



# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRIESTE

XXIX CICLO DEL DOTTORATO DI RICERCA IN  
INGEGNERIA E ARCHITETTURA

---

## CONTRIBUTO PER IL RECUPERO SOSTENIBILE DEL PORTO VECCHIO DI TRIESTE

Sviluppo di una piattaforma informativa a supporto  
della redazione di linee guida per il recupero degli edifici

Settore scientifico-disciplinare: ICAR/10 – Architettura Tecnica

DOTTORANDO  
Giovanni Cechet

COORDINATORE  
prof. ing. Claudio Amadio

SUPERVISORE DI TESI  
prof. ing. Edino Valcovich

ANNO ACCADEMICO 2015/2016

Università degli Studi di Trieste

XXIX Ciclo del Dottorato di Ricerca  
in Ingegneria e Architettura

# **Contributo per il recupero sostenibile del Porto Vecchio di Trieste**

Sviluppo di una piattaforma informativa a supporto  
della redazione di linee guida per il recupero degli edifici

Settore scientifico-disciplinare:  
ICAR/10 – Architettura Tecnica

Dottorando  
ing Giovanni Cechet

Coordinatore  
prof ing Claudio Amadio

Supervisore di Tesi  
prof ing Edino Valcovich

Anno Accademico  
2015/2016

# | Sommario

<b>Introduzione</b>	<b>6</b>
<b>Sostenibilità nel recupero del patrimonio edilizio esistente</b>	<b>8</b>
Sostenibilità in edilizia	9
<i>Sviluppo Sostenibile</i>	9
<i>Architettura Sostenibile</i>	10
<i>Ciclo di vita ed Ecobilancio</i>	12
<i>Fonti rinnovabili di energia (FER)</i>	13
Efficienza energetica nell'edilizia	14
Sostenibilità e patrimonio edilizio esistente	14
<i>Quadro normativo europeo</i>	14
<i>Recepimento nei paesi membri</i>	15
<i>Patrimonio edilizio esistente in Italia</i>	16
<i>Metodologie e strumenti operativi</i>	17

<b>Heritage BIM e sistemi GIS</b>	<b>28</b>
Approccio BIM	29
<i>Dalla carta al BIM</i>	29
<i>Definizione</i>	31
<i>Il concetto di LOD</i>	33
Approccio Heritage-BIM	36
Sistemi GIS	38
Fotogrammetria e nuvole di punti	40
Integrazione H-BIM e GIS	40
<i>Formati di interscambio dati</i>	40
<i>“Metodologia”</i>	41
<b>Porto Vecchio di Trieste</b>	<b>42</b>
Fatti storici	43
<i>Lo Sviluppo della Città e del Porto di Trieste</i>	43
<i>L'impero Austro-Ungarico e il regime di Punto Franco</i>	44
<i>La ferrovia Meridionale e l'aumento dei traffici</i>	44
<i>Progetto e costruzione del Hafen von Triest</i>	54
<i>Il Porto di Trieste diventa Porto Vecchio</i>	70
<i>Bombardamenti durante la seconda guerra mondiale</i>	72
<i>Secondo dopoguerra</i>	72
Attualità	74
<i>La variante al Piano Regolatore Portuale Barduzzi</i>	77
<i>Sdemanializzazione e spostamento del Punto Franco</i>	80
<i>Linee Guida Strategiche Ernest&amp;Young</i>	81
Architettura	88
<i>Ballatoi</i>	88
<i>“Perron”</i>	90
<i>Facciata: avancorpi e aperture</i>	91
Tecnologia	92
<i>Utilizzo della Terra di Santorini</i>	92
<i>Sperimentazione della tecnica del calcestruzzo armato</i>	93
<i>Gru idrauliche e rete di distribuzione</i>	96
Sistema tecnologico	97
<i>Strutture portanti</i>	97
<i>Chiusure</i>	102
<i>Partizioni</i>	103

<b>Sviluppo della Piattaforma Informativa</b>	<b>112</b>
Tecnologie e strumenti utilizzati	114
<i>Server LAMP</i>	114
<i>BIMserver</i>	115
<i>Potree</i>	116
<i>LeafletJS</i>	117
<i>Quantum GIS</i>	117
<i>Autodesk Revit</i>	119
<i>Agisoft Photoscan</i>	120
Strutturazione del database	120
<i>Caratterizzazione dell'organismo edilizio</i>	121
<i>Collegamento a QGIS</i>	123
<i>Collegamento a BIMserver</i>	124
Risultati ottenuti	124
<i>Vista mappa</i>	124
<i>Scheda organismo edilizio</i>	126
<i>Vista dati aggregati</i>	130
<i>Modello BIM</i>	130
<i>Nuvola di punti</i>	131
<i>Integrazione con QGIS</i>	131
Esempio di utilizzo	132
<i>Interrogazione del Database</i>	132
<i>Elaborazione dati</i>	133
<i>Analisi dei risultati</i>	133
<b>Linee Guida per il recupero degli edifici</b>	<b>134</b>
Classificazione degli edifici	135
<i>Magazzini e Capannoni</i>	136
<i>Varchi doganali</i>	137
<i>Edificio ex-mensa, Casa degli operai</i>	139
<i>Edificio ex-locanda</i>	139
<i>La casa dell'amministrazione</i>	140
Proposte di intervento sugli edifici	142
<i>Strutture portanti</i>	142
<i>Infissi</i>	158
Altre proposte	160
<i>Implementazione coperture verdi</i>	160
<i>Energie rinnovabili: energia termica dal mare</i>	168
<b>Conclusioni</b>	<b>176</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>180</b>

# Introduzione

Questo elaborato di tesi ha l'obiettivo di riassumere il lavoro sviluppato durante il percorso triennale di Dottorato di Ricerca in Ingegneria e Architettura sostenuto dall'autore, così da presentarne i risultati più rilevanti.

Il Dottorato di Ricerca è stato incentrato sullo studio delle tematiche della sostenibilità nell'edilizia, contestualizzate nel settore del recupero e riuso degli edifici esistenti, dove particolare attenzione è stata rivolta agli edifici ad elevato valore storico - architettonico.

