geometria, contengono anche una serie di altre informazioni aggiuntive (come ad esempio il costo unitario, valori di trasmittanza termica, dati del produttore, classe di resistenza al fuoco..) che ci permettono, una volta realizzato il modello, di analizzarlo ed indagarlo in maniera approfondita da vari punti di vista, oltre che ad effettuare delle simulazioni sul suo comportamento già in fase progettuale. Un modello BIM correttamente eseguito ci permette inoltre di ottenere delle informazioni aggiuntive che non hanno rappresentazione grafica; si tratta di dati alfanumerici che vengono estrapolati automaticamente dal modello virtuale sottoforma tabellare (abachi). Un altro aspetto di fondamentale importanza del BIM risiede nel fatto che il modello, vista l'enorme quantità di

dati ed informazioni contenute in esso, continua ad essere molto utile anche dopo la realizzazione e la costruzione dell'edificio reale, in quanto, proprio attraverso il BIM, si può tenere conto anche della variabile temporale andando così a programmare e rendere più efficaci le operazioni di gestione e i futuri interventi da eseguire sul manufatto.

A questo proposito, le nuove dimensioni del progetto controllate dal BIM sono:

- 4D Gestione della risorsa tempo: al modello 3D viene aggiunta la variabile tempo, si può facilmente prevedere l'andamento delle attività riguardanti un edificio durante tutto il suo intero ciclo di vita.
- 5D Gestione dei costi: aspetto facilmente gestibile in quanto un modello BIM viene continuamente aggiornato in tutti gli aspetti che lo riguardano, quindi è possibile andare a pianificare i costi nel tempo oltre che avere un maggior controllo su eventuali modifiche od imprevisti.
- 6D Analisi e simulazione prestazionale: essendo il modello costantemente aggiornato, le simulazioni energetiche effettuate risultano essere complete ed accurate.
- 7D Gestione operativa e Facility Management: rappresenta il controllo e la manutenzione dell'edificio e di tutti i suoi componenti durante il suo intero ciclo di vita. In questa fase è possibile tenere traccia delle attività di manutenzione, di demolizione o sostituzione.

L'ultimo aspetto estremamente positivo da mettere in evidenza riguarda la multidisciplinarità di un modello BIM e la collaborazione tra le diverse figure professionali coinvolte in un processo edilizio. Tutti gli attori coinvolti non operano più in maniera individuale ed indipendente rispetto alle altre figure professionali (come accadeva con i sistemi tradizionali del CAD, l'architetto passava gli elaborati all'ingegnere per le verifiche strutturali, l'ingegnere lo mandava all'impiantista ecc...) bensì tutti i professionisti coinvolti lavorano ed apportano informazioni e modifiche ad un unico DataBase centrale e dinamico che corrisponde al modello BIM. Questo nuovo flusso di lavoro permette un maggior controllo sul progetto e contribuisce all'abolizione di eventuali interferenze e incongruenze tra le diverse discipline. Si passa così da un modello di condivisione delle informazioni monodirezionale ad uno circolare.

Per concludere questa breve introduzione relativa alla metodologia BIM, elenco i vantaggi evidenti, oltre a quelli già precedentemente descritti, che si possono ottenere da questo approccio:

• La riduzione di tempo e costi: chi progetta non dovrà più disegnare ogni

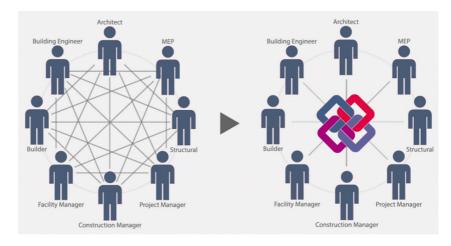
Figura 1.7: Workflow della progettazione con approccio RIM

Fonte: https://www.owac-ec.it/ prodotti/progettazione-bim/



Figura 1.8: Confronto tra i livelli di condivisione monodirezionale e circolare

Fonte: https://progettobim. com/perche-passare-al-bimconviene-smisurati-vantaggiper-i-progettisti-e-costruttori/



singola linea per arrivare alla definizione di un muro, ma basterà inserire il componente edilizio muro specificando le informazioni (parametri) di cui si necessita nel progetto. La maggior efficienza del BIM rispetto al CAD è stata indagata dall'architetto statunitense Mac Leamy attraverso un diagramma da lui creato. Le curve del diagramma evidenziano come concentrando lo sforzo progettuale nelle fasi iniziali della progettazione (come avviene con un approccio di tipo integrato) si vada ad incidere in termini positivi sui costi, a differenza invece di ciò che accade nella con il processo tradizionale, che prevede l'ultimazione ed il perfezionamento del progetto nelle fasi più avanzate dove i costi risultano essere decisamente maggiori. Con l'utilizzo di un approccio integrato gli sforzi vengono quindi anticipati nel tempo. Osservando inoltre la curva relativa ai costi delle modifiche progettuali, si può notare come la convenienza economica sia maggiore anticipando e riportando le correzioni o le integrazioni necessarie al progetto nelle prime fasi.

Notevole riduzione di errori: considerando il modello virtuale come un unico DataBase centrale, ogni modifica effettuata ad un elemento della costruzione viene automaticamente aggiornata in tempo reale. Siccome le viste (piante, prospetti, sezioni) vengono estrapolate dal modello, ogni modifica al modello viene apportata automaticamente a tutte le viste quindi vengono eliminati gli errori e le incongruenze (nel disegno CAD tradizionale le viste sono scollegate tra di loro quindi ogni modifica effettuata deve essere apportata manualmente in tutte le viste).

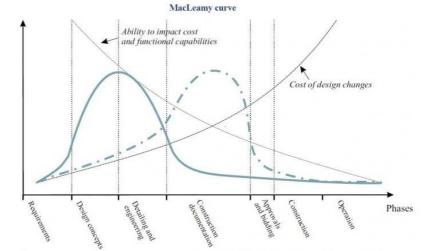


Figura 1.9: Curva di Mac Leamy Fonte: http://biblus.acca.it/comeil-bim-cambia-il-nostro-modo-dilavorare/

CAPITOLO 01

#### 1.5.1 II BIM nel mondo

Al contrario di ciò che si può pensare sulla recente diffusione del BIM, le origini di questa metodologia risalgono ai primi anni '70, sebbene in molti Stati del mondo l'utilizzo di questo approccio progettuale si sia effettivamente diffuso solamente negli ultimi anni o sia ancora in fase di diffusione.

Il BIM nasce negli Stati Uniti e la prima descrizione di un modello virtuale di un edificio venne raccolta in una pubblicazione del 1974 di Charles M. Eastman. Negli USA si utilizza questo approccio da molti anni, infatti già nel 2003 venne emanato il National 3D-4D-BIM Program da parte dell'organo di governo centrale statunitense a capo della gestione dei servizi (GSA General Services Administration) che impose l'utilizzo del BIM per i lavori pubblici.

In Finlandia già nel 2001 è stata introdotta la metodologia BIM. Sono stati sviluppati dei progetti pilota per testare l'efficacia dei modelli parametrici e del formato standard IFC (Industry Foundation Classes). Nel 2007, vista la possibilità di applicare tale metodologia al lavoro ordinario, l'utilizzo del BIM è diventato obbligatorio per tutti i nuovi progetti.

In Norvegia dal 2010 il BIM viene adottato per la realizzazione e la gestione dell'intero ciclo di vita di tutti i progetti di nuova realizzazione. Molta attenzione viene data alla creazione e diffusione di formati Standard IFC.

In Svezia già dal 1991 vengono pubblicate delle linee guide per lo sviluppo del BIM nel paese. Nel 2014 vengono intensificati gli sforzi per trovare sempre maggiori applicazioni del BIM nel settore delle costruzioni e nel 2015 viene introdotto come obbligatorio l'uso del BIM per le organizzazioni statali.

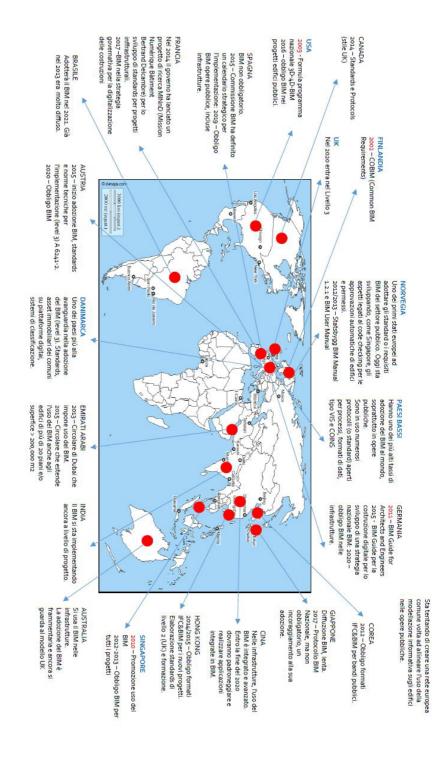
Nel Regno Unito nel 2011 è stata sviluppata da parte del National Building Specification (NBS) la National BIM Library, che è sostanzialmente una libreria digitale gratuita e online a cui possono accedere i professionisti per trovare oggetti e modelli relativi al mondo dell'industria delle costruzioni. Il Regno Unito è stato il primo paese in assoluto a normare a livello statale l'organizzazione e la gestione della modellazione informativa. Fu il primo stato che strutturò regole e procedure condivise per garantire che il BIM fosse collaborativo, condiviso e coordinato (CO-CO-CO) e le integrò appieno nei criteri di aggiudicazione degli appalti pubblici e nelle commesse. Le norme che hanno introdotto questi regolamenti e queste procedure condivise standardizzate sono principalmente cinque, tra cui le più importanti sono sicuramente le norme BS 1192-2007, le

PAS 1192-2013 e l'AEC (UK) BIM Technology Protocol. Le norme BS (British Standard) riguardano la progettazione architettonico-ingegneristica, mentre le PAS (Publicly Avaiable Specifications) contengono standards e specifiche che seguono i contenuti delle BS. In particolare, la BS 1192-2007 contiene una serie di principi che, indipendentemente dalla metodologia BIM, guidano e normano la progettazione collaborativa. In tal senso, vengono individuati metodi e procedure da accordare con il team prima che abbia inizio la fase di progettazione e che riguardano principalmente la descrizione e divisione dei ruoli e delle responsabilità, utilizzo di coordinate comuni e punti di inserimento specifici, la definizione e la strutturazione del Common Data Environment (CDE). Nel 2016 il BIM è stato reso obbligatorio per la realizzazione di opere pubbliche aventi importo pari o superiore a 5.500.000,00 euro.

Guardando ai paesi più vicini a noi possiamo vedere come in Francia l'utilizzo del BIM sia stato incentivato a partire dal 2014 e nel 2017 sia stato introdotto come obbligatorio. Nel 2015 la Germania inizia ad approcciare il BIM osservano e prendendo come esempio la più consolidata realtà del Regno Unito. Dopo una fase pilota di sperimentazione del BIM, dal 2020 dovrà essere applicato regolarmente ed obbligatoriamente per la pianificazione e la realizzazione di grandi progetti nel settore dei trasporti e delle infrastrutture pubbliche. Per concludere questa parentesi introduttiva sullo stato di diffusione di questo approccio metodologico nel mondo ed in Europa, a gennaio del 2014 venne votata ed adottata dal Parlamento Europeo la "European Union Public Procurement Directive 2014/24 del 26 febbraio 2014" che invitava gli Stati membri dell'UE ad incoraggiare, specificare o imporre attraverso provvedimenti legislativi dedicati l'uso del BIM per tutti i lavori ed i progetti a finanziamento pubblico entro il 2016. Venne inoltre specificato che ogni Stato membro ha un limite temporale pari a 30 mesi per recepire tali direttive. Questo testo diventò un punto di riferimento assoluto in ambito europeo per ciò che riguarda l'introduzione a livello normativo del BIM.

Questo breve excursus mette in evidenza come l'applicazione e l'utilizzo del BIM nelle diverse nazioni dipendano quasi esclusivamente dai programmi nazionali e dalle linee guida che ogni Stato pubblica in merito al suo utilizzo. Questi fatti comportano quindi delle situazioni in cui il BIM risulta essere una realtà consolidata e maggiormente sviluppata ed altre in cui il BIM è in fase di sperimentazione o in rampa di lancio.

Figura 1.10: Sviluppo della metodologia BIM nel mondo. Fonte: Arch. Edoardo Fontana



#### 1.5.2 II BIM in Italia

Per ciò che riguarda l'utilizzo del BIM nel nostro paese, il suo impiego è cresciuto molto a livello nazionale, soprattutto negli ultimi anni, manifestando però ancora un leggero ritardo rispetto agli altri paesi membri dell'Unione Europea. Come già illustrato nel paragrafo precedente, nel 2014 venne emanata ed adottata dal Parlamento Europeo la direttiva europea 2014/24/UE del 26 febbraio. All'obbligo di imporre ai paesi stati membri l'utilizzo del BIM per tutti i lavori e le opere a finanziamento pubblico entro il 2016, l'Italia rispose con l'attuazione del Decreto Legislativo D.lgs n.50/2016 del 18 aprile ed entrata in vigore il 19/04/2016. Il nuovo Decreto norma "l'aggiudicazione dei contratti di concessione, sugli appalti pubblici e sulle procedure d'appalto degli enti erogatori nei settori dell'acqua, dell'energia, dei trasporti e dei servizi postali, nonché per il riordino della disciplina vigente in materia di contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture" ed è composto da 220 Articoli.

In attuazione poi dell'Art. 23 comma 13 del D.lgs n.50/2016 "Codice dei contratti pubblici", il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ha adottato il Decreto Ministeriale D.M. 560/2017 del 1° dicembre in cui vengono definite le modalità ed i tempi di progressiva introduzione da parte delle stazioni appaltanti, delle amministrazioni concedenti e degli operatori economici, dell'obbligatorietà dei metodi e degli strumenti elettronici specifici, quali quelli di modellazione per l'edilizia e le infrastrutture, nelle fasi di progettazione, costruzione e gestione delle opere e relative verifiche.

Il 2016 può quindi essere considerato, alla luce dei decreti sopra citati, l'anno di partenza per l'introduzione via via sempre maggiore della metodologia BIM nel nostro paese.

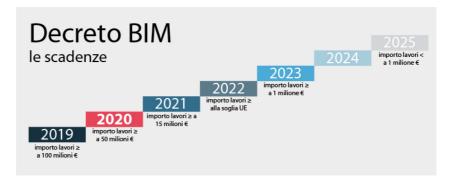
Nel D.M 560/2017 (anche chiamato Decreto BIM), vengono definite le modalità ed i tempi di introduzione del BIM negli appalti pubblici. Nell'Art.6 (tempi di introduzione obbligatoria dei metodi e strumenti elettronici di modellazione per l'edilizia e le infrastrutture) si specifica che le tappe da seguire saranno le seguenti:

- Per lavori complessi relativi a opere di importo a base di gara pari o superiore a 100 milioni di euro, l'uso del BIM deve essere obbligatorio a decorrere dal 1º gennaio 2019.
- Per lavori complessi relativi a opere di importo a base di gara pari o superiore

- a 50 milioni di euro, l'uso del BIM deve essere obbligatorio a decorrere dal 1°gennaio 2020.
- Per lavori complessi relativi a opere di importo a base di gara pari o superiore a 15 milioni di euro, l'uso del BIM deve essere obbligatorio a decorrere dal 1ºgennaio 2021.
- Per le opere di importo a base di gara pari o superiori alla soglia di cui all'Art. 35 del Codice dei Contratti Pubblici (Soglie di rilevanza comunitaria e metodi di calcolo del valore stimato degli appalti) l'utilizzo del BIM deve essere obbligatorio a decorrere dal 1º gennaio 2022.
- Per le opere di importo a base di gara pari o superiori a 1 milione di euro, l'utilizzo del BIM deve essere obbligatorio a decorrere dal 1ºgennaio 2023.
- Per le opere di importo a base di gara inferiore a 1 milione di euro, l'utilizzo del BIM deve essere obbligatorio a decorrere dal 1°gennaio 2025.

Figura 1.11: Art. 5 D.M. 560/2017
Tempi di introduzione
obbligatoria dei metodi
e strumenti elettronici di
modellazione per l'edilizia e le
infrastrutture.

Fonte: https://www.ingenio-web. it/18676-decreto-bim-pubblicatosul-sito-del-mit-il-dm-560-dal-27-gennaio-in-vigore



## 1.5.3 Il concetto di Livello di Dettaglio (LOD)

Prima di iniziare la progettazione e quindi la modellazione BIM, è necessario definire gli obiettivi e gli usi che si vogliono fare del modello, in quanto proprio da questi dipende il LOD che verrà applicato ad ogni singolo componente ed elemento del modello. I LOD servono infatti alla definizione del livello di approfondimento delle informazioni (geometriche, grafiche e di attributi) contenute all'interno del modello. Il compito del progettista è quindi quello di definire il livello di dettaglio richiesto in ogni fase per garantire che solo le informazioni strettamente necessarie vengano implementate e non ci siano così sprechi di tempo e costi della modellazione. In un modello utile per la progettazione preliminare dell'opera, ad esempio, le informazioni contenute nel modello sono poche e prevalentemente di tipo geometrico; man mano che il progetto procede e si entra quindi nelle fasi di progettazione definitiva ed esecutiva, il contenuto informativo si amplia e si arricchisce sempre di più.

Essendo questo argomento fondamentale ed alla base di un approccio BIM, esistono importanti quadri normativi che definiscono le caratteristiche di ogni singolo LOD in relazione al tipo di elemento considerato.

La prima norma di cui parliamo è una norma statunitense, la G202-2013 Building Information Modeling pubblicata dall'AIA (American Institute of Architects) del 2013 in cui si definisce LOD come "Level of Developement" e non come "Level of Detail". Questo perché un componente o un elemento che visivamente possono apparire come dettagliati, possono in realtà essere generici. Per la normativa americana quindi, il termine LOD è da riferirsi al livello di sviluppo necessario in relazione ai contenuti degli elementi del modello.

La scala LOD americana è suddivisa in 5 livelli progressivi che vanno da 100 a 500 definiti in base all'uso finale del modello ed è senz'altro quella che viene maggiormente impiegata.

- LOD 100: i componenti e gli elementi vengono rappresentati in maniera generica o con dei simboli. Le informazioni sono basilari.
- LOD 200: i componenti e gli elementi vengono rappresentati con quantità, dimensioni, forma, posizione e orientamento generici. All'elemento possono anche essere collegate informazioni non grafiche.
- LOD 300: i componenti e gli elementi vengono rappresentati con dimensioni, posizione e orientamento corretti e si interfacciano correttamente con gli

Figura 1.12: Esempio di LOD normativa statunitense. Fonte: https://bim.natspec.org/ images/NATSPEC\_Documents/ NATSPEC\_BIM\_LOD\_ Paper\_131115.pdf

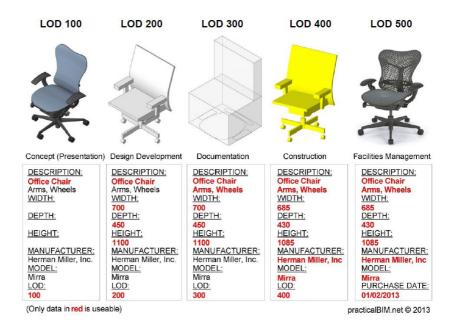


Figura 1.13: Esempio di LOD normativa statunitense, impianti. Fonte: https://bim.natspec.org/ images/NATSPEC\_Documents/ NATSPEC\_BIM\_LOD\_ Paper\_131115.pdf

LOD 100

**LOD 200** 

Conceptual	Approximate geometry	Precise geometry	Fabrication	As-built	
The Model Element may be graphically represented in the Model with a symbol or other generic representation, but does not satisfy the requirements for LOD 200. Information related to the Model Element (i.e. cost per square metre, etc.) can be derived from other Model Elements.	The Model Element is graphically represented in the Model as a generic system, object, or assembly with approximate quantities, size, shape, location, and orientation.	The Model Element is graphically represented in the Model as a specific system, object, or assembly accurate in terms of quantity, size, shape, location, and orientation.	The Model Element is graphically represented in the Model as a specific system, object, or assembly that is accurate in terms of quantity, size, shape, location, and orientation with detailing, fabrication, assembly, and installation information.	The Model Element a field verified representation accurate in terms of size, shape, location quantity, and orientation.	
	Non-graphic information may also be attached to the Model Element.	Non-graphic information may also be attached to the Model Element.	Non-graphic information may also be attached to the Model Element.	Non-graphic information may also be attached to the Model Element.	

LOD 300

**LOD 400** 

**LOD 500** 

- altri elementi del modello.
- LOD 400: i componenti e gli elementi vengono rappresentati con dimensioni, posizione e orientamento corretti, si interfacciano correttamente con gli altri elementi del modello e riportano dettagli relativi a fabbricazione, assemblaggio, installazione.
- LOD 500: i componenti e gli elementi rispecchiano fedelmente la realtà,
   è una rappresentazione verificata in cantiere in termine di dimensioni,
   forma, posizione, quantità ed orientamento.

In Italia, la normativa a cui facciamo riferimento è la UNI 11337 pubblicata nel 2009 (informazione, interoperabilità e identificazione univoca di un'opera del settore edile) e modificata ed ampliata poi nel 2017. Rispetto alla normativa statunitense, la normativa italiana definisce il LOD come "Livello di Sviluppo degli Oggetti Digitali" e il LOD viene diviso in LOG (Livello di Sviluppo degli Oggetti - attributi Geometrici) e LOI (Livello di Sviluppo degli Oggetti - attributi Informativi).

La scala LOD italiana è suddivisa in 7 livelli progressivi che vanno dalla A alla G e sono indicati con le lettere per essere distinti dai numeri impiegati dalla scala statunitense.

- LOD A: oggetto simbolico
- LOD B: oggetto generico
- LOD C: oggetto definito
- LOD D: oggetto dettagliato
- LOD E: oggetto specifico
- LOD F: oggetto eseguito
- LOD G: oggetto aggiornato

Per ciò che riguarda il caso studio che verrà esaminato in seguito e gli obiettivi finali da raggiungere attraverso lo sviluppo di questa tesi, i componenti e gli elementi del modello BIM devono essere definiti in maniera precisa sotto l'aspetto grafico e per ciò che riguarda la visualizzazione. Questo perché essendo il modello BIM utilizzato per la creazione di un Tour Virtuale, tanto più maggiore sarà la definizione dei dettagli e delle caratteristiche degli spazi tanto più sarà realistica e coinvolgente l'esperienza immersiva nel caso studio modellato ed analizzato. A tal proposito, è stato adottato un LOD 300 (coincidente con un LOD C/D della Normativa italiana) per la modellazione degli ambienti e delle aree che l'utente potrà navigare.

Figura 1.14: Esempio di LOD normativa italiana. Fonte: https://www.ingenioweb.it/18667-sistema-dei-loditaliano-uni-11337-4-2017

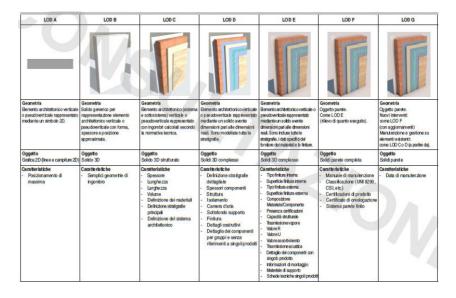
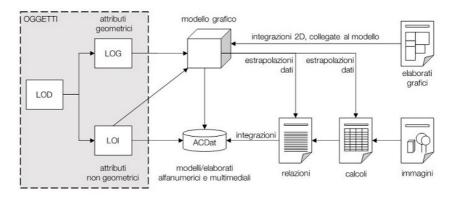


Figura 1.15: Flusso di dati nel processo digitale attraverso i LOD degli oggetti.
Fonte: https://www.ingenio-web.it/18667-sistema-dei-lod-italiano-uni-11337-4-2017



"Quando si riesce a portare qui dentro il proprio corpo, non si è più semplici osservatori, ma nativi"

Jaron Lanier

#### 1.6 VR - La Realtà Virtuale

Con il termine Realtà Virtuale si intende la creazione, attraverso software informatici, di una realtà simulata rappresentata in ambiente tridimensionale. All'interno di questo spazio virtuale creato digitalmente l'utente può muoversi liberamente e può esplorare ogni parte dell'ambiente che è stato riprodotto superando anche qualsiasi limite fisico.

Assieme alla possibilità di movimento viene mantenuta in queste riproduzioni della realtà (che cercano di essere il più fedeli possibili) anche l'esperienza sensoriale, con la stimolazione di con vista, tatto, udito e anche olfatto.

La realtà virtuale serve alla creazione di un ambiente digitale per cui non è necessaria una sincronizzazione con la realtà, visto che l'intero modello viene generato da un computer. Nel suo libro "L'Alba del Nuovo Tutto" Jaron Lanier afferma infatti che "La Realtà Virtuale permette di conoscere il mondo mediante un apprendimento di tipo senso-motorio, più naturale per l'essere umano rispetto all'apprendimento di tipo simbolico-ricostruttivo mediato dalla scrittura".

L'interazione tra utente e Realtà Virtuale avviene principalmente attraverso l'uso di Visori VR ed accessori sviluppati per vivere ed interagire all'interno di questi ambienti. Oltre ai visori, tra gli accessori più utilizzati troviamo guanti, auricolari, scarpe e joypad.

Dalla definizione di Realtà Virtuale, si possono individuare due categorie di VR:

- Realtà Virtuale non immersiva (desktop RV): in questo tipo di VR l'utente si trova davanti ad un monitor che riproduce il mondo tridimensionale con cui l'utente interagisce utilizzando specifici controller o joystick. In questo caso la VR non suscita una sensazione di coinvolgimento dato che l'ambiente creato non viene percepito come reale ma semplicemente riprodotto attraverso uno schermo.
- Realtà Virtuale Immersiva (RVI): in questo caso, l'utente risulta coinvolto e immerso nell'ambiente creato, in quanto gli sono permessi l'interazione con tutti gli oggetti ed il movimento libero al suo interno. Indossando un particolare visore l'utente si trova istantaneamente catapultato in un mondo virtuale parallelo e grazie all'utilizzo di speciali controller può interagire con tutti gli oggetti presenti al suo interno. Le azioni che si possono compiere sono innumerevoli e tra le più frequenti troviamo la camminata simulata, la presa ed il lancio di oggetti.

La tecnologia di VR può essere applicata a qualsiasi modello tridimensionale creato attraverso l'utilizzo del BIM. Grazie alla sua adattabilità, sta attualmente trovando applicazioni e riscontri positivi in molti ambiti e settori.

Uno dei campi in cui la VR viene maggiormente impiegata è il settore dell'edilizia e delle costruzioni. Una volta ultimata la progettazione, tramite l'utilizzo della VR è possibile vivere e visualizzare il modello finale e quindi interagire con esso. La possibilità di navigare il modello prima che vengano iniziati i lavori consente, per ciò che riguarda il design di interni, le ristrutturazioni o le nuove realizzazioni, di vivere gli spazi virtuali analoghi a quelli che saranno reali. Questo permette di compiere eventuali modifiche di progetto quando si è ancora nelle fasi iniziali, comportando così un'ottimizzazione di tempi e costi. Sempre nel mondo delle costruzioni, la VR viene utilizzata sempre più frequentemente nella simulazione delle fasi in un cantiere virtuale e nella simulazione della sicurezza. In questo caso, l'utilizzo della VR garantisce un controllo più efficace delle prescrizioni e una miglior valutazione dei rischi, oltre che una miglior gestione dell'addestramento del personale, una migliore formazione per la sicurezza dei lavoratori e prevenzione degli infortuni.

Anche in campo medico la VR sta trovando riscontri estremamente positivi, sia per ciò che riguarda l'aspetto puramente formativo, sia per quello terapeutico ed operativo. I principali campi di applicazione della VR in ambito medico riguardano la riabilitazione motoria e cognitiva, la terapia di disturbi psichiatrici e l'apprendimento in un contesto di simulazione.

Esistono poi svariati altri campi di applicazione della VR, come ad esempio la moda, in cui viene utilizzata prevalentemente come anteprima del prodotto finito; infine se ne fa largo uso nell'industria del gaming, in quanto nei videogiochi, per natura, l'utente è proiettato in realtà virtuali di infinite tipologie.

## 1.6.1 L'evoluzione della tecnologia

Seppur la Realtà Virtuale possa apparire come una tecnologia di recente sviluppo, la sua sperimentazione inizia nei primi anni della seconda metà del XX secolo, periodo in cui vengono creati e testati i primi visori.

Nel 1962 Morton Heilig inventò un prototipo da destinare alle sale giochi che chiamò Sensorama. Questo dispositivo meccanico rispecchiava la sua visione di "Experience Theater" o "Cinema Esperienza", un'immersione dello spettatore in ciò che accadeva nello schermo e un coinvolgimento di tutti i sensi in maniera realistica.

Un altro apporto fondamentale al settore della grafica computerizzata venne dato da Ivan Sutherland, che nella sua tesi di dottorato del 1963 sviluppò un programma informatico chiamato Sketchpad. Con questo programma mostrò come fosse possibile lavorare con immagini realizzate da un computer e visualizzate su uno schermo. Ci si serviva ovviamente ancora del fascio di elettroni, che scorreva avanti ed indietro per formare le immagini, e tutto ciò avveniva in dispositivi dotati di tubo catodico. Questa è considerata una delle più importanti demo informatiche di tutti i tempi. Qualche anno più tardi, nel 1965, lo stesso Sutherland inventa un nuovo visore, il cosiddetto "casco visore" che però venne realizzato solamente nel 1969, quattro anni dopo. Questo visore oggi viene chiamato Spada di Damocle e permetteva la visione di un mondo irreale ricreato al computer, che lo stesso ideatore chiamò mondo virtuale.

La nascita vera e propria del termine Realtà Virtuale VR risale al 1984, quando venne fondata la VPL Research da parte di Jaron Lanier, Start Up che mirava allo sviluppo ed all'implementazione della Realtà Virtuale.

Già nel 1984 vennero sviluppati da parte della VPL Research apparecchi per la realtà virtuale, tra cui il Reality Built for Two (RB2). Si trattava di una realtà virtuale costruita per due, dove i due soggetti interessati si vedevano reciprocamente sottoforma di Avatar. Era un sistema in cui più persone abitavano un mondo virtuale nello stesso momento. Nel 1992 Jaron Lanier abbandonò la VPL Research e si spostò in Microsoft. Altre importanti sperimentazioni di Realtà Virtuale vennero portate avanti negli anni successivi, tra le più significative si ricordano nel 1993 il visore VR Sega della Sega Corporation, nel 1995 il visore Virtual Boy della Nintendo. In entrambi i casi però, i risultati ottenuti non furono quelli sperati e la diffusione della VR venne accantonata in quanto non

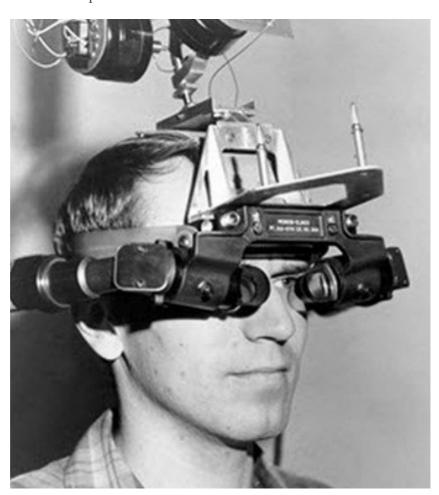
28

ancora ritenuta matura al punto giusto.

L'interesse verso queste tecnologie, tuttavia, continuava ad essere vivo e dopo diversi test, nel 2012, venne fondata da parte di Palmer Luckey la Oculus VR, che sviluppò il visore Oculus Rift. Questa volta l'interesse verso questo nuovo dispositivo fu elevatissimo ed i risultati soddisfacenti.

Il crescente interesse verso la VR ha portato, negli ultimi anni, ad avere sul mercato diversi dispositivi ottimizzati e di caratteristiche differenti, tra cui ad esempio l'HTC Vive, la piattaforma Playstation VR. Nel 2018 la compagnia cinese Kat VR ha sviluppato una versione compatta dell'ODT (Omni Directional Treadmill) che è un dispositivo che permette all'utente di camminare e muoversi con tutto il corpo all'interno di un mondo virtuale.

Figura 1.16: 1969 visore Spada di Damocle Fonte: https://www.tomshw.it/ altro/1965-la-spada-di-damocle/



#### 1.6.2 Strumenti di visualizzazione della VR

HTC Vive è il primo visore di Realtà Virtuale entrato in commercio nel 2016. Il set è dotato oltre al visore vero e proprio (headset) con i relativi cavi di collegamento, anche di due controller ricaricabili e di due lighthouse, ovvero due sensori di movimento per riprodurre la "room scale" nella propria stanza.



Figura 1.17: visore HTC Vive, messo sul mercato il 4 aprile 2016

Fonte: https://www.vive.com/eu/

Un altro esempio di tecnologia VR è rappresentato dal visore Oculus Rift. Anche in questo caso oltre al visore, il set è composto da due controller alimentati da Batterie di tipo AA e da due sensori ambientali che sono da posizionare all'interno della stanza e che riconoscono i movimenti del corpo grazie ad un sistema di rilevamento al laser. Al fine di rendere l'esperienza di realtà Virtuale più realistica e piacevole, il visore ha un ampio campo visivo pari a 100°, è dotato di giroscopio, accelerometro e magnetometro che consentono l'Head Tracking (spostamento dell'immagine seguendo il movimento del capo lungo i quattro assi cardinali. La frequenza delle immagini proiettate, per evitare una fastidiosa visione a scatti, deve essere compresa tra 60 e 120 fotogrammi per secondo.

L'ultimo dispositivo di VR è stato sviluppato da Samsung ed è il Samsung Gear VR. Anche in questo caso è un dispositivo indossabile, ma si differenzia dai precedenti principalmente per due motivi. Il primo è che non è un visore vero e proprio poiché viene utilizzato come visore uno Smartphone Samsung.

La seconda differenza risiede nel fatto che non è dotato di due controller come i due dispositivi sopra descritti (che permettono di controllare in maniera indipendente le due mani all'interno dell'ambiente virtuale) ma di uno solo. L'interazione del mondo virtuale avviene quindi da un singolo controller.

Figura 1.18: visore Oculus Rift, messo sul mercato il 28 marzo 2016

Fonte: https://www.oculus.com/ rift/?locale=it\_IT



Questi sono i principali dispositivi attualmente impiegati per la visualizzazione di ambienti di Realtà Virtuale. La scelta del dispositivo più adatto dipende ovviamente dagli obiettivi da perseguire. Per ciò che riguarda HTC Vive e Oculus Rift, oltre al set di VR, per una corretta e completa visualizzazione occorre una strumentazione di supporto, che in questo caso corrisponde ad un computer che deve avere determinati requisiti prestazionali. Nel caso invece del Samsung Gear VR, la strumentazione di supporto necessaria corrisponde allo Smartphone Samsung. Visti gli obiettivi della seguente tesi, al fine di utilizzare il modello per la realizzazione di un Tour Virtuale, la scelta del dispositivo da utilizzare è ricaduta sul visore Oculus Rift.

Figura 1.19: requisiti minimi/ consigliati del computer di supporto per la visualizzazione dell'ambiente di VR con il visore Oculus Rift

Fonte: https://www.oculus.com/ rift/?locale=it\_IT



## CAPITOLO 02 Il caso studio - La Centrale idroelettrica di Chiomonte

### 2.1 Inquadramento territoriale

Il caso studio preso in considerazione per lo svolgimento di questa tesi è, come già detto, la centrale idroelettrica di Chiomonte. Chiomonte è un piccolo paese di circa 900 abitanti situato in Val di Susa, facente parte della Città metropolitana di Torino. Il comune si trova a circa 770 metri sul livello del mare e gode di un ottimo panorama, interamente circondato dalle montagne, tra cui la più imponente e caratteristica è il Monte Rocciamelone, la cui punta arriva a 3538 metri slm.

Questa piccola parentesi, seppur apparentemente priva di significato, è utile per far comprendere immediatamente il contesto paesaggistico in cui si trova Chiomonte, dato che proprio la conformazione montana di questo territorio ha avuto negli anni, ed ha tutt'ora, un'importanza fondamentale per la produzione di energia idroelettrica. Mentre il comune si trova su un'altura ed è situato a 770 metri slm, l'impianto idroelettrico di Chiomonte è distaccato dal centro, sorge sulla sponda sinistra del fiume Dora Riparia ed è posto ad una quota di 650 metri slm. La centrale viene alimentata da due condotte forzate (che ad un certo punto si uniscono e diventano una sola) che partono dalla frazione Ramat situata ad un'altezza di circa 1000 metri slm (località che di solito non riveste particolare interesse, in quanto di dimensione davvero ridotta, ma che in questa trattazione ha importanza fondamentale per la comprensione e lo sviluppo del lavoro). Il dislivello presente proprio tra questa frazione e la centrale genera un salto di circa 325 metri.

Attualmente, il paese di Chiomonte si trova alla destra orografica del fiume Dora mentre inizialmente si trovava sul versante opposto della montagna; venne spostato a seguito di una disastrosa frana verificatasi precedentemente al '700 che lo distrusse in gran parte. La Dora Riparia è un corso d'acqua che ha origine dalle Alpi Cozie, in particolar modo nei pressi del comune di Cesana. Le sue sorgenti sono principalmente due, il Torrente Ripa e la Dora Piccola. Il letto del fiume non ha un andamento lineare e costante lungo il suo percorso; in determinati punti il corso d'acqua si allarga ed in altri si restringe. Questo fatto è molto importante in quanto queste variazioni sono dovute all'innesto

di Rii secondari, quali ad esempio il Rio Galambra che si immette nella Dora Riparia poco prima del comune di Susa e che è strettamente legato alla centrale idroelettrica di Chiomonte poiché influisce sull'attività idroelettrica della centrale di Susa.

I due impianti, di Chiomonte e di Susa, sono infatti strettamente legati in quanto l'acqua che viene turbinata nella seconda centrale in parte arriva da un canale che deriva verso Susa l'acqua di scarico del primo impianto. La Dora Riparia prosegue il suo percorso scorrendo verso il basso lungo tutta la Valle di Susa, raggiungendo poi nel suo tratto finale Torino ed immettendosi nel Po all' altezza del Parco Colletta.

Per dare un'idea della dimensione di questo corso d'acqua, la portata media annuale (espressa in metri cubi al secondo) è di circa 28.12 metri cubi. Pur essendo un fiume di dimensioni modeste, quest'ultimo riveste e ha rivestito, a partire dall'epoca romana, un'importanza fondamentale per lo sviluppo della città di Torino. Possiamo affermare che questo corso d'acqua è stato a lungo la principale fonte energetica della città ed è tutt'ora un'importantissima fonte per la produzione di energia elettrica.

## 2.2 Inquadramento Storico

Facendo un rapido excursus storico sulla città di Torino, sicuramente di fondamentale importanza per capire lo sviluppo dell'industria torinese avvenuto tra gli ultimi decenni del XIX sec e gli inizi del XX secolo, risulta essere il fatto che nel 1861 con la proclamazione di Vittorio Emanuele II Re d'Italia, Torino divenne Capitale del Regno d'Italia. La città mantenne questo status di Capitale del Regno fino al 1864, quando venne spostata a Firenze (che restò Capitale fino al 1871 per poi passare definitivamente a Roma, dove si trova ancora oggi).

Al momento della proclamazione a Capitale, Torino era una città in espansione, sia economica che, soprattutto, demografica; basti pensare che dai circa 90.000 abitanti del 1820 si era arrivati a circa 130.000 abitanti nel 1850 ed a circa 200.000 dell'anno 1864. Di questi ultimi, molti avevano un'attività lavorativa legata proprio al fatto che questa città fosse Capitale, quindi c'erano molti posti di lavoro nei Ministeri e negli uffici ministeriali. Con lo spostamento della

Figura 2.1: immagine satellitare estrapolata da Google Earth, si possono vedere (evidenziati in blu) dal basso verso l'alto i comuni di Salbertrand, Chiomonte e Susa. In alto a destra è stato segnalato il Monte Rocciamelone.

Fonte: https://www.google.it/intl/it/earth/

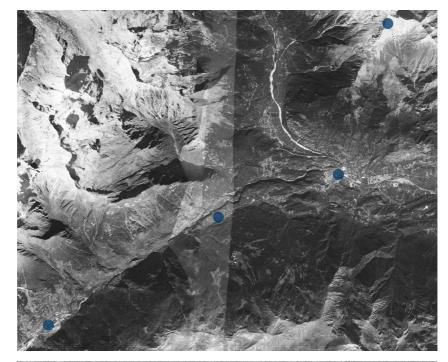
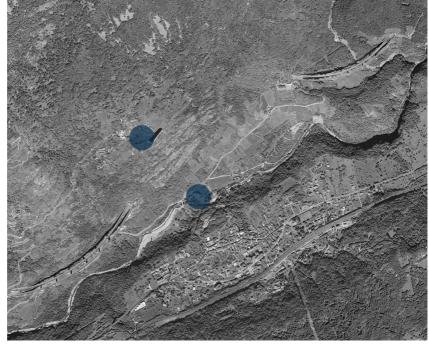


Figura 2.2: foto satellitare in cui è possibile vedere in basso a destra il Comune di Chiomonte. Dal basso verso l'alto sono state evidenziate la centrale idroelettrica (fabbricato motori) e la Frazione Ramat da cui partono le condotte forzate. Fonte: LARTU, Politecnico di

Torino



Capitale da Torino a Firenze la città piemontese ebbe come conseguenza una leggera regressione demografica (si passò dai 200.000 abitanti sopracitati ai 193.000 del 1870), oltre che alla perdita di importanza politica. Per reagire a questa situazione di difficoltà la città stessa iniziò un percorso alternativo che l'avrebbe proiettata prima, e portata in seguito, ad affermarsi come una grande realtà basata sull'industria.

A cavallo tra il XIX secolo e il XX secolo i settori industriali che erano maggiormente sviluppati erano rappresentati da quello tessile, da quello meccanico-metallurgico e dell'automobile, con la Società Officine Savigliano che la faceva da padrone nel metallurgico (fondata nel 1878) e la FIAT per ciò che riguardava il settore automobilistico (nata nel 1898).

Il primo nucleo industriale che si sviluppa a Torino nasce proprio tra due fiumi: la Dora Riparia ed il Po. Il continuo sviluppo industriale della città portò l'amministrazione comunale a sviluppare un numero sempre maggiore di considerazioni riguardo al fabbisogno ed alla richiesta di nuova forza motrice necessaria alla produzione da parte delle industrie. Si investì molto tempo e denaro su questo aspetto, tanto che, per non limitare lo sviluppo industriale della città, venne costruita in diversi anni una rete di canali idrici, che terminò nel 1864 con la costruzione del canale Ceronda. La realizzazione di queste infrastrutture garantiva una distribuzione omogenea sul territorio di canali da cui le industrie torinesi attingevano l'acqua necessaria alla produzione. Come riportato nel libro di Guido Bonicelli, si può stimare che la rete di canali torinese avesse uno sviluppo totale di circa 158 chilometri e fosse in grado di derivare una portata superiore ai 25 metri cubi al secondo.

Altre considerazioni importanti in questo senso vengono mosse sul fiume Po. Nel 1887 viene nominata una commissione da parte della Giunta comunale, per "studiare in quale modo viene utilizzata la forza motrice attuale e come potrebbe derivarsi quella del Po". Seppur di parvenza innovative, in realtà queste considerazioni erano già state fatte circa vent'anni prima, quando un Ingegnere francese, secondo le parole dell'Ingegnere Edoardo Piana "presentò un progetto per dotare di forza motrice la città di Torino proponendo di valersi della caduta dell'acqua del Po a mezzo di turbine installate sotto il Lungo-Po e di conseguente trasmissione telo-dinamica".

Intanto, in questi anni le città iniziano a dotarsi di impianti di illuminazione pubblica alimentati ad elettricità, ne sono due esempi sul territorio in questione Moncalieri e Torino (1887). Si iniziano a diffondere le prime piccole centrali

Figura 2.3: tabella che espone le tariffe applicate dall'Azienda Elettrica Municipale per la fornitura di energia elettrica per illuminazione.

Fonte: Archivio Storico della Città di Torino

## Tariffa per la fornitura di energia elettrica per illuminazione

#### I. - A CONTATORE

Per	Per consumi compresi per E.W.				W. O.					
	fra E	E.W. O.	- 0	e	3000	annui		,	L.	0,050
		**	3001	е	6000		×		22	0,048
		**	6001	e	9000					0,046
		2)	9001	e	12000	0.	8		-11	0,044
		**	12001	e	15000	. 11	×	,	30	0,042
	oltre	2 i -	15000							0,040

Per teatri e per stabilimenti industriali, per Opere Pie, Uffici pubblici, condizioni e prezzi speciali. - L'Azienda si incarica dell'esecuzione degli impianti interni, e l'utente potrà farne il pagamento a rate mensili. - Il ricambio delle lampadine di tipo normale a filamento di carbone è a carico dell'Azienda

#### 2. - A FORFAIT

Per le scale delle case di abitazione, androni, portierie, all'anno per candela, da L. 1,50 a L. 1,00

L'Azienda eseguirà gratuitamente gli impianti interni delle scale, delle portierie e degli androni, quando la polizza sia fatta per almeno 9 anni e comprenda almeno 4 lampade da 8 candele. Il ricambio delle lampadine, che verranno provviste esclusivamente dall'Azienda, è a carico dell'utente.

Per esercizi pubblici, all'anno per candela, da L. 2,00 a L. 1,50

## Illuminazione con lampade ad arco

Per illuminazione con lampade ad arco, condizioni speciali.

Le tasse governative e comunali sull'energia elettrica non sono comprese nei prezzi sovra indicati, e sono a carico dell'utente.

L'Azienda è pure in grado di fornire qualunque quantitativo di energia elettrica per forza motrice.

L'Azienda, a semplice richiesta, fornirà preventivi.

IL DIRETTORE
G. BISAZZA

idroelettriche nel Nord Italia, che seppur di dimensioni ancora molto ridotte, testimoniano in maniera chiara ed evidente il percorso e la scelta di puntare alla produzione di energia elettrica sfruttando l'acqua e soprattutto la morfologia del territorio, perfettamente rispondente a queste esigenze.

A supporto di questo percorso intrapreso e come incentivo, molto significative sono state le parole del Ministro Quintino Sella pronunciate in un discorso tenutosi al Senato nel 1870, che si legge di seguito:

"Quando considero che la caduta di un metro cubo di acqua dall'altezza di un metro durante un anno equivale ad una produzione annua di una miniera di carbon fossile di 150000 chilogrammi, io non posso non concludere che le nostre condizioni topografiche, per quanto riguarda la forza motrice, pongono l'industria italiana in condizioni abbastanza propizie sotto il punto di vista di poter lottare con l'estero; ed io credo che essenzialmente, per ciò che riguarda l'industria nostra, sia da desiderarsi che coloro i quali hanno tempo e capitali non manchino di dedicarvi l'opera loro e i loro fondi."

A queste importanti parole seguirono i fatti. Per dare un'idea dei crescenti investimenti in questo settore, si sappia che nel 1895 gli impianti elettrici esistenti sul territorio nazionale erano circa 1.250, di cui l'84% producevano energia per uso privato. Solamente tre anni più tardi, gli impianti elettrici esistenti risultavano essere circa 2.265, di cui l'82% producevano energia per l'uso privato. Di questi 2.265, circa 900 erano impianti idroelettrici, mentre i restanti o funzionavano a vapore o erano misti.