Parallelamente al tema principale, l'autore ha avuto la possibilità di confrontarsi, assieme ad un gruppo di lavoro, su tematiche trasversali rispetto al tema principale, quali la valutazione del ciclo di vita degli edifici (LCA), l'implementazione di coperture verdi su edifici nuovi ed esistenti e l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili.

I temi appena richiamati ritornano, talvolta, all'interno della trattazione e sono stati oggetto, assieme al tema principale, di pubblicazioni scientifiche, spesso presentate a convegni nazionali o internazionali di settore.

Nel primo capitolo della tesi, la trattazione si concentra sui concetti di sostenibilità nell'edilizia, ponendo particolare attenzione all'applicazione di questi concetti nell'ambito del recupero dell'edificato esistente. Si parte da un'introduzione sulla sostenibilità, contestualizzato nelle sue quattro anime: ambientale, economica, sociale ed istituzionale, per poi spostare l'attenzione verso i temi caratteristici dell'architettura sostenibile, trattando le metodiche legate al ciclo di vita e all'ecobilancio, parallelamente ad una sintetica analisi del quadro normativo vigente. Nella parte finale del capitolo, l'attenzione si sposta verso la disamina di tre metodiche relative all'applicazione dei concetti precedentemente analizzati: il Progetto Sechurba, il Progetto A.T.T.E.S.S. e il protocollo GBC Historic Building.

Il secondo capitolo del testo analizza gli strumenti offerti dalle più recenti tecnologie di modellazione informatica degli edifici e come questi possano contribuire a migliorare l'approccio alla documentazione e progettazione del patrimonio edilizio esistente. Il percorso parte dall'analisi dell'approccio BIM, analizzando prima i progressi degli strumenti digitali nella progettazione degli ultimi cinquant'anni, passando per le molteplici definizioni di BIM, per concludere con il concetto di LOD. L'attenzione si sposta, quindi, all'ultima frontiera metodologica di implementazione di questi sistemi sul patrimonio edilizio esistente, ovvero quello che viene definito come H-BIM. Trattando di H-BIM è inevitabile non considerare anche le tecniche innovative del rilievo architettonico, quali la fotogrammetria e la produzione di nuvole di punti. Il capitolo si conclude con una rapida analisi dello stato dell'arte in termini di integrazione di modelli H-BIM in sistemi GIS, Geographical Information System.

Il terzo capitolo è dedicato ad una sintesi relativa al caso studio preso in considerazione per l'applicazione dei concetti trattati in precedenza: il Porto Vecchio di Trieste e i suoi Magazzini e Capannoni. Vengono ripercorsi i fatti storici che hanno caratterizzato quest'area ormai dismessa della Città di Trieste, per poi riassumere le varie iniziative per il recupero dell'area, arrivando all'analisi del Piano Regolatore vigente e alle Linee Guida Strategiche presentate da Ernest&Young a seguito dell'operazione di spostamento del Punto Franco. Il testo quindi si concentra sull'analisi di Architettura e Tecnologia che caratterizzano gli edifici realizzati nella fase iniziale di sviluppo dell'area, ponendo particolare attenzione alle tecniche sperimentali, per l'epoca, del Calcestruzzo Armato. Il capitolo si conclude con l'analisi degli Elementi Tecnici del Sistema Tecnologico secondo l'approccio previsto dall'Architettura Tecnica.

Il quarto capitolo affronta il cuore della ricerca: lo sviluppo della Piattaforma Informativa a supporto del recupero dell'area del Porto Vecchio di Trieste. Il lavoro prende in considerazione tutti gli strumenti e le tecnologie utilizzate, per poi sintetizzare i concetti che hanno portato alla definizione della struttura del Database di tipo relazionale sviluppato a supporto della Piattaforma. Si conclude andando a presentare i risultati ottenuti, delineando le funzionalità della Piattaforma Informativa e proponendo eventuali sviluppi futuri di integrazione con altri strumenti.

L'elaborato si conclude con una proposta per la stesura di Linee Guida destinate al recupero degli edifici del Porto Vecchio. Le Linee Guida partono da una classificazione degli edifici, portando in primo piano le due tipologie più ricorrenti, Magazzini e Capannoni, per poi andare a sintetizzare delle proposte di intervento sugli stessi. Le proposte di intervento sugli edifici sono concentrate sugli Elementi Tecnici che vanno a comporre il Sistema Tecnologico, seguendo il medesimo schema utilizzato nel capitolo relativo l'analisi del caso studio. Si conclude andando a delineare altre due proposte, non inerenti direttamente il recupero dei fabbricati: la prima proposta prevede l'implementazione di sistemi di copertura a verde pensile, mentre la seconda un sistema di teleriscaldamento che utilizzi, come fonte di energia termica, quella contenuta nell'acqua del Golfo di Trieste.

A chiusura del lavoro di tesi, trova spazio un capitolo conclusivo, in cui si analizza con punto di vista critico il percorso svolto durante il Dottorato di Ricerca, riassumendo i risultati ottenuti e riportati in questa Tesi e proponendo eventuali sviluppi futuri per il lavoro finora svolto.

# Sostenibilità nel recupero del patrimonio edilizio esistente

## Sostenibilità in edilizia

### Sviluppo Sostenibile

Lo Sviluppo Sostenibile rappresenta un processo finalizzato al raggiungimento di obiettivi di miglioramento ambientale, economico, e sociale. Questa visione amplia lo spettro d'azione rispetto all'idea più comune nei confronti di questo tema, prendendo in considerazione un processo che deve tener conto delle interazioni tra tutela e valorizzazione delle risorse naturali con la dimensione economica e sociale. Il fine del processo deve essere quello di soddisfare le necessità delle attuali generazioni, evitando di compromettere le risorse delle future.