Dopo questo inquadramento di carattere più generale, si può scendere nel dettaglio per esaminare più da vicino ciò che riguarda la situazione energetica di Torino dei primissimi anni del XX secolo. Dalla Relazione del Sindaco (Conte Secondo Frola) redatta nel mese di Dicembre 1904 e reperita presso l'Archivio Storico della città di Torino, è stato possibile capire quale fosse la situazione del comune relativa alla fornitura di energia elettrica. La produzione e la vendita di energia elettrica torinese era gestita da due società private: Società Elettrica Piemontese (nata nel 1887 come Società elettrometallurgica di Pont-Saint-Martin, nel 1899 diventa Società industriale elettrochimica di Pont-Saint-Martin) e Società Elettrica Alta Italia. Di seguito, si riporta un paragrafo tratto proprio da questa relazione, in quanto estremamente esaustivo ed importante per capire il futuro proseguimento della questione elettrica torinese.

"Le due Società, Piemontese ed Alta Italia, con impianti idraulici ed a vapore, provvedono ora parecchie migliaia di cavalli vapore, che distribuiscono in parte come forza motrice ad opifici privati, in parte come forza per la trazione elettrica delle tramvie, ed in parte per l'illuminazione pubblica e privata. Siccome però la Società Piemontese acquista dalla Società Alta Italia parte dell'energia che essa distribuisce al Municipio per la pubblica illuminazione, così la Società Alta Italia viene di fatto a trovarsi nella fortunata condizione d'avere il monopolio per la vendita dell'energia dinamica in Torino, ed in questo monopolio sta la ragione del prezzo elevato della forza motrice, specialmente per la piccola industria, che si trova così paralizzata nel suo sviluppo normale. È necessario quindi diminuire il costo dell'energia, tanto più che si mantiene costante e sensibile il rialzo nel costo della mano d'opera; anche a questo intento deve mirare l'opera dell'Amministrazione comunale ovvero ad assicurare alle industrie attuali ed a quelle a venire l'energia di cui abbisognano".

Da queste parole si capisce bene l'importanza che la costante crescita del settore industriale riveste nello sviluppo di questa città, il quale può dipendere in positivo o in negativo principalmente da detta attività. Si osserva bene quindi allo stesso tempo il problema della sempre crescente domanda di forza motrice richiesta dal settore in questione, rapportata al costo esagerato a cui viene fornita dalle Società sopra citate. Ecco quindi che si inizia a ragionare sulla possibilità di avere un servizio di produzione e vendita di forza motrice ed elettrica gestita totalmente o in parte dal Comune.

Quest'ultimo, non avendo alcuna finalità di lucro, venderebbe assecondando la domanda a prezzi decisamente vantaggiosi ed evitando di causare eccessive difficoltà allo sviluppo delle piccole e medie industrie e creerebbe un certo vantaggio economico anche agli utenti privati. Con l'emanazione della Legge Giolitti n°103 del 29 marzo 1903 sull'assunzione diretta dei pubblici servizi da parte dei Comuni, il cui oggetto principale è riportato in seguito, si iniziò a ragionare in maniera concreta sulla possibilità di realizzare degli impianti di produzione gestiti per l'appunto dalle Pubbliche Amministrazioni.

"Rendere possibile in via normale e in forma organica l'assunzione diretta, da parte dei Comuni, dei pubblici servizi, collegando la gestione di essi alla costituzione di speciali organismi, che assicurino un esercizio e uno svolgimento dei servizi corrispondenti ai fini di utilità pubblica a cui ciascuna azienda deve servire".

Dopo diverse consultazioni con una specifica commissione nominata proprio dal Sindaco Secondo Frola, viene ritenuta conveniente la realizzazione di un impianto municipale per la distribuzione di forza motrice, complice anche l'imminente scadenza del contratto con le Società Piemontese ed Alta Italia (che continuerà ad esistere poiché acquista l'impianto della Val Cenischia).

A questo punto, quindi, viene acquisito dal Comune un progetto realizzato dalla Società Motor che prevedeva la realizzazione di un impianto completo da realizzarsi nel territorio di Chiomonte, alimentato da acque di caduta prelevate dal fiume Dora Riparia nel comune di Serre La Voute. La Società Motor implementò nel frattempo il progetto, e incluse la possibilità di una seconda derivazione della Dora Riparia tra Chiomonte e Susa. Per la decisione finale sull'assunzione o meno della gestione dei servizi da parte della Pubblica Amministrazione però, la legge sopra citata (n°103 29 marzo 1903) stabiliva che fossero gli elettori a dover dare il parere finale.

Nel 1905 venne quindi indetto un Referendum popolare al fine di prendere la decisione definitiva. La convocazione avvenne per il giorno 5 novembre 1905, ed il risultato fu quello sperato; i dati riportati nel libro di Domenico Garbarino parlano di 18.340 votanti di cui il 70% si espresse a favore dell'assunzione totale da parte del comune.

Per la conclusione totale di questa vicenda, mancava però ancora una parte: c'era la necessità costituire l'Azienda che avrebbe preso in gestione gli impianti. Con la deliberazione dell'8 febbraio 1907, nacque l'Azienda Elettrica Municipale di Torino, che si occupò della gestione di tutti gli impianti municipalizzati, tra cui quello oggetto di studio situato nel Comune di Chiomonte, che entrò in funzione nell'anno 1910.

CAPITOLO 02 41

Figura 2.4: manifesto<sup>7</sup> con l'induzione del Referendum del 05 novembre 1905 che porterà il Comune ad assumere l'esercizio diretto dell'impianto di produzione, trasformazione e distribuzione di energia idrotermoelettrica.

Fonte: Archivio Storico della Città di Torino



per l'assunzione diretta per parte del Comune dell'impianto per produzione, trasformazione e distribuzione di energia idrotermoelettrica

# Domenica 5 Novembre 1905

# LA GIUNTA MUNICIPALE

Che nelle sedute 11-23 gennaio 1905 il Consiglio comunale, nell'intento di procedere all'esecuzione di un piano di opere pubbliche, approvava, con duplice votazione a termin<del>i di</del> legge. l'emissione graduale negli anni dal 1905 al 1912 di un prestito per la somma complessiva di ventiquattro milioni di lire, da impiegarsi per nove milioni nella costruzione e nell'esercizio dell'impianto idrotermoelettrico municipale;

Che tale impianto fu progettato sulle basi seguenti: a) derivazione dalla Dora Riparia presso Salbertrand di 4000 litri d'acqua al minuto secondo, subordinatamente alle condizioni contenute nel disciplinare di concessione 9 novembre 1904, e mediante un canale che, partendo dal ponte sulla Dora presso la galleria Serre-la-Voute della ferrovia Torino-Modane, si spinge fino a Chiomonte: b) utilizzazione a Chiomonte, presso il ponte detto di Giaglione, del salto d'acqua così ottenuto, con produzione della forza effettiva di 12800 cavalli-vapore: c) trasporto e distribuzione dell'energia in Torino: Che lo scopo dell'impianto municipale è di fornire all'industria ed ai privati energia a buon

mercato ad uso di forza motrice e d'illuminazione;

Che sull'impianto progettato dal Comune diedero, a sensi di legge, il loro parere favorevole la Giunta Provinciale Amministrativa e la Commissione Reale, istituita colla legge 17 maggio 1900, n. 173, la quale, "ritenuta l'utilità di provvedere all'avvenire industriale di Torino, mediante l'assicurazione di forza motrice a prezzi di convenienza "ritenne "che l'utilità di consentirne al Comune la assunzione diretta del servizio manifestamente risulta dalla necessità di evitare accaparramenti e monopolii di fatto, regolando invece equamente con la disponibilità di una rilevante quantità di energia municipale i prezzi offerti dall'industria privata.

Veduto l'articolo 13 della Legge 29 marzo 1903, n. 103, sull'assunzione diretta dei pubblici servizi

per parte dei Comuni: Veduti gli articoli 92. 93. 94 e 95 del Regolamento approvato con Regio Decreto 10 marzo 1904. n. 108, per l'esecuzione della legge stessa;

In conformità della deliberazione 21 settembre scorso, munita del visto del Prefetto della Provincia in data 28 settembre ultimo;

#### NOTIFICA

Gli Elettori amministrativi di questo Comune sono convocati nel giorno di DOMENICA 5 NOVEMBRE 1905 per procedere alla votazione (Referendum) sulla seguente formula approvata dalla Commissione Reale pel credito comunale e provinciale in seduta 13 settembre 1905:

"L'Elettore intende che il Comune assuma l'esercizio diretto dell'impianto per produzione, " trasformazione e distribuzione di energia idrotermoelettrica nei modi e termini stabiliti dalla " deliberazione adottata dal Consiglio comunale in data (1-23 gennaio 1905? "

Gii Elettori davramo pronunciarsi per il 81 o per il 80 oulla formula predetta valendosi esclusiamente delle schede che saramo fornite dal Comme tarticolo 93 del des formula.

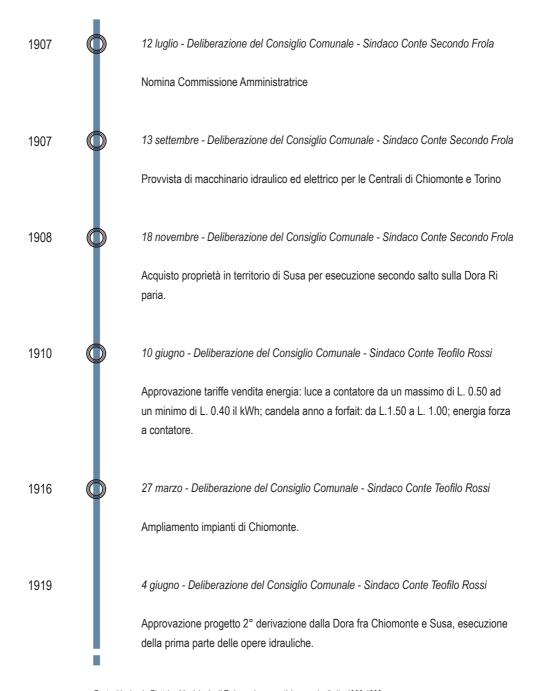
La distribuzione del certificito di servicione agli Elettori che non l'accessoro prima ricevate, sura fatta dalle ore 9 alle 17 e dalle 20,30 alle 22 nei giorni di martedit, nercolciale e gliovedi di oristorio controli e corrente. Le 2 prossimo noncombre nel Ulfacio le lelezioni piazzo piazzo di Citta n. 3, piano terzo e nei giorni di venereli e sabatto di estraturatore pure dalle ore 9 alle 27 e dalle 20,30 alle 22, nel salone di ingresso del Palazzo municipale. Vela domentica 3 normales giorni di venereli e sabatto di estraturatore avra longo aldiene di alle 18, nel predetto salone di ingresso del Palazzo municipale.

Vela domentica 3 normales giorni di venereli e sabatto di estraturatore avra longo aldiene di alle 18, nel predetto salone di ingresso del Palazzo municipale.

Vela domentica 3 normales giorni di venereli e sabatto di estraturatore della 18, nel predetto salone di estratorio della controli della controli della controli di estratorio della controli di estratorio della controli della controli di estratorio della controli della controli della controli della controli di estratorio della controli della controli della controli della controli di estratorio della controli della controli

## 2.3 Riassunto dei Principali Atti riguardanti l'Azienda

1903 23 dicembre - Deliberazione del Consiglio Comunale - Sindaco Conte Secondo Frola Approvazione in massima del concetto di provvedere direttamente con un potente im pianto municipale a dare a basso prezzo forza motrice per lo sviluppo della grande e della piccola industria ed a risolvere anche in molta parte la questione della pubblica e privata illuminazione. 1904 20 aprile - Deliberazione del Consiglio Comunale - Sindaco Conte Secondo Frola Acquisto del salto della Dora a Salbertrand e conseguente sub-ingresso della Città nella cessione ing. Guastalla e Società Motor, autorizzazione alla Giunta a compilare progetto particolareggiato, conto corrente passivo colla Cassa di Risparmio, vendita di stabili e di diritti di derivazione di acqua dall'ing. Agostino Nizzola. 1905 11 gennaio - Deliberazione del Consiglio Comunale - Sindaco Conte Secondo Frola Operazione finanziaria, mezzi per la costruzione e per l'esercizio dell'impianto idro elettrico. 1906 23 febbraio - Deliberazione del Consiglio Comunale - Sindaco Conte Secondo Frola Disciplinare di concessione al Municipio per la derivazione di 4000 litri d'acqua al sec ondo dalla Dora Riparia a Salbertrand, acquisto terreni per la Stazione ricevitrice dell'impianto idro-termo-elettrico. 1907 8 febbraio - Deliberazione del Consiglio Comunale - Sindaco Conte Secondo Frola Costituzione dell'azienda speciale, approvazione regolamento.



Fonte: L'azienda Elettrica Municipale di Torino nel suo venticinquennio di vita 1908-1933

#### 2.4 La Centrale Idroelettrica di Chiomonte

Come già accennato precedentemente, la centrale idroelettrica gestita dall'Azienda Elettrica Municipale di Torino oggetto di studio entra in funzione nel 1910.

Il complesso sistema idroelettrico è composto da diversi fabbricati ed opere accessorie. Nel paragrafo successivo andremo a elencarne e spiegarne in maniera dettagliata il funzionamento, oltre che ad esaminarne le tecnologie costruttive ed i particolari costruttivi.

Il primo progetto per la costruzione di questo impianto risale all'anno 1905. Il progetto era costituito da 10 fascicoli che comprendevano la relazione tecnica, la planimetria generale, il profilo longitudinale, le sezioni tipo, le opere alla presa, lo sfioratore e lo scaricatore, la camera di carico, il profilo longitudinale delle condotte forzate, il fabbricato motori e la perizia riassuntiva.

La realizzazione dell'edificio iniziò sulla base di questo primo progetto, anche se in realtà durante le fasi di costruzione vennero apportate numerose modifiche sostanziali e varianti rispetto al progetto iniziale. Nel 1910, venne presentato al Comune il progetto per la realizzazione di un locale adibito a magazzino con annesso spogliatoio dedicato ai lavoratori, oltre che alla realizzazione del locale adibito alle riparazioni di officina.

Il fabbricato motori nel primo progetto presentato era costituito da un edificio a pianta rettangolare dalle dimensioni approssimate di 15 metri di larghezza e 68 metri di lunghezza. L'edificio era previsto a due piani, un piano seminterrato dedicato ai locali di servizio (e di aerazione per il raffreddamento dei gruppi) ed al passaggio delle condotte oltre che ai basamenti per le turbine, e da un piano fuori terra a tutt'altezza (circa 15 metri in corrispondenza del colmo) in cui erano installati i gruppi generatori, gli alternatori ed il carro ponte necessario allo spostamento di questi ultimi.

L'ampliamento del 1910 citato precedentemente prevedeva l'aggiunta di un corpo rettangolare nella parte Nord-Est dell'edificio, dalle dimensioni di 11 metri di lunghezza e 8 di larghezza, di un solo piano fuori terra con altezza di 4 metri e coperto da un solaio piano.

Per il completamento del fabbricato motori era prevista inoltre la realizzazione di un secondo corpo di fabbrica a pianta rettangolare, di dimensioni di 10 metri di larghezza e 24 di lunghezza e con 5 piani fuori terra addossato in maniera

centrata al corpo sopra descritto verso il lato Est.

Questa nuova realizzazione a torre era destinata all'attività di uffici e amministrazione dell'impianto, oltre che a contenere le boccole isolate ad alta tensione legate ai due trasformatori e necessarie per facilitare l'immissione dell'energia elettrica nelle due reti di distribuzione che vengono utilizzate ancora oggi. Era inoltre prevista la realizzazione di un terzo corpo fabbrica di dimensioni di 15 metri di larghezza e di 8 metri di lunghezza con due piani fuori terra e con copertura piana da addossarsi anche in questo caso centralmente al lato Sud della centrale.

Nel 1914 venne poi presentato in Comune un secondo progetto per l'ampliamento della centrale, redatto dall'Ingegnere Bornati. Questo intervento prevedeva l'installazione di un nuovo gruppo generatore (il gruppo n°5, attualmente in disuso ma ancora fisicamente presente all'interno della centrale) e la realizzazione della terza condotta forzata, che venne poi dismessa ma che è ancora presente fisicamente e visibile sia all'esterno che all'interno della centrale. I lavori di ampliamento vengono autorizzati nel 1916 e vengono terminati nel 1921. Da questo momento in poi la centrale non subisce più nessun tipo di intervento riguardante il fabbricato, ma verranno effettuati solamente dei lavori di potenziamento delle acque dal Torrente Galambra nel 1934 e l'anno successivo, nel 1935, verranno modificate alcune turbine al fine di aumentarne la potenza e quindi la produzione di energia elettrica.

Intorno agli anni '40 venne inoltre realizzato il bacino di accumulo in Frazione Ramat, con una capacità di accumulo di circa 21.000 metri cubi d'acqua. Importante inoltre dire che nel 1917 il Comune decise di iniziare la costruzione anche di un secondo impianto idroelettrico (quello di Susa) al fine di aumentare la produzione di energia. Questo impianto è strettamente legato a quello di Chiomonte in quanto l'acqua di restituzione proveniente dalla centrale di Chiomonte viene ancora oggi direttamente immessa nei canali di derivazione che la portano alle condotte della centrale di Susa.

Durante i lavori per la realizzazione della seconda derivazione della Dora, venne costruito uno sbarramento appena a valle della centrale di Chiomonte, per permettere la derivazione di acqua proveniente dalla Dora Riparia da portare a Susa ed aggiungersi quindi a quella di restituzione proveniente della centrale. I lavori iniziano nel 1919 e la centrale di Susa diventa a tutti gli effetti operativa nel 1923.

Attualmente entrambi gli impianti sono sottoposti a lavori di ristrutturazione

che prevedono la sostituzione dei gruppi generatori. Per ciò che riguarda la centrale di Susa, è in corso l'installazione di due gruppi turbina di tipo Francis, mentre per ciò che riguarda Chiomonte, sono in fase di installazione due gruppi turbina Pelton. La differenza dei gruppi turbina impiegata è dovuta unicamente alla grossa differenza di dislivello delta esistente tra il salto delle condotte forzate di Susa che è circa 120 metri e quelle di Chiomonte di circa 325 metri.

Esistono attualmente diverse tipologie di gruppi turbina generatori che vengono installati negli impianti per la produzione di energia idroelettrica. Le tre tipologie più comunemente impiegate sono la Turbina Kaplan, la Turbina Francis e la Turbina Pelton. Ovviamente queste tre hanno caratteristiche totalmente differenti le une dalle altre e la scelta di utilizzare un tipo di turbina piuttosto che un altro dipende principalmente dal salto che si ha a disposizione e dalla portata da sfruttare.

La Turbina Kaplan viene utilizzata solitamente quando si ha a disposizione un salto molto ridotto (fino a 50 metri). Queste turbine sono quindi particolarmente indicate per le centrali ad acqua fluente poiché sfruttano la grande portata dei fiumi. Le Turbine Francis invece sono adatte negli impianti idroelettrici a salto medio (considerato un salto tra 10 metri e 350 metri) mentre le Turbine Pelton sono impiegate negli impianti idroelettrici a salto grande (salto compreso tra 50 metri e 1300 metri). Queste turbine sono quelle impiegate principalmente negli impianti idroelettrici di montagna dove si sfruttano i grandi salti ma dove le portate sono decisamente ridotte. A differenza delle Turbine Pelton, in cui la velocità dell'acqua all'uscita dalle pale risulta essere praticamente nulla e quindi anche la pressione interna alla cassa di copertura della turbina risulta essere pressoché nulla (per questo motivo la cassa di copertura è costituita da lamiere di spessore ridotto), nelle Turbine Francis la pressione interna risulta essere invece molto elevata poiché che l'acqua si muove come se fosse in una condotta a pressione. La cassa di copertura avrà quindi, per questi motivi, una struttura molto più massiccia ed ingombrante rispetto alla precedente tipologia.

Figura 2.5: Turbina Francis installata nella centrale idroelettrica di Susa. Si può notare il notevole ingombro della cassa a spirale, oltre al collettore dello scarico assiale delle acque turbinate. In basso si nota il condotto di alimentazione della turbina.

Fonte D.P.: fotografia scattata durante il sopralluogo.



Figura 2.6: Turbina Pelton installata nella centrale idroelettrica di Chiomonte. Si può notare la cassa della turbina oltre ai due ugelli di iniezione. Lo scarico delle acque turbinate non è visibile in quanto avviene in basso.

Fonte D.P.: fotografia scattata durante il sopralluogo.



## 2.4.1 La planimetria di progetto

Il processo di produzione di energia idroelettrica dell'impianto di Chiomonte, in realtà inizia una decina di chilometri più a monte, a Serre La Voute, dove sono state realizzate delle opere necessarie per prelevare l'acqua dalla Dora Riparia. I manufatti in questione sono le cosiddette opere di presa (di cui parleremo approfonditamente nel paragrafo successivo). Attraverso questi manufatti l'acqua viene derivata in un canale di derivazione che la porta fino alla centrale di Chiomonte (passando per la camera di carico in Località Ramat).

Come si legge nel progetto particolareggiato delle opere idrauliche contenuto nel progetto iniziale della centrale (risalente al 1905), la lunghezza totale prevista del canale di derivazione era di circa 8350 metri e si sviluppava con una pendenza costante pari al 2 per mille. Quest'ultimo si sviluppava per 4120 metri all'interno di gallerie e per i restanti 4230 metri o a cielo scoperto oppure coperto in maniera artificiale.

Come si vede molto chiaramente dalla planimetria presentata, il tracciato di detto canale si sviluppava inizialmente per il primo tratto all'interno della montagna, perpendicolarmente rispetto alle opere di presa. Il primo tronco di canale si sviluppava quindi interamente in galleria. Lungo il suo sviluppo vennero progettati tre sfioratori con annessi canali di scarico, necessari allo sversamento delle acque superflue del canale di derivazione all'interno del vicino Rio Pontetto, che dopo essere stato adeguatamente sistemato riportava le acque di scarico nel letto della Dora.

La concessione iniziale di derivazione permetteva all'Azienda Elettrica Municipale di derivare un massimo di 6 metri cubi ogni secondo di acqua dalla Dora. Inizialmente quindi il canale aveva una portata di 6 metri cubi. Alla scadenza della concessione di derivazione e dopo il conseguente rinnovo da parte di Valle Dora Energia (Iren S.p.A. avvenuto recentemente), la portata massima di derivazione stabilita è di 3 metri cubi di acqua. Con la portata iniziale, l'impianto di Chiomonte aveva una potenza installata di circa 15 MWh, mentre quella dell'impianto di Susa era di 12 MWh, per un totale di 27 MWh. Dagli elaborati di questo primo progetto è possibile inoltre vedere come sia le opere di presa che il tracciato dell'intero canale derivatore fossero inizialmente previsti sulla sponda sinistra della Dora. Ben presto però, ci si accorse di alcune gravi problematiche da risolvere, soprattutto di ordine statico e strutturale.

Figura 2.7: tracciato planimetrico del canale di derivazione partendo dalle opere di presa a Serre La Voute. Si può vedere come secondo questo progetto iniziale del 1905 il canale doveva svilupparsi interamente lungo la sponda sinistra della Dora Riparia (linea tratteggiata rossa). Fonte: Archivio Storico della Città di Torino

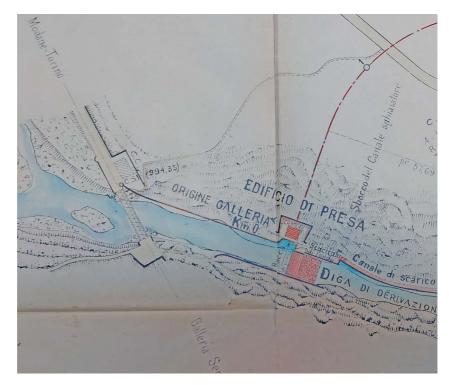
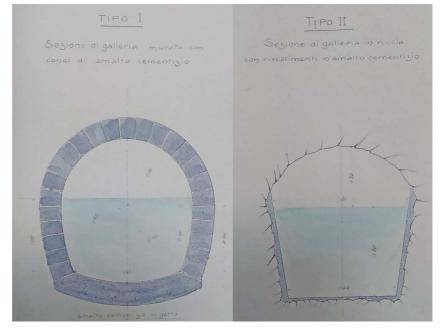


Figura 2.8: sezioni del tratto di canale derivatore che si sviluppa in galleria.