Lo sviluppo sostenibile può essere suddiviso nelle seguenti aree tematiche:

- Sostenibilità ambientale: capacità di mantenere qualità e riproducibilità delle risorse naturali;
- Sostenibilità economica: capacità di generare reddito e lavoro per il sostentamento della popolazione;
- Sostenibilità sociale/istituzionale: capacità di garantire reddito e lavoro per il sostentamento della popolazione.



Una definizione ampiamente condivisa dello sviluppo sostenibile è quella contenuta nel *Rapporto Brundtland*<sup>1</sup>:

*Lo sviluppo sostenibile, lungi dall'essere una definitiva condizione di armonia, è piuttosto processo di cambiamento tale per cui lo sfruttamento delle risorse, la direzione degli investimenti, l'orientamento dello sviluppo tecnologico e i cambiamenti istituzionali siano resi coerenti con i bisogni futuri oltre che con gli attuali*

Il concetto di sostenibilità si basa sui principi di:

1. Esistenza di vincoli ambientali dovuti alla consapevolezza che il pianeta è finito e non infinito, ovvero il riconoscimento che esiste una *carrying capacity* del pianeta;

<sup>1</sup> Commissione mondiale sull'ambiente e lo sviluppo (1987), *Our Common Future*, U.S.A., Oxford University Press

2. Consapevolezza dovuta all'accettazione del secondo principio della termodinamica, che pone limiti agli usi e alle trasformazioni energetiche;
3. Accettazione delle ipotesi di Herman Daly <sup>2</sup> (uno dei maggiori economisti operanti nell'ambito dell'ecosostenibilità):
  - a) l'utilizzo delle risorse rinnovabili non deve superare il loro tasso di rigenerazione;
  - b) l'immissione di sostanze inquinanti nell'ambiente non deve superare la capacità di metabolizzazione dell'ambiente stesso;
  - c) l'uso di risorse non rinnovabili deve ridursi progressivamente per essere sostituito da risorse di tipo rinnovabile.

## Architettura Sostenibile

L'Architettura Sostenibile è volta a progettare, costruire e gestire edifici in grado di limitare gli impatti nell'ambiente. L'approccio fa riferimento anche al concetto di *Bioedilizia (Baubiologie)*, nato negli anni settanta in Germania, sviluppatosi poi includendo principi ecologici e, più in generale, il concetto di sviluppo sostenibile.

Il termine *Baubiologie* è stato coniato dal dott Hubert Palm, medico tedesco, nel 1968<sup>3</sup>. Palm nella pratica medica osservò che un sempre maggiore numero di pazienti soffrivano di mal di testa, cattiva qualità del sonno e allergie. Per identificare la causa dell'aumento di tali patologie, il medico tedesco iniziò ad analizzare abitazioni ed edifici dove i propri pazienti trascorrevano la maggior parte di tempo per vivere, lavorare e riposare.

Negli anni immediatamente successivi, l'architetto Peter Schid dedicò la propria carriera professionale a sviluppare e progettare costruzioni che non danneggiassero la salute degli occupanti, fondando in Austria l'istituto IBO<sup>4</sup>, il primo istituto al mondo di *Architettura Biologica*.

In Germania, l'ingegnere Anton Schneider tenne nel 1972 il primo corso di architettura biologica all'Università tecnica di Rosenheim, fondando poco dopo l'istituto IBN<sup>5</sup>.

Negli anni successivi, il concetto di Bioedilizia è stato ulteriormente sviluppato, affiancandovi il concetto più generale di Architettura Sostenibile. L'Architettura Sostenibile progetta e costruisce edifici per limitare l'impatto ambientale, ponendosi come finalità progettuali l'efficienza energetica, il miglioramento della salute, del comfort e della qualità della fruizione degli abitanti, raggiungibili mediante l'integrazione nell'edificio di strutture e tecnologie appropriate.

<sup>2</sup> Herman Daily, Elements of environmental macroeconomics. Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability, New York, Columbia University Press, 1991

<sup>3</sup> Hubert Pam, Das gesunde Haus – Das kranke Haus und seine Heilung, Reichl Verlag, 1968

<sup>4</sup> IBO: Österreichisches Institut für Baubiologie und Bauökologie

<sup>5</sup> Istituto di Architettura Biologica + Ecologia Neubeuern

Il concetto di sostenibilità in architettura non è sinonimo solo di risparmio energetico o di riduzione dei consumi, ma racchiude al suo interno anche tutte quelle tematiche proprie del concetto di sostenibilità generale e sviluppo sostenibile, le quali, ormai, non si possono più precludere, considerata la disponibilità limitata di risorse disponibili.

I principi generali su cui si base l'Architettura Sostenibile possono essere identificati in:

1. Sostenibilità
2. Ciclo di Vita
3. Ecobilancio
4. Compatibilità
5. Benessere

**Figura 1** - Esempio recente di architettura sostenibile: il progetto Bosco Verticale sviluppato dall'architetto Stefano Boeri a Milano  
*Wikimedia Common*



L'architettura sostenibile fa proprio il principio della decrescita e di limite già citato nei principi di Herman Daly, inteso come ottimizzazione nell'utilizzo di risorse e riduzione dell'inquinamento in tutte le fasi del ciclo di vita dell'oggetto edilizio.

Proprio per questo si può ritenere implicitamente sostenibile tutta l'architettura sviluppata nell'epoca pre-industriale, determinata da condizioni di relativa scarsità delle risorse, che fu sostenibile per definizione, perché largamente basata su risorse rinnovabili e/o durevoli a bassa energia incorporata come legno, mattoni e pietra<sup>6</sup>.

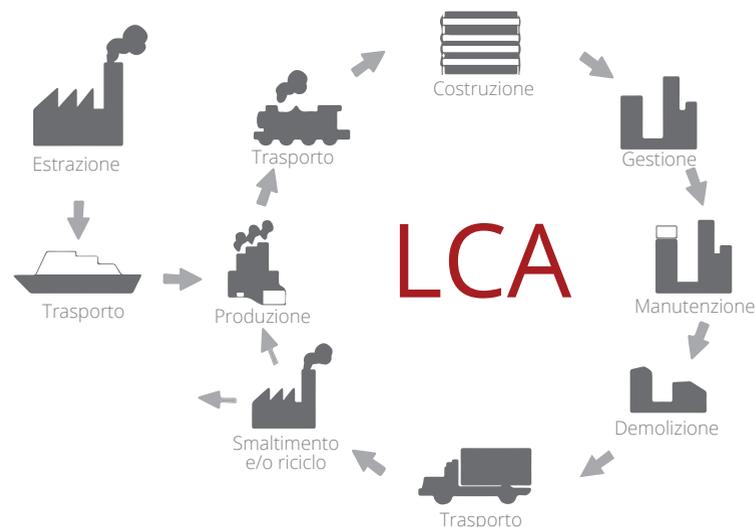
<sup>6</sup> Enzo Calabrese, Sustain What's: l'equivoco dell'architettura sostenibile, Trento, 2012

Il termine sostenibile applicato all'architettura si riferisce, quindi, alla ricerca di progettualità e soluzioni costruttive finalizzate alla massimizzazione del benessere dei fruitori attuali, che altresì garantiscano alle generazioni future la possibilità di conseguire lo stesso risultato.

### Ciclo di vita ed Ecobilancio

Il ciclo di vita di un edificio comprende diverse fasi, identificate in generale nelle seguenti:

1. Estrazione e trasporto delle materie prime;
2. Trasformazione delle materie prime in semilavorati e/o prodotti finiti, quindi trasporto in cantiere;
3. Costruzione dell'organismo edilizio;
4. Utilizzo dell'organismo edilizio, comprendente del funzionamento degli impianti e manutenzione;
5. Fine di vita dell'organismo edilizio, con conseguente dismissione, smontaggio ed eventuale riuso e/o deposito in discarica dei componenti.



La valutazione degli impatti ambientali è definita Ecobilancio e considera ciascuna fase del ciclo di vita, analizzando le esternalità in spazi e tempi diversi:

1. Valutazione nel tempo degli impatti ambientali nei vari momenti del ciclo di vita dell'edificio;
2. Valutazione nello spazio degli impatti generati in luoghi diversi dall'insediamento dell'edificio.

Il metodo LCA (Life Cycle Assessment) consente la redazione di una valutazione ambientale a carattere quantitativo. Risulta comunque difficile l'applicazione del metodo all'interezza di un organismo edilizio, bensì è ben più congrua l'applicazione di questa metodologia ad uno o più dei prodotti o processi presi singolarmente, che vanno a comporre l'edificio stesso.

Nel caso si voglia utilizzare un approccio simile al metodo LCA per l'interezza dell'edificio, si possono affrontare delle analisi di tipo multi-criterio, con un approccio maggiormente umanista e soggettivo secondo i principi base del Life Cycle Thinking.

### Fonti rinnovabili di energia (FER)

L'eco-sostenibilità si occupa dello studio dello Sviluppo Sostenibile, il quale consente di far ereditare alle generazioni future la stessa quantità di risorse energetiche presenti attualmente. Di conseguenza l'Architettura Sostenibile si confronta, oltre che con la ricerca di materiali e tecniche costruttive, anche con le tematiche relative alle fonti rinnovabili di energia.

Per Fonti Rinnovabili di Energia (FER) si intendono quelle forme di energia disponibili in natura, che per loro caratteristica intrinseca si rigenerano almeno alla stessa velocità con cui vengono consumate, o non sono esauribili secondo la scala temporale delle attività umane; un utilizzo sostenibile di queste risorse non pregiudica pertanto la loro disponibilità per le generazioni future.

Le FER possono sostituire le fonti fossili convenzionali, non-rinnovabili, per la generazione elettrica, il riscaldamento e raffrescamento, la fornitura di servizi energetici in aree isolate dalla rete elettrica nazionale. Le FER presentano inoltre la peculiarità di essere anche energie pulite, ovvero di produrre limitatissimi impatti sull'ambiente, come ad esempio le minime o nulle immissioni in atmosfera di sostanze nocive e/o clima-alteranti (anidride carbonica - CO<sub>2</sub>).

La Direttiva Europea relativa all'uso dell'energia da fonti rinnovabili riconosce come tali le seguenti<sup>7</sup>:

- Energia eolica
- Solare
- Aerotermica
- Geotermica
- Idrotermica
- Oceanica
- Idraulica
- Biomassa
- Gas di discarica
- Gas residuati dai processi di depurazione
- Biogas

<sup>7</sup> Direttiva europea 2009/28/CE, Direttiva RES – Renewable Energy Sources

## Efficienza energetica nell'edilizia

Tra i temi maggiormente sentiti oggi relativi all'architettura sostenibile vi è quello dell'efficienza energetica degli edifici e, più in generale, del settore delle costruzioni. I dati relativi al consumo di energia in Europa evidenziano come il settore delle costruzioni sia responsabile del consumo di oltre il 40% del totale dell'energia prodotta e, allo stesso tempo, della produzione del 50% delle emissioni atmosferiche inquinanti<sup>8</sup>.

**Figura 2** - Consumo di energia e produzioni di emissioni inquinanti nel settore delle costruzioni  
Eurostat pocket book, "Energy, transport and environmental indicator", 2011, epp.eurostat.ec.europa.eu



Per rispettare gli obiettivi del Protocollo di Kyoto e di Horizon 2020, che stabilisce che entro il 2020 il 20% dell'energia deve essere prodotto da fonti rinnovabili, è necessario intervenire nel settore edilizio incrementando le prestazioni dei nuovi edifici e riqualificando il costruito. Tutto ciò prende in considerazione la riduzione dei consumi come strumento principale per raggiungere la sostenibilità ambientale.

## Sostenibilità e patrimonio edilizio esistente

Se, inizialmente, le tematiche dell'architettura sostenibile erano prerogative delle nuove edificazioni, oggi devono necessariamente confrontarsi anche con il patrimonio edificato esistente.