Sezione TIPO 1: sezione di gallleria murata con conci di smalto cementizio.

Sezione di TIPO 2: sezione di galleria in roccia con rivestimento di smalto cementizio.

Fonte: Archivio Storico della Città di Torino



A causa della composizione e della scarsa consistenza del terreno, in alcuni tratti in cui era prevista la realizzazione del canale scoperto, al fine di garantire una maggior stabilità e durabilità dell'opera nel tempo, vennero apportate delle varianti significative al tracciato originario. In alcuni casi il canale venne fatto passare internamente alla montagna accantonando l'idea del canale scoperto, in quanto la sua costruzione su terreni poco compatti e di notevole inclinazione avrebbe comportato delle difficoltà sia in termini costruttivi sia un aumento spropositato dei costi di costruzione.

In altri casi le modifiche furono radicali. Nel primo tratto di canale, ovvero quello riguardante il tronco della Galleria Fenils, sempre a causa di continui problemi statici che interessavano la struttura (nonostante i numerosi tentativi di rinforzare le strutture) dovuti alla consistenza del terreno (si verificarono anche delle frane che compromisero l'utilizzo del canale), si decise di stravolgere il tracciato di progetto, spostando le opere di presa ed il primo tratto di canale dal lato sinistro della Dora a quello destro. Questa variante permise di bypassare uno dei più grossi problemi sorti durante le fasi di cantiere; il nuovo canale derivatore di destra venne poi ricollegato al canale realizzato su sponda sinistra attraverso l'utilizzo di una tubazione a sifone che attraversa, sollevata da un ponte ad arco, la Dora Riparia.

Come già detto precedentemente il sistema costruttivo del canale non è uguale lungo tutto il tracciato poichè realizzato in diverse tipologie aventi però, ovviamente, tutte la stessa sezione interna al fine di garantire una portata d'acqua e una velocità di scorrimento costante.

La realizzazione dei tratti di canale in galleria avviene attraverso l'utilizzo di due tipi di sezioni differenti: il primo consiste nello scavare direttamente il canale nella roccia e poi rivestire le pareti di smalto cementizio con la finalità di generare una superficie di scorrimento liscia; il secondo tipo consiste invece nell'ottenere una sezione di galleria murata con conci di smalto cementizio, sempre con le pareti rivestite in smalto cementizio. In altri casi viene realizzata una platea in calcestruzzo su cui insistono i piedritti in muratura di pietrame e calotta in muratura di conci di smalto cementizio. Alle volte, la calotta può essere sostituita da volte in calcestruzzo o da solette piane in calcestruzzo armato. Per le tratte scoperte, il canale viene realizzato partendo da una fondazione in calcestruzzo, il fondo del canale viene realizzato con una soletta in calcestruzzo armato e piedritti in muratura di pietrame.

## 2.4.2 Le Opere di Presa

Le opere di presa rivestono per il funzionamento di un impianto idroelettrico un'importanza enorme, soprattutto per due motivi. Il primo è sicuramente il fatto che è da queste opere che viene prelevata e derivata l'acqua che poi giungerà alla centrale dove verrà turbinata per la produzione di energia elettrica. Il secondo motivo di pari importanza riguarda le operazioni di pulitura dell'acqua da turbinare. Essendo la Dora Riparia un fiume molto ricco di sedimenti limacciosi oltre che sabbiosi, se questi non fossero tempestivamente rimossi dall'acqua da turbinare i gruppi generatori subirebbero notevoli danni causati dallo sfregamento con questi inerti di sottilissime dimensioni, provocandone l'usura. Si capisce bene quindi l'importanza di riuscire a turbinare solo l'acqua pulita e senza la presenza di queste particelle in sospensione.

Le opere di presa sono state progettate a Serre La Vôute (località del comune di Salbertrand) situata una decina di chilometri più a Nord di Chiomonte e la cui altezza sul livello del mare è di circa 1000 metri.

La realizzazione delle opere di presa è stata decisa in questo luogo prevalentemente per il significativo restringimento del letto del fiume, che comportò una notevole facilitazione della realizzazione delle opere di sbarramento. La diga di derivazione è realizzata in muratura ed è composta da due parti: la parte stabile che è rivestita da moloni in pietra da taglio e che ha la funzione di creare un impedimento al naturale scorrimento dell'acqua facilitandone l'accumulo a monte dello sbarramento e la parte mobile invece consiste in paratoie metalliche della stessa larghezza della parte stabile ed azionabili in qualunque momento da specifici argani meccanici.

Queste paratoie hanno la funzione, quando abbassate, di aumentare l'altezza dello sbarramento. L'acqua che si è così accumulata a monte dello sbarramento, potrebbe a questo punto sembrare pronta per essere derivata nel canale che la porterà fino alle centrali dove verrà turbinata. Come già accennato prima però, deve essere ripulita dagli inerti presenti al suo interno. Per raggiungere una pulizia dell'acqua ottimale, sono previste diverse fasi di pulitura. Attraverso un sistema a griglia molto grossolano posto all'ingresso della presa, viene inizialmente ripulita dagli inerti di grosse dimensioni, quali ad esempio tronchi d'albero o ramaglie. Successivamente, l'acqua passa attraverso un canale dissabbiatore la cui soglia di ingresso, per evitare che ciottoli o ghiaietto vengano trasportati al

Figura 2.9: pianta al piano della Diga delle opere di presa di Serre La Voute.

La rappresentazione in pianta permette di vedere la diga di sbarramento per l'accumulo di acqua, il canale scaricatore di fondo, l'ingresso del canale dissabbiatore ed infine a sinistra l'ingresso del canale derivatore che porta l'acqua pulita da turbinare più a valle

Fonte: Archivio Storico della Città di Torino

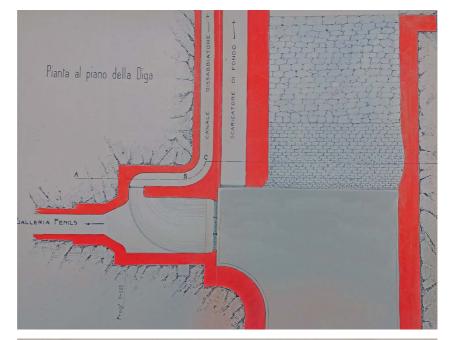


Figura 2.10: prospetto delle opere di presa e la sezione della diga di sbarramento della Dora Riparia.

Fonte: Archivio Storico della Città di Torino



suo interno dall'acqua, si trova ad una quota rialzata rispetto al fondo del fiume (si crea in questo modo un dislivello che fa da sbarramento).

A questo punto, restano da eliminare il limo e la sabbia presenti. Per fare ciò, l'acqua già presente nel canale dissabbiatore viene trasferita al canale di derivazione mediante lo sforamento progressivo da diversi setti che hanno la funzione di impedirne e facilitarne la sedimentazione. All'ingresso di questi canali sono presenti delle paratoie che sono azionabili attraverso degli argani (che in principio erano manuali mentre oggi sono automatizzati) e servono per gestire il flusso d'acqua che attraversa queste opere.

Il canale scaricatore di fondo, invece, serve per mantenere pulito il fondo del torrente a monte dello sbarramento. Quando troppi detriti si sono depositati sul fondo viene sollevata una paratoia; l'acqua accumulata si incanala a gran forza in questo canale trascinando con sé tutti gli inerti depositati e riversandoli più a valle nel letto del fiume. Lo stesso insieme di opere viene realizzato nel 1919 appena a valle dell'impianto di Chiomonte, per mettere in funzione anche la seconda derivazione della Dora attraverso la realizzazione della centrale di Susa.

## 2.4.3 Camera di carico, sfioratori e bacino di accumulo

Passo dopo passo l'acqua pulita da turbinare si sta man mano avvicinando alla centrale, prima però deve ancora passare attraverso le camere di carico.

L'acqua precedentemente pulita ed immessa nel canale derivatore, dopo un percorso di quasi 8 chilometri, giunge finalmente alla Frazione Ramats, situata a circa 1000 metri sul livello del mare. Nell'ultimo tronco di canale derivatore, in corrispondenza proprio delle camere di carico, la sezione dello stesso si allarga notevolmente. Questo perché vengono realizzati degli sfioratori ed un bacino che raccorda l'arrivo del canale alla camera di carico. Quest'ultima consiste di fatto in una grossa vasca posta sotto alla quota del terreno da cui partono le condotte forzate che porteranno l'acqua da turbinare direttamente ai gruppi turbina della centrale.

Provando a spiegare in maniera più chiara questi ultimi passaggi, l'acqua contenuta nel canale derivatore non viene immessa direttamente nella camera di carico, ma dal canale attraverso uno sfioratore (nel disegno il n°2) riempie un

bacino sottostante (il ciglio sfiorante dello sfioratore è posto a circa 25 centimetri sotto il pelo normale dell'acqua del canale, in questo modo, grazie anche alla sua lunghezza, riversa nel bacino la portata esatta di 3 metri cubi) che è direttamente collegato alla vasca di carico. Sono poi presenti altri due sfioratori; il primo (nel disegno il n°1) è posto a monte dello sfioratore di cui abbiamo parlato prima e non è collegato al bacino. Questo, avendo il ciglio sfiorante posto alla stessa quota del pelo dell'acqua serve per evitare che venga immessa nell'ultimo tratto del canale e quindi nel bacino (poiché collegati) una quantità d'acqua superiore al consentito. L'ultimo sfioratore (nel disegno il n°3) è realizzato nella parete destra del bacino.

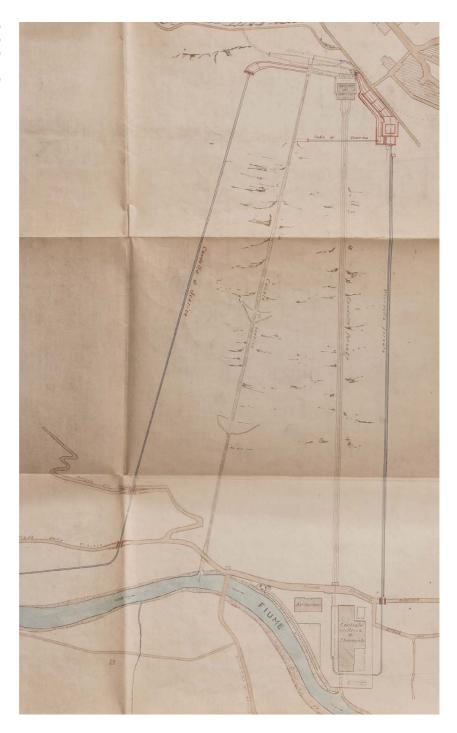
Per capirne il funzionamento è necessario sapere che all'interno della camera di carico, in corrispondenza dell'ingresso nelle vasche di carico, sono presenti delle paratoie che in caso di emergenza (ad esempio problemi ai gruppi generatori della centrale) vengono abbassate ed interrompono il flusso dell'acqua. A monte però, il bacino d'arrivo continua ad essere alimentato dal canale. Attraverso lo sfioratore l'acqua in eccesso viene così svasata e incanalata in una condotta di scarico che la riporta in Dora. Anche le vasche di carico sono dotate di una piccola condotta direttamente collegata a quella di scarico appena citata.

La costruzione della terza camera di carico risale al 1921; in quanto opera legata alla realizzazione della terza condotta forzata, venne realizzata nell'ambito di quei lavori di ampliamento dell'impianto (installazione del 5°gruppo turbina). Dalle due camere di carico originarie partivano due condotte forzate che correvano parallele fino alla centrale ed alimentavano i gruppi 1 e 2. Oggi le due condotte ad un certo punto si uniscono e diventano una sola. Dalla camera di carico realizzata nel 1921 parte invece una sola condotta che in origine alimentava il gruppo 5 e che oggi non è più utilizzata.

Le condotte sono in acciaio ed hanno un diametro di 1.10 metri. Sono inizialmente unite tramite chiodatura e lungo il loro sviluppo, a causa dell'elevata pendenza sono sollevate ed ancorate alla parete grazie alla realizzazione di supporti in calcestruzzo armato, o pietra nei punti di minor pendenza. Con gli attuali lavori di ristrutturazione e sostituzione dei macchinari, le condotte sono in parte state sostituite e vengono unite con l'utilizzo della saldatura.

Figura 2.11: planimetria delle opere di carico. Sono inoltre visibili tutte le condotte e la terza condotta forzata.

Fonte: Archivio Storico Iren Energia S.p.A.



#### 2.4.4 II Fabbricato Motori

Siamo arrivati a questo punto alla descrizione dell'edificio fulcro della centrale. Il fabbricato motori è il cuore vero e proprio della centrale, luogo in cui avviene la produzione dell'energia elettrica.

L'edificio viene realizzato sulla sponda sinistra della Dora Riparia ed è composto da due volumi principali; il primo di due piani (uno interrato e uno fuori terra) che ospita i gruppi idroelettrici oltre che gli alternatori ed ha dimensioni di 15 metri di larghezza e 68 di lunghezza, mentre il secondo volume di sei piani (di cui uno interrato e cinque fuori terra) ospitava inizialmente gli uffici ed i locali di amministrazione, oltre che le due stazioni di trasformazione con le relative apparecchiature. Attualmente rimangono nella torre solamente le due stazioni di trasformazione, mentre le apparecchiature e gli uffici sono stati smantellati.

A questi due volumi principali se ne aggiungono poi altri più piccoli, tra cui un locale adibito a magazzino e spogliatoio di un piano fuori terra ed un locale di due piani fuori terra addossato alla parete Sud della sala motori destinato alla sala quadri. Questo spazio è stato allestito al secondo piano e gode di un'ottima visuale sulla sala motori grazie all'installazione di un'enorme parete vetrata con montanti in acciaio che si affaccia proprio su questo spazio.

Il sopralluogo effettuato sul sito mi ha permesso di poter descrivere in maniera precisa le caratteristiche costruttive dell'edificio. Mentre gli spazi adibiti a magazzino e alla sala quadri sono stati coperti mediante l'utilizzo di un semplice solaio piano in calcestruzzo armato, la copertura dei due volumi principali è molto caratteristica. Il tetto è di tipo a padiglione, il cui manto di copertura è in tegole piane. Essendo la larghezza della sala motori molto ampia e la pianta della stessa priva di pilastri in corrispondenza del colmo, per il sostegno della copertura si sono utilizzate delle capriate a traliccio in acciaio, unite mediante chiodatura. Il soffitto era a vista e costituito da tavoloni in legno di larice. Le murature perimetrali dell'edificio sono portanti e sono realizzate verosimilmente in pietra e calce, con una doppia cintura di mattoni ed intonacate. Nel lato interno della sala motori, lungo il perimetro del locale, sono stati realizzati dei pilastri in calcestruzzo al solo scopo di creare degli appoggi per le travi a IPE necessarie all'installazione di una gru per lo spostamento dei gruppi idroelettrici.

La sala macchine risulta essere molto luminosa così come il resto dell'edificio,

in quanto sono presenti un gran numero di aperture, che si dispongono su due livelli. Proprio le aperture rappresentano un elemento di differenza rispetto al progetto originario; infatti inizialmente si era previsto l'utilizzo di una sola fila di finestroni di grosse dimensioni. A causa delle avverse condizioni climatiche del luogo (vento forte in parecchi giorni dell'anno) il progetto venne modificato e si applicò questa soluzione alternativa. Gli infissi sono in vetro e acciaio a doppia anta, con i davanzali e le soglie esterne in pietra. All'esterno le finestre sono decorate con delle cornici che si ripetono in tutte le aperture e all'imposta della copertura.

Guardando al progetto iniziale della centrale presentato nel 1905, dalla planimetria possiamo vedere come in origine fosse prevista l'installazione di dieci gruppi idroelettrici Pelton di cui sette di grosse dimensioni e tre di riserva aventi dimensioni molto più ridotte. Ebbene questa configurazione non venne mai realizzata. La centrale arrivò infatti ad avere, nel 1921 con l'installazione del quinto gruppo idroelettrico e la realizzazione della terza condotta forzata, al massimo cinque gruppi turbina. Attualmente il quinto gruppo è in disuso benchè ancora presente all'interno della sala macchine. Con gli attuali lavori di ristrutturazione in corso si stanno installando due nuovi gruppi idroelettrici di tipo Pelton.

Figura 2.12: pianta del piano terreno del fabbricato motori del progetto iniziale del 1905. Sono visibili i 10 gruppi turbina inizialmente previsti e mai installati.

Fonte: Archivio Storico della Città di Torino

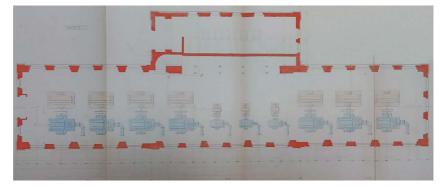
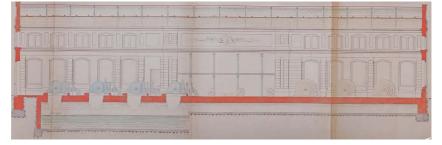


Figura 2.13: sezione del fabbricato motori del progetto iniziale del 1905. Sono visibili i 10 gruppi turbina inizialmente previsti e mai installati.
Fonte: Archivio Storico della Città di Torino



# CAPITOLO 03 Metodologia

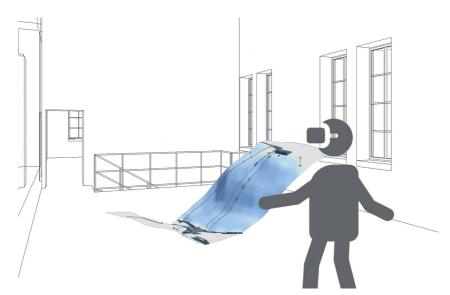
## 3.1 Casi d'uso del modello

Una volta definiti gli obiettivi più generali della tesi, si è poi proceduto ad individuare altri possibili utilizzi del modello utili per la sua totale comprensione e per l'implementazione del contenuto informativo. I casi d'uso così individuati sono cinque e si possono osservare e ci si può interagire utilizzando il visore di Realtà Virtuale Oculus Rift.

Il primo caso d'uso consiste nell'installazione di un modellino in scala ridotta all'interno della centrale modellata virtualmente con cui l'utente potrà interagire. Attraverso l'utilizzo di una palette di colori, vengono messe in evidenza le diverse parti ed opere accessorie che compongono l'intero impianto idroelettrico. Ogni parte verrà quindi nominata e ne verrà brevemente illustrato il suo funzionamento. Analogamente, verrà installato un secondo modellino con la funzione di mettere in evidenza le diverse fasi di costruzione dell'opera, al fine di poter avere un quadro storico sull'evoluzione dell'impianto idroelettrico.

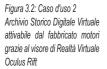
Figura 3.1: Caso d'uso 1

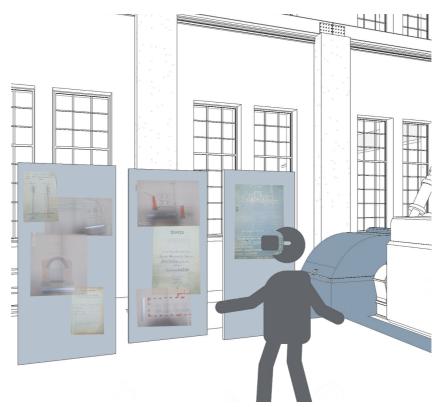
Modellino delle funzioni
collocato nella scena virtuale
della centrale, visibile attraverso
l'utilizzo del visore Oculus Rift



Il modello virtuale della centrale potrà inoltre essere utilizzato come Database per la conservazione e la consultazione degli elaborati storici dell'edificio. In questo caso si tratterà di un archivio storico digitale a cui il visitatore potrà accedere interagendo con determinati elementi virtuali presenti all'interno dell'ambiente fittizio. L'utente, avvicinandosi infatti ad una Turbina Pelton, avrà accesso ad una serie di elaborati storici riguardanti sia la storia e la costituzione dell'Azienda Elettrica Municipale (tra cui verbali, delibere e relazioni tecniche) sia la costruzione vera e propria del fabbricato e delle sue pertinenze, come ad esempio i disegni originali del primo progetto risalente al 1905 oltre che ai progetti dei successivi interventi. In questo modo sarà possibile ripercorrere dall'interno le principali tappe che hanno portato alla realizzazione di questa complessa industria idroelettrica.

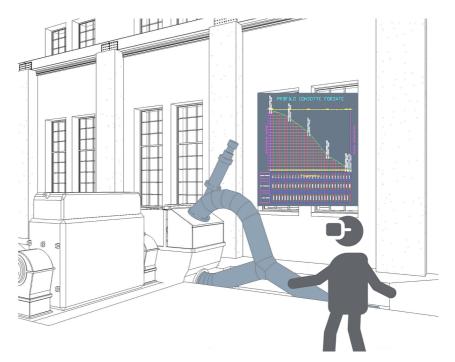
Gli elaborati grafici presenti in questa sezione sono stati reperiti durante la fase di ricerca del materiale in parte presso gli Archivi di Stato e quelli Storici della Città di Torino ed in parte negli Archivi fisici ed online di Iren Energia S.p.A.





Il terzo caso d'uso sviluppato riguarda la creazione del profilo longitudinale delle condotte forzate che portano l'acqua da turbinare dalla camera di carico situata in Frazione Ramat al fabbricato motori in cui sono installati i due gruppi turbinaalternatore di tipo Pelton, sostituiti durante gli ultimi lavori di ristrutturazione della centrale. Una volta modellati tridimensionalmente il terreno, le condotte e gli edifici, attraverso l'utilizzo del software Autodesk Civil 3D è stato possibile ottenere automaticamente il profilo in questione. Infatti, importando in Civil 3D le curve di livello del pendio in formato DXF ottenute grazie al Digital Terrain Model (DTM) precedentemente modellato ed inserito in Revit, è stata generata una superficie TIN sulla quale è stato utilizzato il comando "Tracciato". Questo ha generato il profilo longitudinale ricercato. Il visitatore, indossando il visore Oculus, avvicinandosi ad una turbina potrà ottenere tutte le informazioni riguardanti questo profilo, come ad esempio i dislivelli, i salti di quota, le quote altimetriche nei diversi punti della condotta e le pendenze dei diversi tronchi. Questi elaborati saranno visibili bi-dimensionalmente. Sarà possibile inoltre confrontare il profilo ottenuto tramite l'utilizzo di software con quello disegnato a mano nel 1905 appartenente al progetto originario reperito negli Archivi di Stato durante la fase di ricerca.

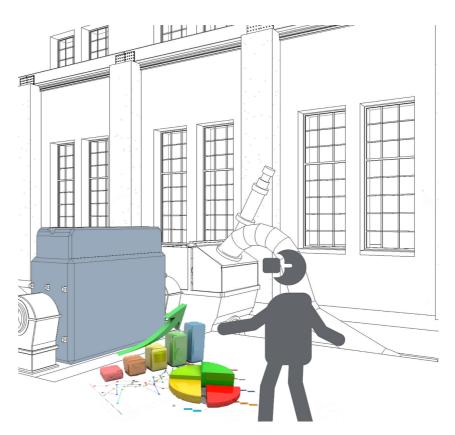
Figura 3.3: Caso d'uso 3 Profilo delle condotte forzate attivabile dalll'interazione con la condotta evidenziata



Il quarto caso consiste nella visualizzazione di alcuni dati energetici (calcolati in maniera semplificata) con l'obiettivo di dare al visitatore dei riferimenti sugli ordini di grandezza.

Grazie all'aiuto fornito da parte di alcuni ingegneri di Iren, è stato possibile calcolare, nello stesso tratto di condotte forzate utilizzate per il caso d'uso precedente, alcune grandezze fisiche di riferimento, quali ad esempio la variazione di energia cinetica, potenziale e meccanica dell'acqua durante la discesa all'interno delle condotte forzate. In questo caso i calcoli sono stati fatti su Excel ed i valori ottenuti sono stati poi inseriti ed implementati all'interno di Unity. Il visitatore potrà accedere a questi dati rappresentati con l'utilizzo di tabelle e grafici bidimensionali interagendo con l'alternatore della turbina Pelton Presente all'interno della scena virtuale.

Figura 3.4: Caso d'uso 4
Dati energetici attivabili
attraverso l'interazione con
l'alternatore presente nel
fabbriato motori



Il quinto ed ultimo caso d'uso sviluppato riguarda la creazione di un Tour Virtuale. In questo caso l'utilizzo della Realtà Virtuale permette di compiere dei salti che nella realtà non sarebbe possibile fare. Una volta indossato il visore l'utente che si troverà all'interno del fabbricato motori potrà entrare in una sezione di condotta forzata. Da questa interazione avrà inizio il Tour Virtuale, che consiste nel far fare al visitatore il percorso che una goccia d'acqua compie durante la produzione di energia idroelettrica. Questo percorso avverrà interamente in prima persona e partirà con il visitatore collocato nel letto della Dora Riparia a Serre La Voute, a circa 8 chilometri dal fabbricato motori, punto in cui si è entrati nella condotta. A questo punto si percorrerà un tratto lungo la Dora per poi entrare nel canale derivatore attraverso l'opera di presa. Da qui, si arriverà, dopo aver percorso svariati chilometri nel canale derivatore, alla camera di carico sita in Frazione Ramat, per poi essere incanalati all'interno delle condotte forzate e raggiungere così le turbine. A questo punto si passerà nel canale di scarico posto al di sotto della centrale e ci si immetterà nel canale derivatore che porterà l'acqua precedentemente turbinata alla Centrale di Susa.

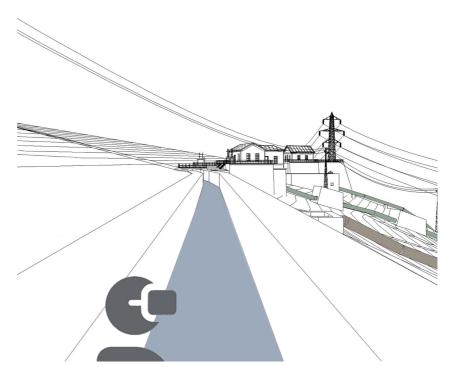


Figura 3.5: Caso d'uso 5 Tour Virtuale "Dall'acqua all'energia", il visitatore si trova nel canale derivatore e si sta avvicinando alla camera di carico

## 3.2 Workflow Metodologico

Per poter arrivare al risultato finale previsto da questa tesi, lo svolgimento del lavoro è stato suddiviso in quattro fasi principali, che sono le fasi risultate dalla creazione del workflow metodologico.

La primissima fase di lavoro è stata quella relativa alla raccolta di dati di ogni genere sull'area e sul manufatto oggetto di studio, per poter in questo modo avere a disposizione del materiale da cui partire e su cui fare delle prime considerazioni di ordine generale, per poi proseguire man mano con lo sviluppo più nel dettaglio del lavoro.

Essendo questo manufatto dei primi anni del Novecento, gran parte del materiale impiegato nella tesi è stato reperito presso diversi Archivi del territorio, tra cui l'Archivio di Stato di Torino presso P.za Castello, l'Archivio di Stato di Torino presso Via Santa Chiara, l'Archivio Storico della Città di Torino situato in via Barbaroux ed infine presso l'Archivio di Iren S.p.A. Essendo poi la centrale in questione attualmente soggetta a lavori di ristrutturazione straordinaria, mi è stato fornito da Iren S.p.A. il progetto in formato digitale dell'intervento, contenente le piante del piano terreno e le sezioni del fabbricato. In questo modo è stato possibile confrontare i file in formato CAD con i disegni d'archivio trovati, andando a constatare che dal 1916 (anno dell'ampliamento più significativo della centrale) ad oggi, non sono stati effettuati interventi che ne hanno modificato l'aspetto esterno. Oltre a questi file di disegno CAD ed alle tavole di archivio, ho reperito i file in formato shp, che sono sostanzialmente degli standard per il dato vettoriale spaziale impiegati principalmente in sistemi GIS.

Una volta ottenuti tutti questi dati di INPUT è stato possibile creare specifici DATABASE organizzati in base all'argomento e contenenti il materiale reperito in diverse forme. In questo caso specifico è stato creato un DB relativo al terreno ed alla morfologia del territorio, uno relativo al complesso sistema di edifici ed opere accessorie/infrastrutture direttamente legate alla produzione di energia idroelettrica ed un altro ancora relativo ai dati di energia meccanica/cinetica/ potenziale dell'acqua da turbinare. A questo punto si può partire dal singolo DB per sviluppare secondo la strada più appropriata ogni argomento.

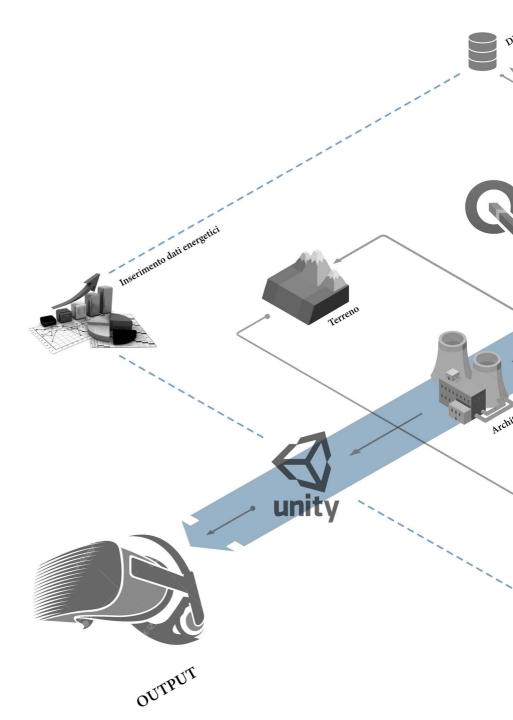
Il terreno è stato quindi modellato partendo proprio dal DB relativo al terreno

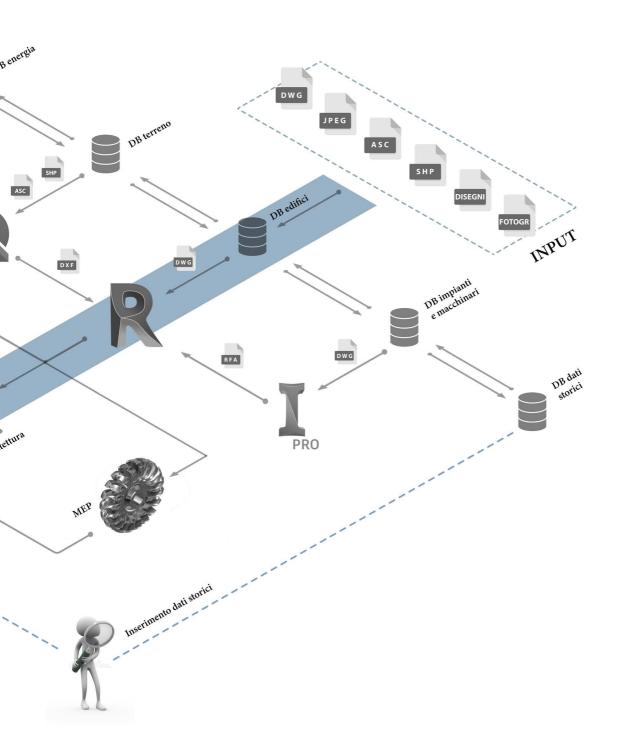
seguendo determinati procedimenti e specifici software (Infraworks, QGis e Civil 3D); analogamente la modellazione della centrale si sviluppa partendo dal DB relativo attraverso l'utilizzo di altri software specifici (Revit, Advance Steel ed Inventor). Una volta ottenuti i singoli modelli è possibile unirli ed ottenerne uno unico che comprenda le informazioni ed i dati dei modelli sviluppati in sede separata.

Si è reso inoltre necessario, per una maggior conoscenza del manufatto, effettuare un sopralluogo fisico prima di iniziare la modellazione dei fabbricati, in maniera tale da capire meglio le relazioni che intercorrono tra di essi ed il loro funzionamento globale. Grazie a questa visita è stato possibile porre particolare attenzione ai dettagli architettonici della centrale, oltre che a creare un archivio fotografico preciso per poter realizzare in seguito il modello BIM in maniera più realistica possibile. Il sopralluogo è stato inoltre utile per la ridefinizione di alcuni obiettivi ed il perfezionamento di altri da raggiungere attraverso la modellazione.

Per ciò che riguarda la modellazione dell'edificio è stato utilizzato il software BIM Revit oltre che altri programmi più specifici per alcuni elementi del modello (ad esempio per la modellazione delle strutture metalliche e delle parti meccaniche della centrale). Al termine della terza fase (modellazione architettonica), il modello ottenuto in Revit è stato esportato e poi importato in UNITY, un motore grafico specifico utile alla fase quattro del lavoro, la virtualizzazione del modello, di cui parleremo nel dettaglio successivamente.

Figura 3.6: workflow metodologico adottato durante lo svolgimento della tesi





#### 3.3 La Modellazione del terreno

Affinché il modello tridimensionale utilizzato per la realizzazione del Tour Virtuale risulti preciso ed affidabile, la prima fase della modellazione riguarda la creazione del DTM (Modello Digitale del Terreno). Con questo strumento si ottiene un modello tridimensionale dell'edificio correttamente inserito nel suo contesto e di cui è ben visibile la morfologia, estremamente importante per questo speci-fico caso studio in quanto "sfruttata" per la produzione di energia idroelettrica. In ordine logico e cronologico quindi, il primo obiettivo è quello di ottenere il modello del terreno a cui poi seguirà la modellazione dell'edificio in tutte le sue parti oltre che alle opere accessorie, pertinenze e locali di supporto. Come ultimo elemento verranno aggiunti nel modello contestualizzato tutti i macchinari, le condotte ed i canali necessari a convertire la forza cinetica dell'acqua in energia idroelettrica. Le strade prese in considerazione e sperimentate per la creazione del DTM in questa trattazione sono due: la prima riguarda la possibilità di utilizzare il Software Autodesk Infraworks per ottenere un modello del terreno e cercare poi di importarlo e utilizzarlo in un Software BIM. La seconda riguarda invece la possibilità di arrivare ad avere il DTM attraverso un Software GIS (Sistema Informativo Geografico).

# 3.3.1 II Modello Digitale del Terreno (DTM)

Il Software Autodesk Infraworks è sostanzialmente una piattaforma di pianificazione e progettazione che supporta i processi di Building Information Modeling. Serve concettualizzare, ottimizzare e visualizzare i progetti di infrastrutture nel loro contesto. Con questo Software è inoltre possibile realizzare modelli 3D del terreno (DTM) utilizzando due diversi metodi: metodo manuale o Model Builder. Il DTM realizzato e utilizzato successivamente è stato realizzato con Model Builder, che è un servizio Cloud che permette di scaricare modelli 3D di qualsiasi zona del mondo. Questi modelli sono costituiti da DataBase (formato .sqlite) e da cartelle di dati. Per ottenere un modello georeferenziato (l'utente può impostare un sistema di coordinate) è sufficiente selezionare l'area di interesse. Una volta terminata l'elaborazione dei dati il modello può essere scaricato ed utilizzato.

Figura 3.7: Selezione area di interesse con Autodesk Infraworks, Model Builder

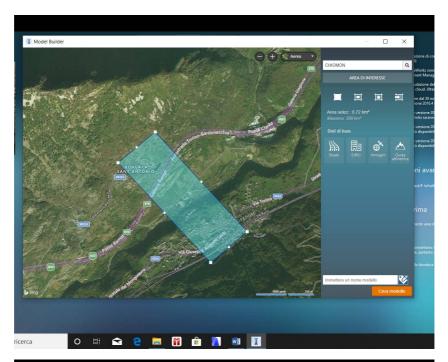
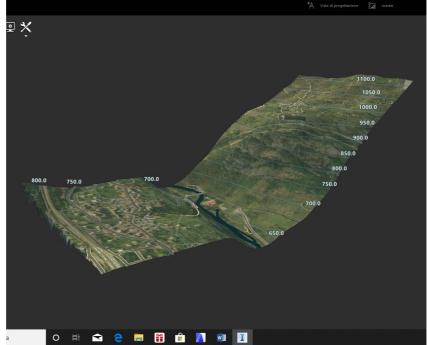


Figura 3.8: Modello Digitale del Terreno ottenuto dopo l'elaborazione del Software



#### 3.3.2 Metodo 1 - Infraworks to ArchiCAD

Una volta ottenuto il modello georeferenziato di terreno dal Model Builder di Infraworks, al fine di verificare l'interoperabilità con il Software BIM ArchiCAD (software inizialmente scelto per sviluppare l'intero modello BIM oggetto della tesi), il file è stato esportato nei diversi formati disponibili. A questo punto è stato possibile importarli in ArchiCAD e testarne i risultati.

Dei tre formati file esportati da Infraworks (DAE, FBX, OBJ) l'unico formato teoricamente supportato da ArchiCAD è il formato DAE; nonostante ciò nel momento dell'importazione nel Software BIM non viene visualizzato e compare un avviso di errore.

La seconda strada intrapresa per provare ad aggirare il problema è stata quella di aggiungere un passaggio intermedio attraverso un altro Software. Il file del terreno in formato DAE è stato importato in Autodesk 3DS Max che lo ha elaborato e visualizzato in maniera corretta, da qui nuovamente esportato sempre nello stesso formato ed importato in ArchiCAD.

Il risultato ottenuto è di poco migliore al precedente. Il modello ottenuto non viene riconosciuto nel Software BIM come terreno, ma come un oggetto che non si può modificare e di cui non sono presenti le proprietà. Il modello ottenuto è quindi totalmente inutile, in quanto tutte le informazioni, le proprietà e le operazioni che attraverso un processo BIM possono essere compiute su una superficie topografica vengono a mancare.

A causa di questa criticità emersa durante le prime fasi della modellazione, si è reso necessario intraprendere una strada differente ed abbandonare l'idea di utilizzare ArchiCAD, software Bim inizialmente individuato come adatto ad una modellazione di questo tipo.

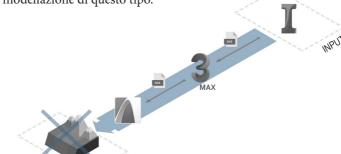
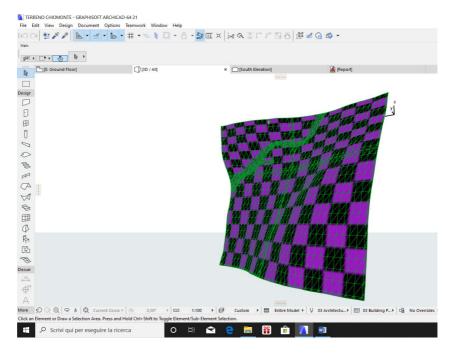


Figura 3.9: Workflow adottato per la realizzazione del Modello Digitale del Terreno

Figura 3.10: Risultato errato del modello del terreno dopo l'importazione in ArchiCAD 21



#### 3.3.3 Metodo 2 - Infraworks to Civil 3D to Revit

A questo punto, per ovviare al problema riscontrato precedentemente con il Software ArchiCAD, si è deciso di utilizzare il Software BIM Autodesk Revit e testare dunque se quest'ultimo fosse in grado di leggere e visualizzare correttamente il Modello Digitale del Terreno. In questo caso sono stati fatti due test con due percorsi differenti che hanno portato allo stesso identico risultato. Il punto di partenza di entrambi i test è il modello generato con il Model Builder di Infraworks già utilizzato nel metodo precedente.

Per ciò che riguarda il primo test, il modello di Infraworks è stato esportato in formato FBX (formato file proprietario utilizzato per fornire l'interoperabilità tra le applicazioni di creazione di contenuti digitali), successivamente importato in Autodesk FormIt (Software gratuito di progettazione concettuale 3D basato sul cloud per architetti e progettisti) ed esportato in formato DXF (formato di file di dati open source utilizzato per memorizzare le immagini grafiche vettoriali nonché i caratteri di testo e oggetti 3D). Una volta impostato il sistema

di riferimento con Infraworks, nel passaggio tra i diversi Software queste vengono mantenute correttamente. A questo punto il DXF è stato importato in Revit. Dalla superficie generica importata è stato possibile attraverso i comandi "crea superficie topografica – crea da importazione" ottenere una superficie topografica (DTM) con le relative curve di livello ed i parametri editabili.

Per ciò che riguarda invece il secondo test, il modello di Infraworks è stato esportato in IMX ed importato in Autodesk Civil 3D; da qui nuovamente esportato in formato DXF ed importato in Revit. A questo punto i passaggi necessari alla creazione del DTM risultano essere gli stessi del test descritto precedentemente. I risultati finali ottenuti sono equiparabili.

Nonostante la corretta visualizzazione del DTM però, la criticità che emerge da questi test riguarda la successiva fase di modellazione, ovvero la modellazione dell'edificio della centrale e delle sue pertinenze. Questo perché nella superficie topografica ottenuta mancano dei riferimenti utili al posizionamento ed alla contestualizzazione degli edifici e delle infrastrutture (banalmente non è possibile ricavare la posizione esatta dei fabbricati in quanto non si hanno dwg ed altri riferimenti spaziali). Per ottenere un DTM corretto e completo delle informazioni necessarie per poter proseguire con la modellazione dei fabbricati occorre quindi compiere un ultimo step.

Figura 3.11: Modello Digitale del Terreno dopo l'importazione e l'elaborazione in Revit 2019

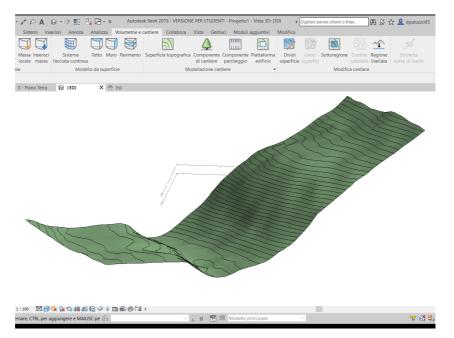
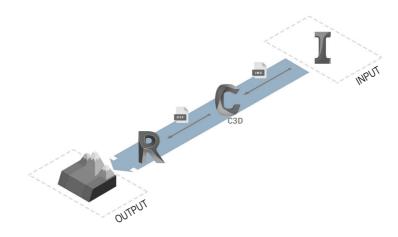


Figura 3.12: Workflow adottato per la realizzazione del Modello Digitale del Terreno



# 3.3.4 Metodo 3 - Qgis to Civil 3D to Revit

Per ottenere un Modello Digitale del Terreno utile per il proseguimento della modellazione dei fabbricati, come già accennato precedentemente bisogna inserire al suo interno dei riferimenti per poter posizionare correttamente i fabbricati della centrale e le relative opere accessorie.

A tale scopo è stato utilizzato un procedimento metodologico diverso da quelli descritti precedentemente. In questo caso il punto di partenza è stato un file DTM reperito presso il LARTU (Laboratorio di Analisi e Rappresentazioni Territoriali e Urbane del Politecnico di Torino) ed importato in un Software GIS, che è un Sistema Informatico Geografico utilizzato per ottimizzare i processi di gestione e di pianificazione del territorio. Attraverso questi sistemi è possibile effettuare delle analisi, rappresentazioni e simulazione dello spazio e di ciò che succede in esso. La grande potenzialità ed utilità di un sistema di questo tipo, riguarda soprattutto il fatto che gli oggetti contenuti in un DataBase sono raggruppati in base a caratteristiche simili e possono essere gestiti come strati informativi tematici (layers). In base allo scopo dell'elaborazione o dell'analisi da fare, si può scegliere quali temi (layers) di interesse sviluppare ed approfondire e questi, attraverso il Software GIS vengono localizzati precisamente nello spazio e su delle mappe georeferenziate.

Attraverso questi sistemi l'entità geografica può essere analizzata principalmente

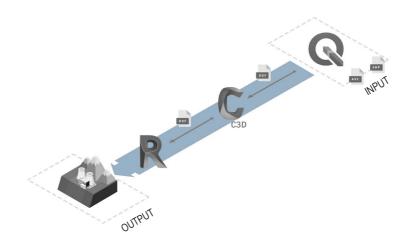
in due aspetti; grazie all'integrazione dei tradizio-nali sistemi di disegno assistito CAD e dei DataBase (Data Base Management System DBSM), è infatti possibile analizzare sia il contenuto informativo che le geometrie e le forme delle diverse entità geografiche.

Le informazioni quindi che siamo in grado di reperire da un modello attraverso l'uso di sistemi GIS sono di tre tipologie; geometriche, informative e topologiche. Le prime riguardano la posizione geografica, la forma, le dimensioni degli oggetti che vengono rappresentati nella cartografia (punti, linee e poligoni). Quelle informative riguardano esclusivamente i dati disponibili associati agli oggetti rappresentati nella cartografia e possono trovarsi sottoforma di numeri, testi e anche tabelle. Le informazioni topologiche invece sono riferite alle relazioni che intercorrono tra i diversi oggetti rappresentati nella cartografia.

Da questa breve introduzione si capisce quindi la scelta di tale metodo per arrivare al risultato finale atteso. Una volta importato il file del DTM all'interno di QGis, si è ottenuto il modello tridimensionale già georeferenziato secondo il sistema di coordinate nazionali (WGS 84/UTM Zone 32N, EPSG 32632) che verranno mantenute durante tutto lo svolgimento della tesi.

Il modello così ottenuto, risulta essere nelle stesse condizioni di quello ottenuto con il metodo precedente, ovvero ancora senza riferimenti geometrici utili. A questo proposito è stata importata nel modello un'ortofoto dell'area di interesse (anche questa già georeferenziata e reperita presso il LARTU) che è automaticamente andata a sovrapporsi al modello precedentemente generato.

Figura 3.13: Workflow adottato per la realizzazione del Modello Digitale del Terreno

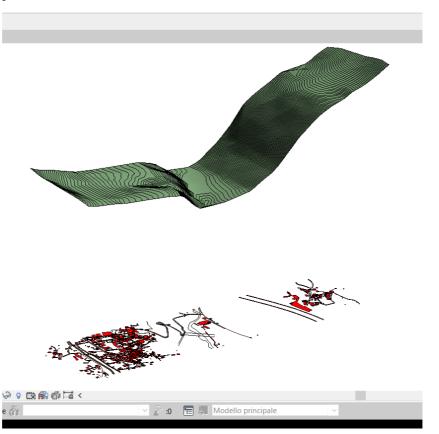


Dal DataBase Geotopografico (reperito presso il LARTU) ho importato all'interno del Software e del modello gli ambiti di interesse (strati informativi tematici o layers) tra cui "edifici", "fiumi", "strade" e "curve di livello" in formato shapefile (file che descrivono spazialmente punti, polilinee e poligoni utilizzabili).

Il tutto è poi stato esportato in formato DXF e nell'esportazione le curve di livello sono state esportate come vettori 3D. Da qui si è proceduto con l'importazione in Civil 3D per creare il riquadro di selezione sull'area di interesse e successivamente all'importazione in Revit 2019. Si è generata la superficie topografica utilizzando i comandi "crea superficie topografica, crea da importazione" come già avvenuto per i metodi precedenti.