In tale ambito, la sfida diventa più complessa: se nelle nuove costruzioni vi è totale libertà di azione e pressoché assenza di vincoli che non siano legati alla sostenibilità economica di ciascun intervento, agendo sul patrimonio edilizio esistente ci si imbatte in una situazione molto più delicata e complessa. Si va dalla difficoltà di intervento fino a eventuali vincoli imposti dalla soprintendenza nel caso di edifici di particolare interesse storico e architettonico.

### Quadro normativo europeo

La direttiva EPBD 2009/91/CE del Parlamento Europeo<sup>9</sup> sulle prestazioni energetiche degli edifici, si propone di ridurre l'uso di energia impiegata nel settore edilizio, richiedendo la definizione di metodologie di stima dei

<sup>8</sup> Eurostat pocket book, "Energy, transport and environmental indicator", 2011, epp.eurostat.ec.europa.eu

<sup>9</sup> Direttiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo sulle prestazioni energetiche degli edifici (Energy Performance Buildings Directive), pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale il 4 gennaio 2003

consumi energetici degli edifici. Il testo contiene disposizioni riguardanti il quadro generale di metodologie per il calcolo delle prestazioni energetiche, l'applicazione di requisiti minimi in materia di prestazione energetica di edifici di nuova costruzione ed esistenti, l'obbligatorietà di certificazione energetica e di ispezione periodica degli impianti di riscaldamento. Per quel che riguarda il patrimonio edilizio esistente, si fa riferimento a "edifici esistenti di grande metratura sottoposti ad importanti ristrutturazioni"<sup>10</sup> e al miglioramento del rendimento energetico "al fine di soddisfare i requisiti minimi per quanto tecnicamente, funzionalmente ed economicamente fattibile"<sup>11</sup>. Risultano quindi esclusi dall'applicazione dei criteri appena esposti edifici religiosi ed i beni storici tutelati, nel caso in cui gli interventi previsti possano alterarne carattere ed aspetto.

Nel 2010 l'Unione Europea rivede parte della Direttiva EPBD con la Direttiva 2010/31/CE. Il testo semplifica e rafforza alcune disposizioni, in particolare ampliando il campo di applicazione e conferendo un ruolo di primo piano al settore pubblico. La nuova direttiva mantiene la distinzione tra edifici nuovi ed esistenti, richiedendo anche che tutti gli edifici sottoposti a ristrutturazioni importanti rispondano, per quanto tecnicamente, funzionalmente ed economicamente possibile, ai requisiti previsti. Rimane sempre valida l'eccezione per edifici di culto e beni storici tutelati.

La direttiva 2012/27/UE rafforza gli obiettivi di efficienza energetica e la riduzione delle emissioni nocive, stabilendo un aumento del tasso delle ristrutturazioni, in particolare nel settore pubblico, concentrandosi anche su misure gestionali e manutentive degli edifici, rimane in essere l'eccezione su edifici religiosi e tutelati.

Riordinando i concetti, gli aspetti più importanti riguardanti il patrimonio edilizio esistente trattati dalle Direttive Europee risultano:

- il rispetto dei requisiti minimi di prestazione energetica definiti dagli stati membri per gli edifici sottoposti a ristrutturazioni importanti, ampliamenti o interventi di manutenzione straordinaria riguardanti l'involucro edilizio o gli impianti tecnologici;
- la certificazione energetica, in caso di costruzione, ristrutturazione, compravendita o locazione;
- la manutenzione periodica degli impianti di riscaldamento.

### Recepimento nei paesi membri

La situazione attuale vede tutti i paesi membri dell'Unione Europea allineati con quanto stabilito dalle direttive comunitarie, seppur, da un punto delle performance effettive del comparto edilizio, gli obiettivi fissati risultino ancora lontani.

Tra gli aspetti che restano ancora irrisolti vi sono le problematiche relative all'inserimento nei parametri energetici di climatizzazione estiva e apporto dovuto all'illuminazione, e la definizione un quadro generale e condiviso per l'intervento sugli edifici esistenti. Gran parte degli stati

<sup>10</sup> Art 1, Direttiva 2002/91/CE

<sup>11</sup> Art 6, Direttiva 2002/91/CE

membri prevedono che le procedure di efficientamento energetico debbano essere applicate anche al patrimonio edilizio esistente, ma solo in pochi casi risultano sviluppate procedure di calcolo e strumenti specifici dedicati all'intervento sul costruito.

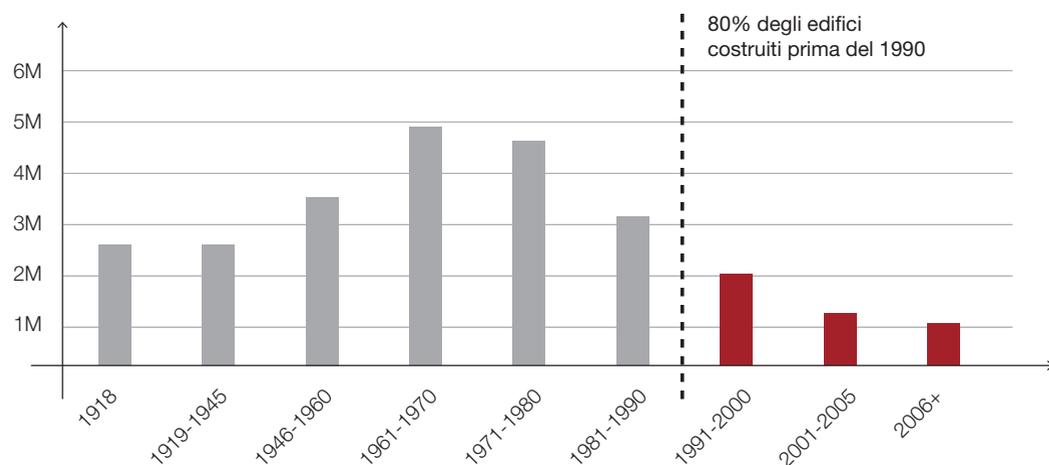
Per conseguire l'obiettivo di efficientamento energetico del comparto edilizio esistente, è necessario che le nuove Direttive Europee impongano una forte accelerazione del processo di miglioramento energetico degli edifici esistenti, compresi quelli di rilievo storico e architettonico, indipendentemente dai regimi di tutela esistenti.