Il modello ottenuto è così terminato e completo in tutte le sue parti, sia il contenuto informativo che quello geometrico può ritenersi soddisfacente e utile per le fasi di modellazione successive.

Figura 3.14: Modello Digitale del Terreno finale dopo l'elaborazione in Revit 2019



#### 3.4 La Modellazione dei fabbricati

#### 3.4.1 Pre Modellazione

Una volta raccolti i dati necessari alla restituzione grafica tridimensionale dell'impianto, tra cui disegni, tavole storiche e file CAD degli ultimi lavori in progetto previsti nella centrale, è stato possibile iniziare la modellazione. La prima parte che è stata modellata è il fabbricato motori. Essendo l'edificio in questione dei primi anni del '900 e non avendo certezza assoluta delle tecniche costruttive adottate durante la costruzione, durante il corso della modellazione verranno fatte alcune considerazioni ed ipotesi relative a questi aspetti. Il modello in questione sarà un modello composto da elementi architettonici tridimensionali come ad esempio muri, solai, serramenti, coperture, scale. Per ottenere un risultato finale che si avvicini il più possibile alla realtà e per riportare nel modello le considerazioni e le ipotesi fatte, sono state create, per ogni elemento architettonico del fabbricato, delle famiglie parametriche personalizzate.

# 3.4.2 Modellazione delle Famiglie Parametriche

• MURI: la prima famiglia personalizzata che è stata creata è quella dei muri. Non conoscendo con certezza la stratigrafia delle murature, ma avendone misurato lo spessore durante il sopralluogo, in linea con le tecniche costruttive dei primi anni del 900 si è ipotizzata una muratura portante in pietrame con doppia cintura in mattoni e finitura in intonaco sia nel lato interno che in quello esterno. Queste considerazioni sono comunque state rafforzate analizzando il progetto particolareggiato e computo delle opere del 1905 reperito presso l'Archivio Storico della Città di Torino, dalla lettura della voce "muratura in pietrame e laterizio". Gli spessori ipotizzati per la creazione della famiglia parametrica sono di 2 centimetri per gli strati di finitura interni ed esterni in intonaco, 12 centimetri per lo spessore di ogni cintura di mattoni (verosimilmente sono stati utilizzati mattoni pieni) e circa 45 centimetri per lo spessore della muratura in pietrame. Essendoci murature di diverso spessore che variano da 70 centimetri ad 80 centimetri,

- la stratigrafia assunta rimane la stessa ma varia lo spessore della muratura in pietra.
- FINESTRE E PORTE: anche per ciò che riguarda la modellazione di porte e
  finestre sono state create delle famiglie personalizzate ad hoc per il modello
  da sviluppare. In particolar modo per le finestre si è realizzata una famiglia
  parametrica nidificata ad alto dettaglio. Questo vuol dire che per arrivare
  alla creazione del serramento finale, si sono dovute creare diverse famiglie
  ospiti ed ospitanti. In particolar modo si è creata innanzitutto la struttura

Figura 3.15: Creazione della famiglia finestra parametrica nidificata ad alto dettaglio

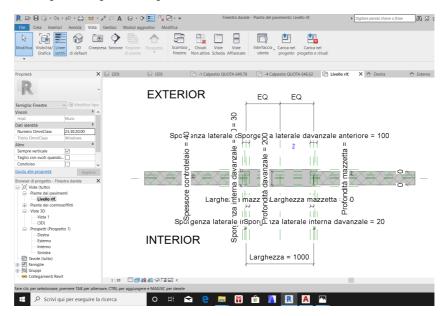


Figura 3.16: A sinistra fotografia scattata durante il sopralluogo della finestra da ricreare

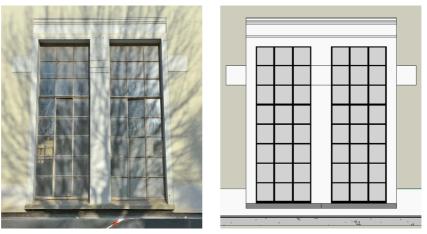


Figura 3.17: A destra risultato della modellazione della famiglia finestra parametrica nidificata ad alto dettaglio

78

- ospitante per mazzette e davanzale, poi quella ospitante per il telaio ed il controtelaio ed infine si è creato il davanzale vero e proprio ed è stato inserito come ospite nella struttura ospitante. Si è poi proceduto con la creazione della famiglia serramento ed è stata creata la famiglia dell'anta per il telaio.
- SOLAI: Durante il sopralluogo effettuato sono state individuate due differenti tipologie di solai. Quelli del piano terreno e del piano seminterrato sono stati realizzati in calcestruzzo armato e sono stati gettati nel corso degli ultimi lavori di ristrutturazione che devono ancora essere completati. Per ciò che riguarda le parti non interessate dai lavori, come ad esempio il fabbricato a torre con 5 piani fuori terra, i solai presenti risultano essere quelli originali risalenti all'anno di costruzione della centrale. In linea con le caratteristiche costruttive del tempo, si è ipotizzato un solaio in laterocemento di spessore compreso tra i 35 ed i 40 centimetri con trave ribassata in calcestruzzo in mezzeria e parallela al lato lungo del fabbricato. La trave ha tre campate ed è sostenuta da due pilastri quadrati realizzati con le stesse tecniche costruttive della muratura portante ed aventi dimensioni di 1 metro. Anche in questo caso sono state appositamente create due diverse famiglie personalizzate di solai. Nelle zone interessate dai recenti lavori di ristrutturazione, oltre alla demolizione delle solette originali e alla loro ricostruzione in calcestruzzo armato, sono inoltre stati realizzati sia al piano terreno che nel piano seminterrato dei plinti di grandi dimensioni e spessore aventi funzione di basamento ed ancoraggio sia per i gruppi turbina che per gli alternatori. Nel modello queste parti sono ben visibili e sono state modellate come plinti.
- COPERTURA: Anche per ciò che riguarda la copertura dell'edificio è necessario fare delle precisazioni. La copertura del fabbricato motori è stata interamente sostituita nell'ambito dei lavori di ristrutturazione in corso ed è stata realizzata con sistema portante a travi e puntoni in legno, riprendendo il precedente sistema costruttivo. Sono state inoltre restaurate e verniciate tutte le capriate in acciaio che sono attualmente ben visibili dal salone delle macchine. La copertura dell'adiacente edificio a torre non è invece stata restaurata. Nella modellazione della centrale le due coperture sono state assunte come uguali e con le seguenti caratteristiche: travi principali in legno con sezione 20x30 centimetri, puntoni in legno con sezione di 14x20 centimetri, tavolato in legno con spessore di 2 centimetri, listelli di supporto

della copertura aventi spessore di 5 centimetri, copertura in tegole di tipo marsigliese con spessore totale di circa 10 centimetri.

Oltre ad aver creato delle famiglie personalizzate dei componenti di modello comuni quali ad esempio muri, solai, finestre, porte e coperture, per una totale e completa personalizzazione del modello, sono stati modellati elementi specifici del caso studio e che sono stati in seguito associati a determinate categorie di famiglia. Tra i principali elementi modellati troviamo ad esempio i tralicci di distribuzione elettrica ai diversi voltaggi (assegnati alla famiglia apparecchi elettrici), i due gruppi turbina-alternatore di tipo Pelton (assegnati alla famiglia apparecchi idraulici), i due carroponti già presenti all'interno della centrale (assegnati alla famiglia attrezzature meccaniche), tutti i sistemi di paratoie presenti presso le opere di presa a Serre La Voute, la camera di carico a Chiomonte e le opere di presa di Susa a Chiomonte (assegnati alla famiglia apparecchi idraulici) e le condotte forzate 1 e 2 (assegnate alla famiglia apparecchi idraulici). La modellazione di questi elementi di dettaglio è stata possibile grazie al reperimento dei disegni di dettaglio presso l'Archivio Storico della Città di Torino e grazie ai file forniti da Iren.

# 3.4.3 La Modellazione di Dettaglio: le capriate in acciaio

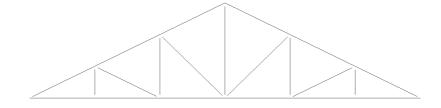
Per ciò che riguarda la modellazione delle capriate in acciaio che sostengono la copertura in legno del fabbricato motori, è stata inizialmente creata una nuova famiglia parametrica partendo da un modello di trave reticolare presente nel database delle famiglie caricabili di Revit. In questo modo è stato possibile ottenere una travatura complessa avente i profili dei diversi componenti della trave corrispondenti alla realtà oltre ad avere la possibilità di impostare i vincoli esistenti tra questi elementi. La capriata (trave reticolare) è composta dai correnti superiori in acciaio con profilo IPN 240, un corrente inferiore con profilo IPN 140, cinque montanti verticali con profilo UPN 100 e quattro aste diagonali con profilo angolare a lati uguali e spigoli tondi 80x10.

La copertura a padiglione del fabbricato è sostenuta da sette capriate collegate tra loro da cinque arcarecci di profilo IPN 220 mediante l'utilizzo di piastre e bulloni. Tutti i giunti delle capriate sono imbullonati.

Per ottenere il modello tridimensionale della capriata si è partiti dalla famiglia parametrica già presente nella libreria di Revit (Trave Howe a timpano, 6 pannelli) e sono stati assegnati ai correnti ed alle aste i giusti profili descritti precedentemente. Dopo averla importata nel modello, ci si è però accorti che la famiglia creata presentava delle imprecisioni/critiità non trascurabili in vista dell'obiettivo finale e di utilizzo del modello.

La principale criticità emersa è relativa ai giunti tra i diversi elementi che compongono la capriata. Dalle proprietà di tipo della famiglia si possono stabilire i vincoli presenti tra i diversi elementi della capriata, ma questi vengono applicati al modello solamente in forma analitica. Non vengono quindi creati fisicamente e dunque nel modello non sono visibili. Il risultato ottenuto è quindi una capriata analiticamente corretta e completa in tutte le sue parti (giusti profili assegnati a tutti gli elementi, giunti e vincoli assegnati) ma graficamente

Figura 3.18: Visualizzazione della famiglia personalizzata CAPRIATA IN ACCIAIO, deattaglio basso



10 □日後94年前分9時期間く

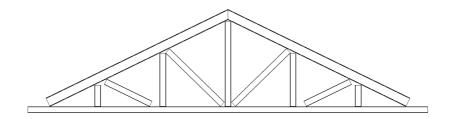


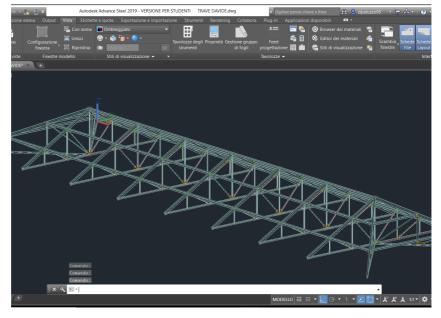
Figura 3.19: Visualizzazione della famiglia personalizzata CAPRIATA IN ACCIAIO, deattaglio alto

#### deficitaria.

Nel modello tridimensionale della struttura montanti verticali, aste diagonali e correnti (superiori ed inferiori) non risultavano essere collegati tra di loro ma totalmente fluttuanti nello spazio e non vincolati gli uni agli altri. Si è dunque resa necessaria la correzione di questa notevole incongruenza grafica in quanto, essendo il modello impiegato per la realizzazione di un Tour Virtuale (che si svolge in parte anche all'interno del fabbricato motori), queste imprecisioni sarebbero state sicuramente notate durante l'esperienza immersiva e avrebbero comportato una perdita di efficacia e credibilità dell'ambiente virtuale modellato. Per ovviare quindi a questa lacuna si è deciso di modellare la struttura portante della copertura attraverso Software specifici per la progettazione di elementi strutturali in acciaio.

Il Software utilizzato è Advance Steel, che è stato sviluppato dalla stessa casa produttrice di Revit. Nonostante la grafica del Software possa farlo apparire come un tradizionale strumento CAD in realtà si tratta di un BIM. Questo perché gli oggetti creati, oltre alla geometria, contengono una serie di informazioni aggiuntive (momenti di inerzia del profilo, tipologia di acciaio di cui sono costituiti...). Una libreria integrata permette inoltre di avere a disposizione una notevole quantità di profili in acciaio già parametrizzati da utilizzare nella modellazione. Dal disegno tridimensionale a linee (indicanti gli assi dei profilati





metallici) delle capriate e degli arcarecci, si è passati ad associare ad ogni linea il giusto profilo metallico selezionandolo dalla libreria integrata.

Sono poi stati successivamente realizzati i giunti tra i diversi elementi. Anche in questo caso è presente una libreria integrata molto ben fornita che mette a disposizione una grande vastità di tipologie di giunti (angolari, doppi angolari, a flangia semplice, per controventi) già parametrizzati e che possono essere personalizzati e editati in tutte le parti (dimensioni e spessori delle piastre, giunti saldati/bullonati/chiodati, tipo di acciaio, numero e distanze dei bulloni). Una volta completata la modellazione della struttura, sono stati effettuati dei test di interoperabilità tra Advance Steel 2019 e Revit 2019, per capire quali formati di scambio garantissero il miglior risultato in vista dell'obbiettivo prefissato.

Per questo test, il modello è stato esportato nei seguenti formati:

- SMLX (Steel Markup Language)
- Standard IFC (Industry Foundation Classes)
- SAT (Standard ACIS Text)

Per ciò che riguarda il formato SMLX (formato di scambio specifico per l'esportazione degli elementi in acciaio), un plug-in gratuito messo a disposizione

Figura 3.21: Interoperabilità tra Autodesk Advance Steel e Autodesk Revit
Fonte: https://knowledge.
autodesk.com/it/support/revit-products/learn-explore/caas/
CloudHelp/cloudhelp/2019/
ITA/Revit-AddIns/files/GUIDC86164A0-C1B3-4F09-8C3884C0B4A860FF-htm.html

CLASSE	TIPO DI OGGETTO	DA REVIT AD ADVANCE STEEL	DA ADVANCE STEEL A REVIT
Generale	Livello	4	4
	Griglia	4	1
Travi in acciaio	Trave	4	4
	Pilastro	4	1
	Trave composta	х	4
	Trave saldata	х	4
	Trave rastremata	N/D	1
	Trave curva	4	4
	Trave multicomponente	N/D	~
	Trave piegata	N/D	4
	Trave in alluminio	х	4

Piastre	Piastra rettangolare	4	~
	Piastra poligonale	4	1
	Piastra circolare	4	4
	Piastra piegata	N/A	4
	Piastra piegata con torsione	N/A	4
	Piastra piegata conica	N/A	4





da Graitec BIM garantisce l'importazione in Revit, mentre l'esportazione da Advance Steel avviene tramite collegamento diretto dal software.

Dopo l'importazione in Revit, sono da subito emerse però alcune criticità.

Non tutti gli elementi modellati su Advance Steel vengono importati in Revit, tra cui ad esempio fori, bulloni ed alcuni piatti di collegamento. Nella tabella viene riportata l'interoperabilità tra i due ambienti di lavoro per capire quali elementi è possibile trasferire e quali non è invece possibile trasferire.

Analogamente al caso precedente, anche con il formato IFC si sono riscontrate delle criticità. La più rilevante riguarda un'errata importazione delle geometrie dei giunti metallici in certi casi, mentre in altri non veniva riconosciuto il collegamento tra i diversi elementi strutturali. È importante fare presente che l'importazione in formato IFC genera un modello solido non editabile che non si adatta alle scale di dettaglio di Revit (basso,medio,alto).

L'ultimo test è stato fatto importando in Revit il modello solido 3D di AutoCAD (formato SAT). In questo caso vengono mantenute solamente le geometrie del modello, mentre il resto delle informazioni alfanumeriche viene completamente

tralasciato. Il modello visualizzato in Revit risulta essere corretto in tutte le sue parti, ma come per il caso precedente è un blocco unico, dunque non è possibile andare a selezionare ogni elemento singolarmente. Anche in questo caso il modello non è in grado di adattarsi ai diversi livelli di dettaglio del programma. Per migliorare l'aspetto relativo all'adattamento ai diversi gradi di dettaglio della struttura modellata (aspetto utile per la fase di virtualizzazione del modello, dove potrebbe rendersi necessaria la riduzione del dettaglio per una migliore navigazione nel Tour Virtuale), si è deciso di modellare nuovamente l'intera struttura in Revit, importando da Advance Steel solamente i profili metallici principali (correnti superiori ed inferiori). In questo modo si è ottenuto un modello complesso e completo in tutte le sue parti in grado di adattarsi a diversi livelli di dettaglio. Il grado di dettaglio alto mette in evidenza tutti i componenti della struttura, dalle travi ai bulloni. Nel livello medio vengono visualizzate le travi ed i collegamenti (in maniera grafica) mentre nel livello basso vengono rappresentati solamente gli assi degli elementi strutturali ed i collegamenti in maniera grafica.

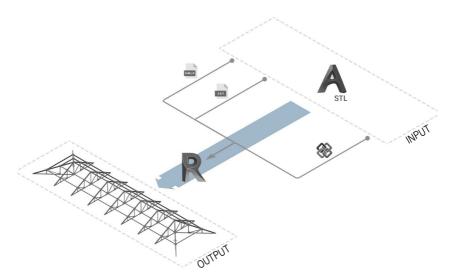


Figura 3.23: Workflow adottato per la modellazione della struttura portante della copertura

## 3.5 La Modellazione delle parti meccaniche

Per la modellazione dei gruppi idroelettrici e delle parti meccaniche delle turbine è stato utilizzato il Software Autodesk Inventor, Software di modellazione 3D dedicato alla progettazione meccanica.

In questa fase sono state modellate in maniera più dettagliata le parti meccaniche che verranno visualizzate o toccate con la realizzazione del tour virtuale. In particolare, i gruppi idroelettrici composti da turbine, alternatori e condotte di raccordo sono state modellate con un livello di dettaglio paragonabile al LOD 300, in quanto il modello è accurato e coordinato in tutte le sue parti, oltre che essere dotato di una rappresentazione grafica specifica.

Il flusso di lavoro adottato per arrivare ad importare il modello realizzato con Inventor in Revit ha richiesto diversi passaggi. Sono stati importati in Inventor i particolari costruttivi dei gruppi idroelettrici da modellare (in formato DWG), dopodiché per ogni singolo componente dei gruppi è stato necessario creare un file di parti di Inventor (formato IPT).

Una volta realizzati quindi tutti i singoli componenti necessari è possibile creare un file di assieme (formato IAM) nel quale si importano i componenti e si crea l'elemento complesso, andando a definire i vincoli tra gli elementi importati ed il loro posizionamento. Una volta assemblato il modello, è possibile esportarlo direttamente dal programma in formato RFA, ovvero il formato delle famiglie di Revit. I risultati ottenuti dopo l'importazione in Revit sono soddisfacenti, tutte le informazioni geometriche ed alfanumeriche vengono correttamente mantenute ed il modello viene visualizzato correttamente.

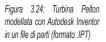




Figura 3.25: Modello finale del gruppo idroelettrico assemblato con Autodesk Inventor in un file di assieme (formato .IAM)

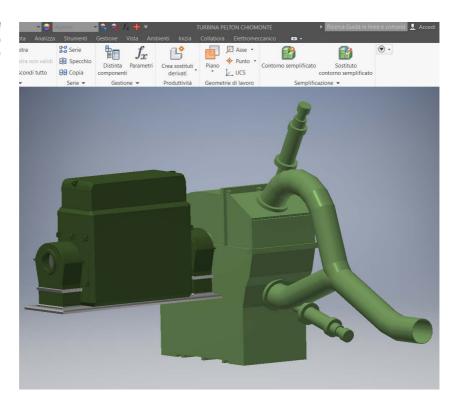
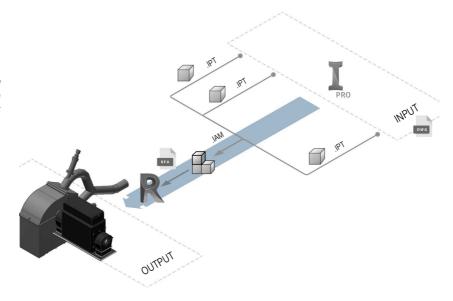


Figura 3.26: Workflow metodologico per l'importazone del modello ottenuto in Autodesk Inventor in Autodesk Revit 2019.



## 3.6 Da Modello Integrato a Modello Federato

Inizialmente la modellazione dell'intero caso studio è stata fatta su un unico file, in modo tale da avere sempre la visione complessiva dell'o-pera e quindi facilitare l'inserimento ed i collegamenti tra le varie parti della centrale idroelettrica nella fase di realizzazione del modello.

Una volta terminata la modellazione ci si è però resi conto che il file aveva una dimensione troppo grande, circa 850 MB di peso, e dunque si è reso necessario splittare il modello in diverse parti al fine di alleggerirlo e permetterne la rapida apertura da parte di tutti i computer. Il file è stato dunque splittato in otto parti in base alla funzione ed alla località delle diverse opere che nel complesso costituiscono l'impianto idroelettrico di Salbertrand-Chiomonte.

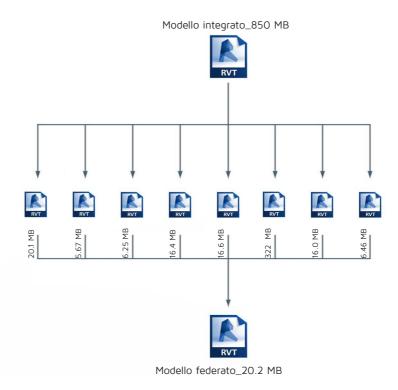
In particolare è stato creato un file per ciò che riguarda il contesto ed il terreno relativo a Chiomonte, un file che contiene esclusivamente il letto della Dora Riparia, un file del contesto e del terreno di Serre La Voute, un file contenente le opere di presa situate a Serre La Voute, un file relativo alle opere ed alla camera di carico di Chiomonte, un file relativo al fabbricato motori di Chiomonte con relative parti impiantistiche e meccaniche, un file contenente le opere di presa di Susa e per finire un file relativo all'insieme delle condotte che partono dalla Località Ramat ed arrivano al fabbricato motori ed in Dora (le condotte sono sia di scarico che di alimentazione delle turbine).

Attraverso questa procedura si è potuto alleggerire in maniera sostanziosa il modello, il cui peso totale dopo la separazione dei diversi file era di circa 410 MB. A questo punto sono stati uniti i diversi split in un unico file di modello e, grazie all'acquisizione delle coordinate, i diversi componenti sono stati ricomposti e posizionati in maniera corretta automaticamente dal software, generando un file dalle dimensioni di circa 20 MB.

Durante la fase di assemblamento degli split, si sono però riscontrate alcune criticità legate all'interazione tra i modelli importati in particolar modo tra i modelli del terreno ed i modelli delle parti architettoniche. Il terreno in certi punti non si adatta in maniera automatica e precisa alle strutture ed agli edifici, creando delle imperfezioni inverosimili e visibili ad occhio nudo.

Al fine di eliminare queste criticità, si è intervenuti manualmente sul terreno modificandone le quote altimetriche. Sono così state eliminate le problematiche emerse ed il modello risulta essere costruttivamente e visivamente affidabile.

Figura 3.27: Schema in cui viene riportata la divisione (split) del modello unico e la ricomposizione a modello federato attraverso l'acquisizione delle coordinate

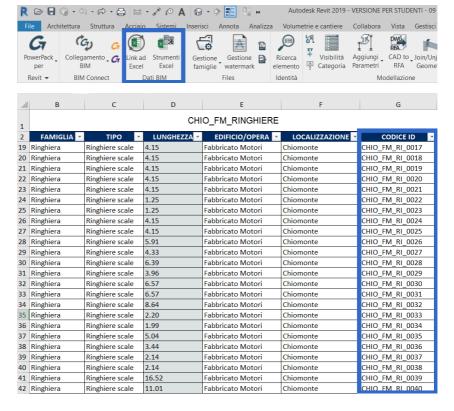


# 3.7 Assegnazione Codice ID agli elementi del Modello

Per poter catalogare tutti i componenti, gli elementi e gli oggetti del modello ottenuto al fine di renderli univoci e specifici di questo lavoro sono stati creati dei nuovi parametri condivisi comuni per tutti i componenti del modello. Il modello precedentemente splittato in 8 parti è tornato molto utile in questa fase, in quanto per ogni parte sono stati creati una serie di abachi dei diversi componenti elementi del modello. Questi abachi, attraverso il Plug-In Revit-PowerPack sviluppato e distribuito da Graitec, sono stati esportati in una tabella Excel in cui sono stati assegnati i dati identificativi necessari ed i relativi codici ID. A questo punto si è potuto importare ed aggiornare attraverso lo strumento "Link Excel" l'abaco precedentemente creato con Revit. Questo passaggio tra i due software ha permesso una maggior personalizzazione delle tabelle e una drastica riduzione del tempo impiegato per l'assegnazione dei parametri creati. I nuovi parametri creati sono parametri di istanza, sono stati raggruppati nei

Figura 3.28: Strumenti del Plug-in Revit Power Pack per l'interoperabilità tra Revit ed Excel.

Figura 3.29: Abaco delle ringhiere del modello 06\_CHIO\_FM importato in Excel, compilato con il Codice ID e re-importato in Revit.



## Parametri di Identità, e sono:

- EDIFICIO/OPERA: Il modello complessivo dell'impianto è stato, come
  precedentemente illustrato, splittato in 8 file di progetto ognuno contenente
  una diversa parte funzionale del sistema idroelettrico. La creazione di
  questo parametro serve per indicare a quale degli 8 file di progetto ottenuti
  si sta dunque lavorando o facendo riferimento.
- LOCALIZZAZIONE: Questo parametro serve per inserire la Località in cui il file di progetto splittato a cui si sta facendo riferimento si trova. Questo specifico parametro è stato inserito in quanto essendo un'opera particolarmente complessa ed estesa, alcuni edifici ed opere accessorie strettamente collegate alla produzione di energia idroelettrica non si trovano nello stesso comune. In particolare, questo impianto interessa 3 diversi comuni.
- CODICE ID: è il codice identificativo di ogni singolo elemento vero e proprio. Questo codice è composto da diverse voci, tra cui le due

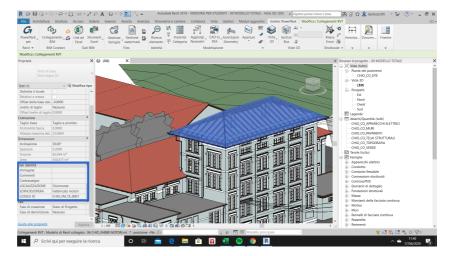
precedentemente elencate e spiegate (Edificio/Opera e Localizzazione, la voce Famiglia di Revit, e la voce Numerazione.

Attraverso la voce Famiglia di Revit è possibile specificare quale componente del modello si sta prendendo in considerazione (es: muri, pavimenti, tetti...). Per una maggior velocità di inserimento i nomi delle famiglie non sono stati inseriti per intero ma vengono identificati con delle abbreviazioni. L'ultima parte del CODICE ID consiste nell'andare a numerare progressivamente tutti gli elementi del modello suddivisi per famiglia. Questa identificazione degli elementi è stata fatta per ognuno degli 8 file di progetto.

Figura 3.30: Legenda del Parametro Condiviso CODICE ID.

NOME PARAMETRO DI ISTANZA applicato ad ogni elemento del modello	VOCI CHE COMPONGONO IL CODICE ID di ogni singolo elemento del modello						
	LUOGO	ID	OPERA/EDIFICIO	ID	FAMIGLIA REVIT	ID	NUMERAZIONE
CODICE ID	Chiomonte	CHIO	Contesto (2)	со	Muri	MU	
	Susa	SUSA	Dora Riparia	DR	Pavimenti	PA	
	Serre La Voute	VOUT	Opere di presa (2)	PR	Scale	SC	
			Camera di carico	CA	Tetti	TE	
			Fabbricato motori	FM	Porte	PO	
			Condotte	CD	Finestre	FI	
					Pilastri	PIL	
					Pilastri Struttural	PIS	
					Ringhiere	RI	
					Rampe Inclinate	RA	
					Telai Strutturali	TS	
					Connessioni Stru	cs	
					Travi Reticolari	TRS	
					Sistema di Travi	SST	
					Apparecchi Idrau	AI	
					Attrezzature Spe	AS	
					Apparecchi Elettr	i AE	
					Attrezzature Med	AM	
					Estrusioni Muro	EM	
					Montanti facciata	MN	
					Pannelli Facciata	PFA	
					Condotte	CD	
					Raccordi Condott	RCD	
					Fasce copertura	FA	
					Grondale	GR	
					Masse	MA	
					Topografia	TO	
					Verde	VR	1

Figura 3.31: Inserimento dei Parametri Condivisi creati all'interno del modello 06\_ CHIO\_FM.



## 3.8 Soluzioni di visualizzazione del Modello Virtuale

Una volta completate modellazione tridimensionale ed implementazione del modello virtuale creato con il Software Autodesk Revit, si è di fatto entrati nell'ultima fase di lavoro della tesi. Questa fase consiste nell'importazione e nella renderizzazione del modello ottenuto in Revit attraverso specifici motori grafici multipiattaforma, che consentono lo sviluppo e la creazione di contenuti interattivi o videogiochi.

La parte interattiva della tesi di cui si sta discutendo è stata realizzata attraverso l'utilizzo del motore grafico multipiattaforma Unity, sviluppato da Unity Technologies. Questa parte è composta dai cinque casi d'uso del modello precedentemente descritti, virtualizzati ed implementati con una serie di animazioni/suoni/informazioni all'interno di questo motore grafico. Terminata la fase di programmazione, l'utente che indosserà il visore Oculus Rift si troverà virtualmente di fronte all'ingresso della centrale idroelettrica di Chiomonte; entrandoci potrà interagire con determinati elementi ed attivare le diverse attività didattiche proposte e sviluppate sulla base dei casi d'uso del modello individuati.

# 3.8.1 Interoperabilità tra Revit e VAR

In questo paragrafo verrà messo in evidenza il flusso di lavoro adottato per l'ottenimento del risultato finale sopra descritto.

Il primo step fondamentale riguarda l'esportazione del modello ottenuto in Revit. Questo modello può infatti essere impiegato per la creazione di applicazioni in Realtà Virtuale o Aumentata grazie all'interoperabilità con i specifici motori grafici (ad esempio Unity o Unreal Engine) garantita da formati file quali ad esempio .DAE e .FBX.

Una volta esportato il modello Revit in formato FBX, quest'ultimo è stato importato in 3DS Max e nuovamente esportato in formato FBX. A questo punto, l'FBX ottenuto da 3DS Max è stato importato in Unity. Il passaggio da Revit a 3DS Max, seppur inutile ad un primo sguardo, in realtà è di fondamentale importanza, soprattutto se nello sviluppo del modello Revit si è investito del tempo nella creazione di materiali e textures ad Hoc. L'importazione in Unity

dell'FBX direttamente esportato da Revit comporta infatti la perdita dei materiali e delle textures abbinate ai singoli elementi. Al contrario importando in Unity l'FBX esportato da 3DS Max, i materiali e le textures associate ai diversi elementi vengono mantenute correttamente e vengono raggruppate tutte assieme all'interno di una cartella che Unity genererà automaticamente. Questo passaggio si rivela quindi fondamentale soprattutto per modelli complessi per evitare di dover riassegnare manualmente ad ogni elemento del modello il suo materiale e la sua texture, che comunque dovrà essere ricreata da capo in Unity.

Figura 3.32: Fbx importato da Revit a Unity

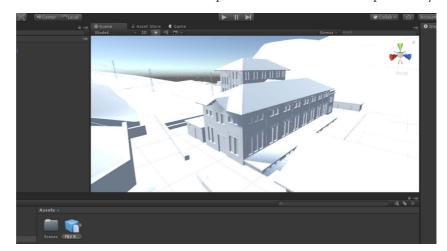
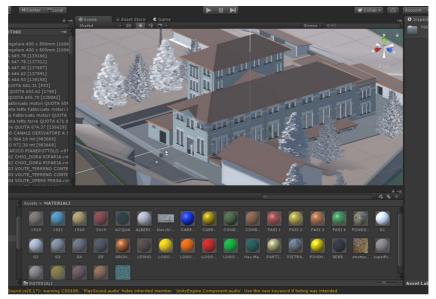


Figura 3.33: Fbx importato da Revit a 3Ds e poi in Unity



## 3.8.2 Struttura dell'Ambiente Virtuale

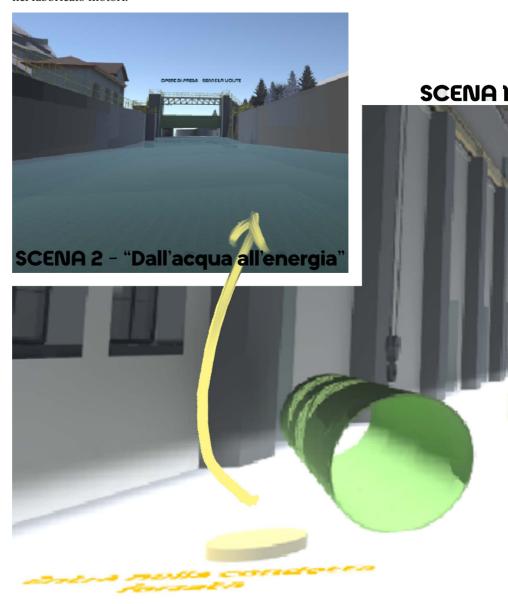
Una volta completata l'importazione dell'FBX è iniziata la creazione delle cinque diverse attività didattiche da svolgere indossando il visore di Realtà Virtuale. Per prima cosa è stato necessario decidere l'organizzazione del Tour Virtuale; in questo caso le cinque attività proposte (tour dall'acqua all'energia, profili delle condotte forzate, dati energetici, archivio storico digitale, modellino delle funzioni e delle fasi di costruzione) vengono attivate dall'utente che, una volta indossato il visore, si troverà virtualmente davanti all'ingresso della centrale idroelettrica. Entrandoci, oltre a muoversi liberamente negli spazi della centrale, potrà interagire con dei pulsanti collocati su determinati elementi presenti nell'ambiente virtuale, quali ad esempio due turbine Pelton ed una sezione di condotta forzata. Ogni interazione da avvio ad una specifica attività didattica. La struttura dell'ambiente virtuale in cui si svolgono queste precise attività didattiche è stata pensata e progettata in maniera tale da rendere l'esperienza virtuale più fluida possibile e poco dispersiva.

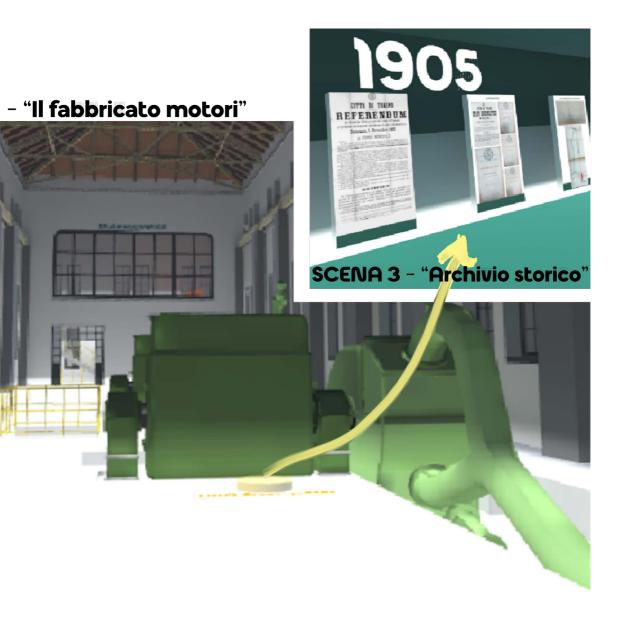
Il Tour Virtuale è composto da tre diverse scene: SCENA 1 "Il fabbricato motori", SCENA 2 "Dall'acqua all'energia", SCENA 3 "L'archivio storico digitale". La scena uno è ambientata all'interno del fabbricato motori della centrale ed è il punto di partenza dell'esperienza virtuale. Il visitatore munito di Oculus Rift, entrando all'interno della centrale e può attivare il pannello dei dati energetici ed il profilo delle condotte forzate al piano terreno premendo due specifici bottoni dedicati, mentre il modellino delle funzioni e delle fasi di costruzione recandosi al piano superiore nella sala panoramica. La scena due viene invece attivata avvicinandosi alla sezione di condotta forzata ed è interamente dedicata al tour "Dall'acqua all'energia". Per questa attività didattica è stato necessario creare una scena apposita; questo percorso inizia infatti con il visitatore che si trova all'interno della Dora Riparia a Serre La Voute, a circa 8 chilometri dal fabbricato motori, luogo in cui invece si trovava nella scena precedente. Una volta terminato il percorso, l'utente verrà automaticamente riportato all'interno del fabbricato motori, nella scena uno.

La scena tre è riservata all'archivio storico digitale della centrale e delle opere idrauliche. A questo archivio si accede interagendo con la turbina Pelton presente nella scena uno. Il fruitore verrà in questo caso "spostato" al quinto ed ultimo piano della torre adiacente la centrale e lì inizierà la visita tra disegni, verbali ed altri elaborati storici disposti e divisi per anni di appartenenza, che

Figura 3.34: Struttura dell'Ambiente Virtuale. La Scena 1 può essere considerata come il contenitore ed il collegamento tra le Scene 2 e 3. Le immagini sono state estrapolate da Unity e sono fedeli alla visualizzazione del modello una volta indossato il visore Oculus Rift.

l'utente potrà scorrere premendoli con i controller. Anche in questo caso una volta terminato il giro, l'utente verrà automaticamente riportato nella scena uno, nel fabbricato motori.



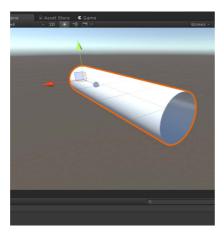


## 3.8.3 Creazione delle animazioni

Terminata l'organizzazione della struttura del progetto è stato a questo punto possibile entrare nel dettaglio e pensare a come creare animazioni ed interazioni tra utente e modello tridimensionale. Per prima cosa è stato necessario settare correttamente le telecamere ed importare nel progetto un plug-in esterno che garantisse il corretto funzionamento del visore Oculus Rift e dei suoi due controller. È consigliabile effettuare quest'operazione nelle fasi iniziali del progetto in maniera tale da poter verificare passo dopo passo il corretto funzionamento delle modifiche progressivamente apportate al modello. L'aspetto fondamentale che permette, una volta indossato il visore, di muoversi all'interno di uno spazio avendo la percezione di essere fisicamente in quel luogo è rappresentato dai Collider. I collider sono dei componenti che possono essere aggiunti ad ogni singolo elemento del modello importato e gestiscono tutte le collisioni. Per intendersi, una volta indossato il visore, passando su un solaio a cui non è stato applicato un collider, l'utente sprofonderà. Al contrario, passando su un solaio con il componente collider, l'utente sarà in grado di camminarci sopra.

Questo concetto vale per tutti gli elementi architettonici e non, presenti nel modello (per esempio: se ad un albero assegniamo il componente collider, nel momento in cui andiamo a sbatterci contro si crea un impedimento fisico come nella realtà, altrimenti andandoci a sbattere contro saremmo in grado di attraversarlo). Al modello in questione sono stati associati i MeshCollider, collider specifici che calcolano le collisioni sulla base di geometrie scelte invece

Figura 3.35: A sinistra, Mesh Collider



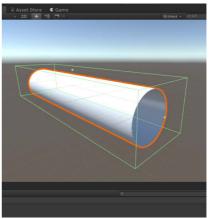


Figura 3.36: A destra, Box Collider

che su forme geometriche generiche come cubi, sfere o capsule.

Una volta impostati correttamente Box e Mesh Collider, l'utente può muoversi liberamente all'interno della centrale rispettando i limiti fisici di muri, solai, porte... come se si trovasse effettivamente nella realtà.

Per ciò che riguarda invece le interazioni tra utente e oggetti, sono stati utilizzati dei Collider speciali, i Trigger. Questi servono per la creazione di oggetti non tangibili, ma di cui si vogliono in ogni caso rilevare le collisioni. Per semplificare, possiamo pensarli come delle "aree interruttore". Non appena l'utente entra in quest'area succede qualcosa (parte una voce narrante, compaiono delle scritte, appaiono delle immagini...). I trigger si creano partendo dai Box Collider semplicemente spuntando la casella Is Trigger. Da questo momento l'oggetto può compenetrare altri collider. Quello che deve succedere una volta entrati nell'area interruttore deve essere specificato dal programmatore attraverso la compilazione di uno script, che è sostanzialmente l'azione da assegnare al trigger. Nel caso della seguente tesi tutte e cinque le attività didattiche vengono attivate grazie all'uso di trigger abbinati a tre specifici Script compilati in Visual Studio che sono:

• PlaySound: questo script è stato utilizzato nella Scena 2. Consiste nell'attivazione di una voce narrante che spiega il funzionamento delle parti che compongono l'impianto idroelettrico. La spiegazione vocale viene attivata ogni volta che l'utente, proseguendo nel suo percorso, preme i bottoni rossi relativi alle diverse parti. Al fine di rendere migliore l'esperienza virtuale, ogni utente può scegliere se ascoltare tutte le spiegazioni, solo quelle di maggior interesse oppure nessuna.

```
Assembly-CSharp
                                                 ▼ ¶ PlaySound
    using System.Collections;
         public class PlaySound : MonoBehaviour {
              public AudioClip SoundToPlay;
              public float Volume;
              AudioSource audio;
public bool alreadyPlayed = false;
    8
   10
               void Start ()
                   audio = GetComponent<AudioSource>();
   12
   14
   15
               void OnTriggerEnter()
   16
   17
                   if (!alreadyPlayed)
   18
   19
                       audio.PlayOneShot(SoundToPlay, Volume);
   20
                       alreadyPlayed = true;
   21
```

• SwitchScene: consente una volta entrati nell'area interruttore di cambiare scena. Questo script è stato utilizzato per passare dalla Scena 1 "Fabbricato Motori" alla Scena 2 "Dall'acqua all'energia" e dalla Scena 2 alla Scena 1 una volta terminato il percorso. È anche stato utilizzato per passare dalla Scena 1 "Fabbricato motori" alla Scena 3 "Archivio Storico Digitale" per poi fare ritorno alla Scena 1 terminata l'attività.

UICanvas: consente di attivare etichette di testo, testi, immagini e textures
ogni volta che il visitatore entra all'interno di un trigger. Questo script è
stato utilizzato solamente nella Scena 1 dato che, nelle Scene 2 e 3 per una
migliore comprensione dell'impianto idroelettrico, sono stati inseriti dei
testi e delle etichette di testo sempre presenti.

```
using System.Collections;
        using System.Collections.Generic;
       using UnityEngine:
       using UnityEngine.UI;
      Epublic class Sho
                        Text : MonoBehaviour {
           public GameObject UiObject;
           public GameObject cube;
           // Use this for initialization
           void Start () {
               UiObject.SetActive(false);
10
11
            void OnTriggerEnter(Collider other)
               if (other.tag == "Player")
14
15
                   UiObject.SetActive(true);
18
           // Update is called once per frame
           void Update () {
21
22
            void OnTriggerExit(Collider other)
               UiObject.SetActive(false):
               Destroy(cube);
```

 Panel Opener: questo script sta alla base del corretto funzionamento dei bottoni che l'utente si troverà di fronte durante lo svolgimento dell'esperienza virtuale. Questo codice consente di aprire e chiudere un pannello ogni volta che viene premuto il bottone. In questo caso è stato utilizzato nel modellino delle funzioni per l'attivazione dei testi delle parti che compongono l'impianto e per l'attivazione delle immagini riportanti profilo delle condotte e grafico sui dati energetici.

 ChangeImage: questo script è stato creato per permettere lo scorrimento delle immagini premendo sulle stesse. Questo script è stato associato ad un bottone a cui sono poi state assegnate delle immagini come texture. L'utente trovandosi di fronte agli elaborati storici nell'archivio digitale virtuale potrà premere sui disegni riportati e scorrerli a suo piacimento.

```
→ ds change2
ssembly-CSharp
       ⊡using UnityEngine;
         using UnityEngine.UI;
        using System.Collections;
       □public class change2 : MonoBehaviour
             public Sprite[] sl;
             public Button bl;
             int count = 0;
 11
 12
 14
 15
                 sl = Resources.LoadAll<Sprite>("1921");
             public void On_Click_Button()
                count++:
                if (count == sl.Length) {
                count = 0;
                bl.image.sprite = sl[count];
 27
 28
```

Una volta testato il corretto funzionamento di tutto l'intero progetto, il passo conclusivo è stato quello di inserire le luci in modo che tutte e tre le scene risultassero luminose allo stesso modo, soprattutto negli spazi interni. Sono poi state create delle Lightmap (texture map che contiene tutti i valori di luci ed ombre proiettate sugli oggetti presenti all'interno della scena) ed il modello è stato renderizzato.

# CAPITOLO 04 Risultati

## 4.1 Interoperabilità

Con l'obiettivo di creare un modello BIM completo ed affidabile in tutte le sue parti (grafiche ed informative) utilizzato per la realizzazione di un Tour Virtuale navigabile con la tecnologia Oculus Rift, sono stati utilizzati diversi software. Questo perché essendo il modello BIM totalmente navigabile e fruibile è stata necessaria una modellazione "intelligente" delle diverse parti dell'impianto idroelettrico in modo tale che il risultato dal punto di vista grafico fosse il più naturale ed immersivo possibile, non tralasciando comunque il contenuto di informazioni inserite nel modello. Questo complesso processo ha permesso di compiere una serie di test di interoperabilità tra le diverse piattaforme utilizzate e di trarre alcune conclusioni o riflessioni circa il trasferimento dei dati. È stato particolarmente interessante il fatto di aver utilizzato sia programmi appartenenti alla stessa azienda che ad aziende diverse. Ovviamente le maggiori criticità si sono riscontrate tra software appartenenti a diverse aziende.

Questi test sono stati svolti avendo ben chiaro in mente quale fosse l'utilizzo del modello BIM in quanto proprio da questo son dipese le scelte relative al tipo di file da utilizzare per lo scambio di dati tra diverse piattaforme. Queste valutazioni si sono rivelate importantissime in quanto le modalità di scambio dei dati tra piattaforme possono essere molto diverse e a seconda del formato scelto per il passaggio dei dati i risultati ottenuti possono essere totalmente diversi tra di loro. L'importanza di individuare e tenere bene a mente durante tutta la modellazione l'utilizzo che verrà fatto del modello permette quindi di individuare quali informazioni fondamentali non possono assolutamente mancare (che siano di tipo grafico o analitico) e semplificare quindi il lavoro di "scelta" del formato di scambio da utilizzare. Di seguito vengono illustrati i due test più significativi sull'interoperabilità tra piattaforme, senza soffermarmi su tutti i test minori eseguiti durante lo svolgimento dell'intero processo.

Il primo test effettuato nelle fasi iniziali del lavoro ha riguardato il software BIM ArchiCAD sviluppato da Graphisoft con il software Infraworks sviluppato da Autodesk. Inizialmente la modellazione del caso studio era prevista interamente con il software BIM sviluppato da Graphisoft. Il test effettuato nelle fasi

preliminari del lavoro ha messo in luce, ancora prima di iniziare la modellazione dei fabbricati, una criticità che se riscontrata nelle fasi avanzate del lavoro, avrebbe comportato notevoli problematiche. Una volta ottenuto il modello del terreno georeferenziato in Infraworks non è possibile importarlo direttamente in ArchiCAD. I due programmi hanno solamente un unico formato di scambio dati in comune che è il COLLAborative Design Activity (DAE), ma a causa della vasta porzione di territorio selezionata, il peso del file era eccessivo e dunque non importabile in ArchiCAD. A questo punto si è optato per l'utilizzo di un software GIS per la creazione del Modello Digitale del Terreno e passando successivamente in Revit si è ottenuto il risultato cercato. Nel mio particolare caso studio non è stato possibile creare un terreno in Infraworks per poi importarlo in ArchiCAD.