Per favorire una sensibilizzazione su questi aspetti, è stato istituito il gruppo di lavoro European Heritage Legal Forum (EHLF)<sup>12</sup>, al lavoro su possibili impatti che una legislazione europea potrebbe avere sulla gestione e sulla conservazione del patrimonio edilizio storico riguardante questi temi. Il gruppo di lavoro ha evidenziato come la normativa comunitaria sia incentrata su materiali e tecniche costruttive standardizzate, tipiche dell'edilizia industrializzata. Risulta, pertanto, come un'analisi non attenta delle differenze rispetto ad un'architettura pre-industriale potrebbe minare l'autenticità del patrimonio culturale.

### Patrimonio edilizio esistente in Italia

Indagini Istat sull'epoca di costruzione degli edifici facenti parte del patrimonio edilizio nazionale, evidenziano come più dell'ottanta per cento degli edifici italiani sia stato realizzato prima degli anni Novanta. Da questi dati si capisce come, per rispettare gli obiettivi sull'efficienza energetica nazionali ed europei, sia importante agire non solo sulle nuove edificazioni, ma anche su un recupero e riuso attento ai temi della sostenibilità ed efficienza energetica del patrimonio edilizio esistente.

**Figura 3 - Edifici per epoca di costruzione in Italia**  
Elaborazione su dati dell'indagine Istat 2011



<sup>12</sup> European Heritage Legal Forum: fondato nel 2008 in continuità con le attività svolte dal gruppo ECHO (European Working Group on EU Directives and Cultural Heritage), formato da rappresentanti ministeriali, strutture universitarie, istituti di ricerca e organizzazioni non governative. A differenza del gruppo ECHO, le attività sono presiedute da rappresentanti di organi di tutela di alcuni paesi membri.

### Metodologie e strumenti operativi

Affianco alla normativa esistente, si sono sviluppati negli ultimi anni sperimentazioni e strumenti operativi destinati a definire una metodologia di azione del patrimonio edilizio esistente secondo i principi della sostenibilità. Tra le varie metodologie e strumenti operativi esistenti, si identificano quelli reputati di maggiore interesse per il lavoro di ricerca, ovvero il *Protocollo GBC Historical Building* (derivato dal *Protocollo LEED*, per la certificazione degli edifici di nuova costruzione), il *Progetto ATTESS* della Regione Veneto e il *Progetto Sechurba*.

#### Progetto Sechurba

Il *Progetto Sechurba* coinvolge un consorzio composto da 13 organizzazioni e 7 paesi europei (Bulgaria, Danimarca, Grecia, Ungheria, Italia, Spagna e Regno Unito). Il progetto si pone l'obiettivo di rendere noto agli attori chiave nei processi decisionali opportunità e potenzialità offerte dagli interventi sostenibili applicati all'interno di aree urbane storiche, evidenziando i risultati dei casi studio presi in considerazione; il fine del progetto è favorire lo sviluppo di queste tecnologie nelle future politiche energetiche e nei programmi locali di sviluppo.

Gli obiettivi specifici del *Progetto Sechurba* si possono riassumere in:

- identificazione di parametri sociali, legislativi, economici, energetici ed ambientali nei contesti locali, comprensivi di ostacoli e barriere;
- identificazione di possibili misure di sviluppo sostenibile che siano finanziariamente e tecnicamente appropriate in termini di risparmio energetico e riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>;
- definizione di chiare indicazioni per l'utilizzo di RUE<sup>13</sup> e RES<sup>14</sup> in aree urbane storiche;
- implementazione di uno strumento operativo innovativo per la verifica della fattibilità e la compatibilità di nuovi sistemi per il risparmio energetico in edifici esistenti e centri storici;
- sviluppo di interventi sostenibili con l'obiettivo di ridurre la domanda energetica e l'emissione di CO<sub>2</sub> del 40% in almeno 5 edifici di riferimento per ogni centro storico e in almeno 3 comunità urbane.

Tra gli obiettivi specifici appena elencati, è evidente come l'attenzione sia distribuita sulle tematiche più generali della sostenibilità: importanza maggiore è riservata alla sostenibilità energetica e ambientale, ma viene ritagliato dello spazio anche per gli altri temi della sostenibilità.

I diversi paesi europei coinvolti sono caratterizzati da diverse condizioni sociali, economiche e ambientali, ma accomunati dai vincoli sul patrimonio edilizio esistente. In generale, normative e leggi che hanno come obiettivo la preservazione dei caratteri tipici degli edifici ad alta valenza storico-architettonica, costituiscono un ostacolo all'implementazione dei concetti propri della sostenibilità.

<sup>13</sup> *Rational Use of Energy*, uso razionale di energia

<sup>14</sup> *Renewal Energy Sources*, fonti di energia rinnovabile (FER)

Durante il progetto sono stati effettuati audit energetici sui trenta edifici coinvolti. Dai risultati ottenuti dagli audit energetici, è stato possibile ipotizzare il potenziale risparmio energetico derivante dagli interventi di efficientamento energetico, tenendo sempre in dovuto conto anche l'aspetto economico e architettonico.

Riassumendo il modus operandi delle sperimentazioni svolte durante il *Progetto Sechurba*:

1. identificazione caratteristiche tipiche degli edifici storici che possono corrispondere ad un diretto beneficio in termini energetici.