Un secondo test effettuato nelle fasi più avanzate del lavoro ha invece riguardato il software Revit con cui si stava modellando il fabbricato motori della centrale di Chiomonte ed il software Inventor per la modellazione delle parti meccaniche, quali ad esempio le giranti delle turbine. La modellazione in Inventor è molto intuitiva e ben organizzata. Si modellano tutte le parti che compongono un oggetto separatamente e le si salva in un file di parte (formato IPT), dopodiché è possibile assemblare le singole parti ottenute in un modello d'assieme e salvarlo in formato IAM. A questo punto l'assieme generato si può tranquillamente esportare in formato RFA (formato delle famiglie di Revit) ed importarlo in Revit senza difficoltà e soprattutto senza perdite di informazioni grafiche ed analitiche o testuali. Lo scambio di dati tra questi due software è risultato molto facile oltre che molto sicuro ed affidabile.

## 4.2 II Modello BIM

La parte più dispendiosa dal punto di vista del tempo impiegato per lo sviluppo del lavoro ha riguardato la creazione del modello BIM navigabile con la tecnologia di Realtà Virtuale. Anche in questa fase, come già detto precedentemente, la modellazione è stata fatta tenendo in considerazione il risultato finale da raggiungere e l'uso che doveva essere fatto del modello. Proprio a questo scopo si è sviluppato l'intero modello con un elevato livello di dettaglio corrispondente al C/D della scala italiana, in quanto nel caso specifico trattato molta importanza è data dalla corretta visualizzazione degli elementi

presenti nel modello. Si capisce bene che trattandosi di un'esperienza virtuale totalmente immersiva, le sensazioni provate e la percezione degli spazi risultino molto meno destabilizzanti tanto più affidabile e realistico risulta l'aspetto grafico del modello. Per il raggiungimento di questi obiettivi è stato realizzato un modello BIM ricco di elementi modellati ad Hoc.

I principali esempi riguardano la modellazione delle parti meccaniche ed impiantistiche già precedentemente citate e realizzate con Autodesk Inventor. In particolar modo qui sono state modellate le due turbine di tipo Pelton (composte dalle due giranti e dalle due casse), i due alternatori ed i sistemi delle condotte forzate. Sono ancora state poi modellate tutte le paratoie di nuova installazione nelle opere di presa di Susa e quelle di sbarramento collocate nelle opere di presa di Serre La Voute.

Un altro esempio molto significativo è rappresentato dalla modellazione ad hoc del caratteristico sistema di sostegno della copertura lignea del fabbricato motori mediante l'utilizzo di capriate in acciaio ed arcarecci. In questo caso è stato utilizzato un Software specifico per la modellazione delle strutture in acciaio (Autodesk Advance Steel) che ha premesso di ottenere il modello finale scegliendo i profili corretti delle aste e i tipi di giunti attingendo da una libreria di riferimento integrata nel Software. Il risultato ottenuto dal punto di vista grafico è stato eccezionale in quanto il modello generato corrisponde in tutti i dettagli alla struttura reale (comprensiva di bulloni, rivetti e saldature). Anche dal punto di vista del contenuto di informazioni il modello risulta essere affidabile in quanto i giunti ed i profili presenti all'interno delle librerie contengono una serie di informazioni che automaticamente vengono portate all'interno del modello generato.

Durante la modellazione in Revit è stato fatto uso massiccio delle famiglie parametriche personalizzate per la creazione degli elementi architettonici caratteristici dell'impianto, come ad esempio le finestre, i portoni di accesso alla centrale e la vetrata panoramica posta al primo piano del fabbricato motori. Sicuramente in questo lavoro il contenuto grafico dei componenti del modello ha giocato un ruolo fondamentale, nonostante ciò particolare attenzione si è dimostrata anche nei confronti del contenuto informativo. A tal proposito, al fine di rendere ogni singolo componente del modello univoco e specifico, sono stati creati dei parametri condivisi per l'assegnazione di un codice identificativo agli elementi. Attraverso questo codice viene fatta una sorta di catalogazione di tutti gli elementi presenti all'interno del modello, divisi per categorie di oggetti.

Il risultato ottenuto una volta terminata la modellazione in Revit è coerente con l'obiettivo inizialmente prefissato; inoltre determinate parti del modello sono risultate addirittura migliorative rispetto a ciò che inizialmente mi sarei potuto aspettare. Al risultato estremamente soddisfacente contrappongo però una personale considerazione che ho potuto trarre solamente alla fine del percorso. Raggiungere questo piacevole risultato in Revit non è stato semplice soprattutto a causa dell'utilizzo di diverse piattaforme di modellazione intermedie. Trascurando le problematiche relative all'interoperabilità tra software già precedentemente citate, lo sforzo in termini di tempo fatto per raggiungere gli obiettivi grafici prefissati è a tratti risultato eccessivo. Una riduzione minima del livello di dettaglio di determinati elementi, che non avrebbe probabilmente inficiato minimamente sulla resa grafica del progetto, avrebbe sicuramente comportato una drastica riduzione del tempo necessario per la modellazione. Un esempio pratico riguarda la modellazione delle capriate in acciaio che è stata molto lunga e forse troppo dispendiosa in termini tempistici, in quanto l'ottenimento di un modello perfettamente corrispondente alla realtà (anche dal punto di vista analitico oltre che grafico) in questo specifico caso d'uso non trova applicazione. Tuttavia, queste considerazioni sono maturate solamente a lavoro pressoché terminato.

# 4.3 Il processo BIM per la creazione di un Virtual Tour

La creazione di un Tour Virtuale partendo dalla realizzazione di un modello BIM segue un processo logico e cronologico ben definito. In questo breve paragrafo vengono messi in evidenza sia i vantaggi che le principali criticità emerse durante il percorso.

La principale criticità emersa riguarda l'interoperabilità tra software. In un modello in cui molte componenti sono specifiche, vengono utilizzati software specifici per la loro modellazione. Questa situazione è risultata in alcuni casi di facile gestione, mentre in altri difficoltosa in quanto la non precisa interoperabilità tra le piattaforme e l'incompleto (o il non corretto) scambio di dati tra di esse ha continuamente portato a stabilire quali fossero le informazioni rilevanti che il modello doveva contenere e quali quelle meno rilevanti che si potevano tralasciare. Allo stesso tempo l'interoperabilità tra diverse piattaforme rappresenta un punto di forza poiché è stato possibile ottenere, seppur con

fatica, un modello multidisciplinare completo in tutte le sue parti.

Il secondo aspetto critico rilevato riguarda le dimensioni del modello BIM. Essendo l'area di interesse molto vasta, il modello ricco di edifici ed opere accessorie e dopo aver inserito i diversi componenti modellati con altri programmi al suo interno, la dimensione finale del file risultava decisamente pesante (circa 850 MB), iniziando a creare qualche rallentamento e qualche difficoltà nella sua navigazione. Questa criticità è però stata facilmente bypassata grazie ad uno dei molti vantaggi della metodologia BIM. Il file su cui era stata fatta tutta la modellazione è stato splittato e suddiviso in diverse parti in base alla loro funzione. Si sono così ottenuti diversi file di modello Revit che sono stati importati all'interno di un nuovo file ed attraverso la condivisione e l'acquisizione delle coordinate è stato possibile posizionarli in maniera precisa grazie alla georeferenziazione. Si è passati quindi da un unico modello integrato ad un modello federato di dimensioni estremamente più ridotte e gestibili da qualunque macchina (circa 20 MB).

# 4.4 Visualizzazione dei dati con la Virtual Reality

L'ultimo aspetto ancora da indagare riguarda l'importazione del modello BIM in specifici motori grafici per la sua visualizzazione ed interrogazione attraverso la Realtà Virtuale. Questa fase si è rivelata nuova e particolarmente intricata soprattutto a causa della non conoscenza del software (Unity). Una volta capito il funzionamento generale del programma però, è stato possibile individuarne i principali punti di forza e gli aspetti di maggior risalto.

Una volta importato il modello BIM, è possibile inserire al suo interno determinate informazioni che verranno restituite all'utente finale in maniera facile ed intuitiva compiendo delle azioni. L'aspetto più difficoltoso di questo processo ha riguardato la creazione degli script per le animazioni; molto spesso non riuscendo ad ottenere il risultato inizialmente prefissato è stato necessario cercare un compromesso tra interazione programmata e risultato finale. Nonostante tutto, il risultato finale ottenuto soddisfa gli obiettivi che ci si era inizialmente prefissati a livello di contenuti e di fruizione. Ovviamente continuando ad implementare il modello in Unity è possibile ottenere risultati sempre migliori sotto l'aspetto grafico e di esperienza virtuale, migliorando ed implementando l'interazione tra utente e modello.

# CAPITOLO 05 Conclusioni e Sviluppi futuri

## 5.1 Conclusioni

Con la presente tesi ci si prefiggeva l'obiettivo della creazione di un Tour Virtuale della centrale idroelettrica di Chiomonte attraverso l'utilizzo della metodologia BIM. Questo lavoro ha permesso di mettere in evidenza gli step necessari per il raggiungimento degli obiettivi inizialmente prefissati, oltre che stabilire eventuali vantaggi/criticità emerse durante l'intero processo sull'utilizzo della metodologia BIM applicata a questo caso studio.

Per una maggior semplificazione mentale ed esecutiva, lo svolgimento complessivo è stato suddiviso in quattro principali fasi di lavoro che sono state:

- la raccolta di materiale e creazione dei DataBase
- la modellazione del terreno
- la modellazione dei fabbricati e degli impianti
- Realtà Virtuale.

Dopo aver suddiviso ed organizzato il lavoro, il primo step affrontato ha riguardato la scelta dei programmi e delle piattaforme da utilizzare, soprattutto in relazione agli obiettivi prefissati da raggiungere. Per questo sono stati fatti in maniera preliminare diversi test sull'interoperabilità tra software in modo tale da mettere subito in evidenza eventuali punti di forza/criticità/lacune che mi hanno automaticamente portato alla scelta dei programmi da utilizzare.

Scelta del software, modalità di modellazione e risultati ottenuti sono infatti strettamente legati tra di loro, in quanto la corretta scelta di un programma (soprattutto se basata su come e cosa è possibile esportare dal programma stesso) permette di ottenere le informazioni fondamentali cercate e volute per lo scopo del lavoro tralasciando quelle superflue. A questo proposito il modello sviluppato è un modello avente LOD C/D in determinate parti in cui moltissima attenzione è stata posta alla rappresentazione ed alla visualizzazione graficamente corretta degli elementi modellati. È stata data particolare importanza a questo aspetto proprio in relazione all'esperienza immersiva e dunque sensoriale che l'utente si troverà a compiere all'interno di questo ambiente virtuale riprodotto.

Il processo che ha portato alla realizzazione finale di questo ambiente virtuale

navigabile è nel complesso risultato chiaro e sin da subito delineato, dato che corrisponde circa alla suddivisione fatta nelle fasi preliminari della tesi per l'organizzazione del lavoro. Si sono invece incontrate alcune difficoltà nello scambio di dati tra le diverse piattaforme che sono però state risolte inserendo terzi programmi.

Le difficoltà maggiori hanno per me riguardato la visualizzazione del modello in Unity e la creazione delle interazioni in quanto, non avendo particolari competenze in campo di programmazione, ci si è dovuti accontentare di interazioni semplici, ma comunque efficaci, per la comunicazione dei contenuti sviluppati ed inseriti.

# 5.2 Sviluppi futuri

Per quanto riguarda possibili sviluppi futuri del lavoro sin qui svolto, va innanzitutto detto che il principale utilizzo che ne verrà fatto sarà l'inserimento dello stesso all'interno di un allestimento museale che Iren Energia ha in previsione di allestire all'interno della sala macchine della centrale idroelettrica di Chiomonte. Questo utilizzo è insito negli obiettivi prefissati per la presente tesi.

Ulteriori sviluppi sempre relativi all'utilizzo museale, possono riguardare il miglioramento dell'esperienza virtuale vissuta con il costante miglioramento della resa grafica e delle interazioni possibili all'interno dell'ambiente. Per ciò che riguarda il miglioramento dell'esperienza virtuale sarebbe opportuno sviluppare un questionario da sottoporre ad un campione di utenti i quali, attraverso le risposte fornite, andrebbero ad indicare i punti di forza e le lacune emerse durante l'esperienza vissuta. Per questi miglioramenti e quelli legati all'interazione, comunque, occorre una conoscenza del programma specifica ed approfondita.

Altri sviluppi futuri potrebbero invece riguardare l'utilizzo dell'ambiente virtuale creato per formazione del personale piuttosto che per interventi manutentivi degli impianti. Ovviamente, per questi possibili utilizzi, il modello andrebbe integrato in alcune specifiche parti e nel suo contenuto informativo. Il lavoro fin qui sviluppato comunque rappresenta una buona base di partenza per possibili implementazioni future.

## **BIBLIOGRAFIA**

- Antinucci F., Musei Virtuali, Bari, Editori Laterza, 2007
- Azzoni G., Gasparotti C., Nodari M., *Il progetto museale. Progetto preliminare, in Museo dell'energia idroelettrica di Valle Camonica*, s.l., s.d.
- Bonazza M., Pozzoli S., Villa S., *Revit 2019 per l'Architettura*, Milano, Tecniche Nuove, 2019
- Bonicelli G., Energia per Torino: i 75 anni dell'A.E.M, Torino, Daniela Piazza Editore, 1982
- Calabi D., Travaglini C., Built city, designed city, virtual city, the museum of the city, Roma, Croma, 2013
- Carboni M., UNITY. Guida pratica per creare videogiochi, app, realtà aumentata e virtuale, Milano, Editore Ulrico Hoepli Milano, 2018
- Di Carlo B., Realtà virtuale, aumentata e immersiva per la rappresentazione del costruito, Firenze, Altralinea Edizioni, 2017
- Del Monaco G., Piccole Centrali Idroelettriche, s.l., Libri Sandit, 2001
- Evangelisti G., *Impianti Idroelettrici*, Vol.1 e Vol.2, s.l., Patron, 1900
- Garbarino D., AEM elettricità per lo sviluppo di Torino, Savigliano, Edizioni EDA, 1972
- Gaudio F., 1907-2007 Un secolo di energia, Dall'Azienda Elettrica Municipale ad Iride, s.l., Litografia Geda, 2007
- Giani M., Mirarchi C., Pavan A., *BIM: metodi e strumenti. Progettare, costruire e gestire nell'era digitale*, Tecniche Nuove, 2017
- Jolivalt B., *La realtà virtuale*, Roma, Armando Editore, 1999
- Lanier J., L'alba del nuovo tutto, Milano, Il Saggiatore, 2019
- Montagna L., Realtà virtuale e realtà aumentata: Nuovi media per nuovi scenari di business, Milano, Hoepli Editore, 2018
- Morganti F., Riva F., Conoscenza, comunicazione e tecnologia: aspetti cognitivi della realtà virtuale, s.l., Led Eedizioni Universitarie, 2006
- Osello A., Il futuro del disegno con il BIM per Ingegneri e Architetti, Palermo, Dario Flaccovio, 2012
- Polatti F., Centrali idroelettriche in Valtellina: architettura e paesaggio 1900-1930, s.l., Cultura e Industria, 2003
- Portaluppi P., Aedilitia, s.l., s.d.
- Tanzini M., *Impianti Idroelettrici. Progettazione e costruzione*, s.l., Flaccovio Dario, 2013

## **SITOGRAFIA**

- https://it.wikipedia.org/wiki/Dora\_Riparia
- http://www.aemcomunechiomonte.it/?page\_id=716
- http://www.difesa.it/Content/Pagine/torino\_prima\_capitale\_ditalia.aspx
- https://www.visitatorino.com/storia-di-torino/index.html
- https://it.wikipedia.org/wiki/Storia\_diTorino#Torino\_capitale\_d'Italia\_ (1861-1864)
- https://www.comune.chiomonte.to.it/a-e-m/aem\_produzione-energia/
- https://www.comune.chiomonte.to.it/archivio-storico/
- https://www.gruppoiren.it/documents/21402/113551/un\_secolo\_di\_energia\_1907\_2007.pdf/53d0b22e-a823-418b-b077-cab1875fc0cf
- https://www.periodicipiemonte.it/index.php?c=scheda&s=260547
- https://it.wikipedia.org/wiki/Turbina\_idraulica
- https://www.erg.eu/it/i-nostri-business/hydro/come-funzionano-lecentrali-idroelettriche/scopri-le-tipologie-di-turbine
- http://www.societaelettricaitaliana.it/tipologie\_turbine\_idroelettrico.htm
- https://www.geppert.at/
- http://www.enerecosrl.com/portale\_informativo/idroelettrico\_turbine.
   php
- http://biblus.acca.it/focus/bim-building-information-modeling/
- https://www.bimportale.com/bim-flussi-lavoro/
- https://www.nibs.org/
- https://www.edilportale.com/news/2015/10/focus/bim-a-cosa-serve-e-chi-lo-user%C3%A0\_48424\_67.html
- http://biblus.acca.it/come-il-bim-cambia-il-nostro-modo-di-lavorare/
- http://www.cclm.eu/images/BIM\_Assobim\_web.pdf
- http://bim.acca.it/bim-nei-paesi-scandinavi/
- https://harpaceas.it/recepimento-della-direttiva-ue-del-gennaio-2014-sul-bim/
- https://ithinkbim.wordpress.com/bim-nel-mondo-2/
- http://bim.acca.it/il-bim-in-germania-il-piano-pubblico-20152020-ed-il-piano-privato-planen-bauen-4/
- https://www.str.it/magazine-edilizia/bim/la-normativa-europea
- https://www.ediltecnico.it/62061/bim-italia-bilancio-prospettive/

- https://blog.archicad.it/la-metodologia-bim-nello-scenario-normativoitaliano-linnovazione-si-fa-attendere
- https://www.ibimi.it/
- https://www.ingenio-web.it/23986-bim-report-2019-da-assobim-limmagine-di-un-mercato-in-crescita
- http://biblus.acca.it/focus/il-bim-e-le-stazioni-appaltanti/
- http://www.mit.gov.it/normativa/decreto-ministeriale-numero-560del-01122017
- https://www.gazzettaufficiale.it/atto/serie\_generale/caricaDettaglioAtto/ originario?atto.dataPubblicazioneGazzetta=2016-04-19&atto. codiceRedazionale=16G00062
- http://architectis.it/onewebmedia/AIA%C2%AE%20Document%20 G202TM%20%E2%80%93%202013.pdf
- https://www.01building.it/bim/lod-progettazione-bim/
- http://www.ibimi.it/lod-livello-di-dettaglio-per-il-bim/
- https://www.progettiamobim.com/blog/approfondimenti/i-gradi-dei-lod/
- https://www.ingenio-web.it/7243-norma-uni-11337-sul-bim-nuove-parti-9-e-10
- http://store.uni.com/catalogo/uni-11337-7-2018?josso\_back\_ to=http://store.uni.com/josso-security-check.php&josso\_cmd=login\_ optional&josso\_partnerapp\_host=store.uni.com
- https://bim.natspec.org/
- https://bim.natspec.org/images/NATSPEC\_Documents/NATSPEC\_BIM\_ LOD\_Paper\_131115.pdf
- https://www.dotacademy.it/il-lato-vintage-della-virtual-reality/
- https://systemscue.it/realta-virtuale-storia/14375/
- https://www.virtualerealta.it/storia-realta-virtuale-30/
- https://marketinginvolvement.wordpress.com/2013/12/21/2-2-realtavirtuale-immersiva-e-non-immersiva/
- https://www.immersivevr.it/
- https://www.acca.it/software-realta-virtuale-costruzioni-edilizia
- https://www.digitalforbusiness.com/realta-virtuale-medicina/
- https://www.realmore.net/soluzioni-realta-aumentata-realta-virtualesettore-medicale-farmaceutico/
- https://www.cadland.it/virtual-e-motions/#
- https://www.vive.com/eu/

- https://www.vive.com/eu/product/vive-pro-eye/overview/
- https://www.oculus.com/rift/?locale=it\_IT
- https://www.samsung.com/it/wearables/gear-vr-r323/
- https://www.autodesk.com/products/infraworks/overview
- http://www.gisinfrastrutture.it/2016/04/le-novita-di-autodesk-infraworks-360-2017/
- https://it.wikipedia.org/wiki/FBX
- https://knowledge.autodesk.com/it/search-result/caas/sfdcarticles/ sfdcarticles/ITA/System-requirements-for-Autodesk-FormIt.html
- https://www.filetypeadvisor.com/it/extension/dxf
- https://knowledge.autodesk.com/it/support/autocad-architecture/learnexplore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ITA/AutoCAD-Architecture/ files/GUID-E640D193-F6D9-497E-BEC2-D846D720B50B-htm.html
- https://www.infobuild.it/approfondimenti/gis-cose-e-a-cosa-serve/
- https://it.wikipedia.org/wiki/Geographic\_information\_system
- http://bim.acca.it/tecnologia-gis-a-cosa-serve/
- https://www.openoikos.com/blog/le-basi-di-qgis-i-formatidellinformazione-geografica/
- http://bim.myti.it/bim-rilasci/BIM\_Downloads/documentazione/BIM\_ Appendice.pdf
- Fonte: AA.VV., Piano di tutela delle acque Allegato tecnico II.h/1 Bilancio delle disponibilità idriche naturali e valutazione dell'incidenza dei prelievi Bilancio idrologico Rapporto tecnico; tabella 8, pag. 28; luglio 2004; Regione Piemonte (consultato nel dicembre 2011)
- https://knowledge.autodesk.com/support/inventor/learn-explore/caas/ CloudHelp/cloudhelp/2019/ENU/Inventor-Help/files/GUID-D20CD536-0577-4253-BE0E-F07508BE1E81-htm.html
- https://ketiv.com/blog/inventor-to-revit-the-bim-exchange-program/
- http://musei.beniculturali.it/struttura
- https://www.beniculturali.it/mibac/export/MiBAC/sito-MiBAC/ Contenuti/Ministero/visualizza\_asset.html\_1947521712.html
- https://www.carraro-lab.com/mostre-virtuali-e-musei-immersivi/
- http://www.spacespa.it/esperienze/
- https://it.wikipedia.org/wiki/Museo\_virtuale
- http://www.fondazionememmo.it/nefertari-regina-degitto/
- https://www.getty.edu/conservation

- https://it.wikipedia.org/wiki/Getty\_Conservation\_Institute
- https://www.carraro-lab.com/portfolio-item/brixia-parco-archeologico/
- https://www.m9museum.it/il-museo/
- https://www.lastampa.it/cultura/2013/04/05/news/gli-etruschi-rivivono-grazie-alla-realta-virtuale-1.36101539
- https://www.musilbrescia.it/sedi/cedegolo/
- http://www.turismovallecamonica.it/it/content/musil-museo-dellenergiaidroelettrica-di-valcamonica
- https://it.wikipedia.org/wiki/Museo\_dell'energia\_idroelettrica\_di\_ Valcamonica
- https://unity.com/
- https://www.html.it/guide/guida-unity-3d/
- https://www.unrealengine.com/en-US/
- https://www.tomshw.it/videogioco/unreal-engine-5-grafica-confronto-unreal-engine-4/
- https://www.epicgames.com/store/it/
- https://www.html.it/pag/48885/collider-gestire-le-collisioni-in-unity/
- https://www.html.it/pag/51055/baking-e-lightmaps/
- http://www.arapacis.it/it/infopage/tour-virtuale-del-museo-dellara-pacis