**Tabella 1** - Corrispondenza tra caratteristiche degli edifici storici e caratteristiche bioclimatiche *Progetto Sechurba*

Caratteristiche	Vantaggio bioclimatico
Soffitti molto alti/volumi grandi.	Raffrescamento efficiente.
Incremento della massa termica dovuto allo spessore delle pareti (pareti non isolate).	Controllo della temperatura interna, piccole oscillazioni termiche, buone prestazioni dell'involucro per il raffrescamento.
Controllo degli elementi trasparenti (il rapporto chiusure trasparenti-chiusure opache è minore del 20%) in contrasto con la progettazione contemporanea orientata verso la luce e la trasparenza.	Controllo del riscaldamento solare.
Chiusure verticali trasparenti poste in posizione arretrata.	Ombreggiature e controllo del surriscaldamento.
Elementi aggettanti, cortili, terrazzi, alberature, chiostrini, lucernai, camini solari e di ventilazione.	Miglioramento del raffrescamento e della ventilazione dell'involucro.
Colori chiari dell'involucro opaco.	Adattamento all'ambiente e al clima.
Illuminazione naturale e ventilazione.	Qualità ambientale indoor.

2. individuazione interventi distinti per categoria, validi per la maggioranza degli edifici esaminati, concepiti nel pieno rispetto dei tratti storico-architettonici tipici e della legislazione esistente.

**Tabella 2** - Interventi per edifici storici identificati. *Progetto Sechurba*

Interventi sull'involucro	Interventi interni
Sostituzione o riparazione degli infissi.	Pannelli riflettenti posti dietro ai corpi scaldanti installati sulle pareti perimetrali.
Miglioramento della tenuta degli infissi.	Tende pesanti e persiane per ridurre le dispersioni.
Isolamento termico delle chiusure orizzontali superiori e inferiori.	Utilizzo di camini per la ventilazione.
Isolamento termico delle partizioni interne verso ambienti non climatizzati.	Installazione di ventole per camini.
Riuso di verande e lucernai.	Verande interne per il miglioramento del microclima
Riqualficazione funzionale delle soffitte.	
Illuminazione naturale e ventilazione.	

#### Interventi sugli impianti

Efficientamento dei sistemi di illuminazione.

Sistemi geotermici per la climatizzazione invernale ed estiva.

#### Integrazione di energie rinnovabili

Solare termico per la produzione di acqua calda sanitaria installato in copertura.

Sistemi fotovoltaici installati in copertura e sulle pareti inclinate.

Sistemi fotovoltaici trasparenti a film installati sulle chiusure trasparenti.

Uso di biomasse

**Tabella 3** - Interventi per edifici storici identificati. *Progetto Sechurba*

3. verifica in termini di percentuale di energia risparmiata a valle degli interventi previsti per gli edifici storici.

I risultati ottenuti hanno confermato le aspettative attese: il potenziale risparmio energetico, per tutti gli edifici esaminati, è risultato essere compreso tra il 21% e l'80%, con una media del 46%. Questa oscillazione è da attribuirsi alla varietà di destinazione d'uso degli edifici, e, quindi, alle diverse attività in essi svolte. Inoltre, il livello di manutenzione e gli interventi di restauro realizzati durante la vita dell'edificio influiscono significativamente sul loro profilo energetico e sul relativo potenziale di risparmio di energia.

Parallelamente ai risultati ottenuti, prodotto interessante di questo progetto è il modello di analisi e valutazione multicriteria sviluppato dall'*Istituto Tecnologie Applicate ai Beni Culturali (ITABC)* del *Consiglio Nazionale delle Ricerche (Italia)*, utile quale supporto, per i *decision maker*, nella scelta degli interventi da effettuare.

Il modello realizzato si basa su due livelli di azione: il primo identifica le alternative di risparmio energetico considerate caratteristiche fisiche ed ambientali di ciascun edificio, il secondo individua le alternative di efficientamento energetico realizzabili tramite l'implementazione di una metodologia di *analisi multicriteria MCA*, tenendo in considerazione diverse caratteristiche come impatto visivo, rispondenza ai tratti architettonici e efficienza energetica. I principi chiave del modello sono:

- reversibilità delle modifiche effettuate
- attenzione a nuovi materiali e tecnologie innovative
- inalterabilità dei caratteri storico, morfologico e tipologico

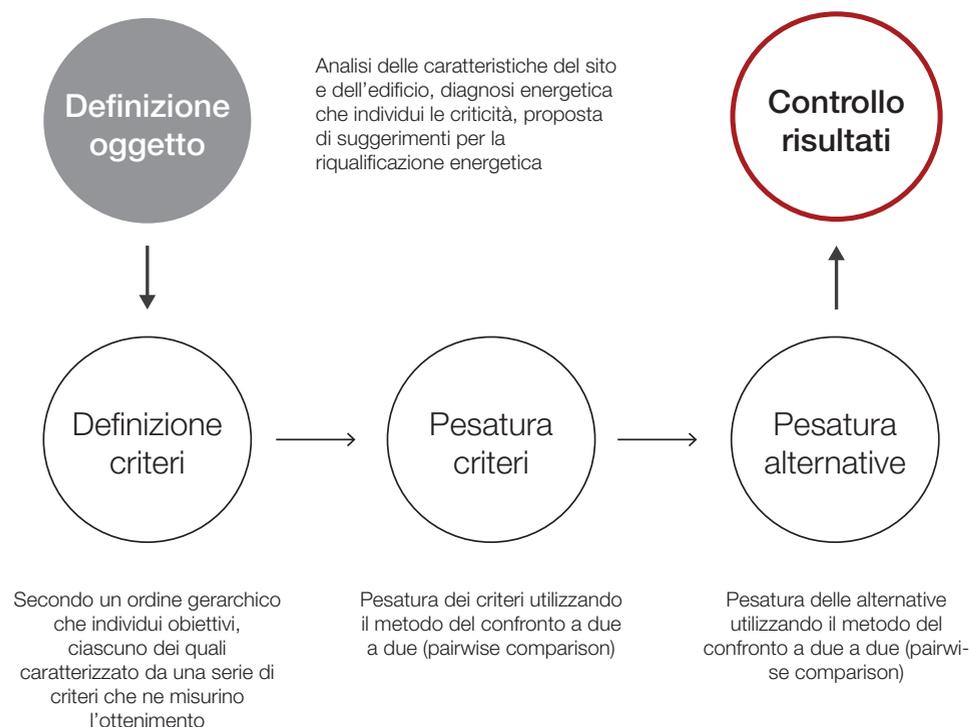
Questi principi hanno portato allo sviluppo di uno strumento basato sul metodo di *analisi multicriteria AHP*<sup>15</sup>, integrato con l'approccio *expert based* di carattere multidisciplinare.

La definizione dei criteri risulta da un'analisi approfondita di normativa e documentazione disponibile in materia di restauro ed efficienza energetica degli edifici. Sono stati definiti quattro criteri di valutazione fondamentali:

<sup>15</sup> Il metodo AHP (*Analytic Hierarchy Process*) fa parte della disciplina cosiddetta MCDA (*Multi Criteria Decision Analysis*) che ha lo scopo di supportare il decisore nella scelta tra numerose e conflittuali opzioni, permettendo l'individuazione di una soluzione di compromesso.

1. **rispondenza** ai principi e alle convenzioni internazionali sul restauro: reversibilità, compatibilità tra antico e nuovo, minimo intervento, leggibilità dei nuovi interventi;
2. **efficienza energetica**: per massimizzare le prestazioni energetiche degli edifici;
3. **sostenibilità ambientale**: minimo impatto e inquinamento ambientale e massimo utilizzo delle risorse rinnovabili;
4. **fattibilità economica**: ammortizzare i costi di intervento e gestione dell'edificio, risparmio economico derivante dalla gestione dell'impianto.

Figura 4 - Metodologia adottata dall'IEATool Progetto Sechurba



Si può affermare che il *Progetto Sechurba* rappresenta un importante lavoro che affronta in modo innovativo, e con risultati dal risvolto operativo, il tema fondamentale della riqualificazione sostenibile degli edifici e delle aree storiche. Il coinvolgimento di diversi paesi europei ha consentito la possibilità di poter esportare i risultati grazie all'armonizzazione della metodologia di valutazione proposta.

Purtroppo, ad oggi, sembra che il progetto non abbia ottenuto un seguito alla prima fase di sperimentazione, seppur i risultati ottenuti siano di rilievo nell'ambito del recupero sostenibile dell'edificato ad alta valenza storico architettonica.

## Progetto ATTESS

L'accordo stretto nel giugno 2010 tra *Regione Veneto, Metadistretti della Bioedilizia e dei Beni culturali* e la *Direzione per i Beni Culturali e Paesaggistici*, noto come *Progetto ATTESS*, si proponeva come obiettivo la costituzione di buone pratiche che potessero costituire riferimenti operativi per gli interventi sull'edilizia storica, al fine di incrementare le prestazioni energetiche ed ambientali complessive, implementando i principi fondamentali del restauro<sup>16</sup>.

Dalla premessa del progetto risulta che i magisteri costruttivi impiegati nel recupero del patrimonio edilizio storico presentano caratteri tipici di un *approccio progettuale bioclimatico*, in quanto imperniati su tecniche costruttive prive degli apporti attivi di impianti tecnici di climatizzazione attualmente disponibili. Inoltre, risulta non applicabile all'edilizia storica la prassi progettuale attuale, che prevede una precisa conoscenza delle caratteristiche di materiali e componenti attualmente disponibili sul mercato.

La struttura logica per l'analisi dello stato di fatto proposta dal *Progetto ATTESS* può essere così riassunta:

1. **Fase metaprogettuale**, ovvero identificazione delle esigenze dell'utenza e dei vincoli posti dal contesto:
  - a) caratteristiche storiche e stilistiche dell'edificio;
  - b) possibilità di recepimento delle disposizioni normative;
  - c) destinazione d'uso compatibile con le esigenze dell'utenza;
  - d) stime economiche sulla fattibilità degli interventi.
2. **Analisi dello stato di fatto** dell'edificio e programmazione delle manutenzioni:
  - a) ricerca storica e documentaria sull'edificio e sul tessuto circostante, comprendente le fasi storiche e le variazioni intervenute;
  - b) recupero di dati relativi alla costruzione fisica (involucro opaco, serramenti, orizzontamenti, ponti termici) e alla localizzazione dell'edificio (orientamento, esposizione agli agenti atmosferici, etc.);
  - c) individuazione e classificazione delle superfici di pregio, diagnostica sui materiali costruttivi e sulla statica del manufatto;
  - d) relazione con gli impianti esistenti, con particolare riferimento alle reti di distribuzione.

Qualunque scelta progettuale, inerente la trasformazione o l'adeguamento energetico degli edifici storici, non può prescindere da studi che portino ad una conoscenza approfondita dell'edificio. Perseguire l'obiettivo di una maggiore efficienza nell'utilizzo delle risorse energetiche permette anche una riduzione dei costi di manutenzione.

<sup>16</sup> Edino Valcovich, Raul Berto, Carlo Antonio Stival, *Edifici di valore storico-architettonico. Strumenti operativi di supporto alla progettazione d'interventi di recupero*, in *Il Progetto Sostenibile* 34-35, dicembre 2014, Gorizia

Le scelte operative progettuali devono considerare quale sia la performance massima dell'edificio con l'obiettivo di mantenerne intatte i caratteri storico-culturali, individuando un range di valori prestazionali ottimali raggiungibili che permettano di programmare interventi di modifica e suggeriscano regole di utilizzo che ne incrementino le prestazioni energetiche.

La fruizione di un bene culturale, nelle condizioni idonee di comfort e sicurezza, risulta un obbligo normativo ma anche componente essenziale della valorizzazione dell'edificio stesso.

Questo approccio prestazionale alle disposizioni normative non deve necessariamente avvenire adottando misure di natura prescrittiva, ma permette di dimostrare complessivamente l'adeguatezza delle scelte compiute. Questo tipo di visione risulta già propria della normativa antincendio (concetto di *sicurezza equivalente* alla base del procedimento di deroga<sup>17</sup>) e della normativa per la sicurezza in zona sismica (*miglioramento strutturale*<sup>18</sup>). La riduzione dei consumi energetici non può essere perseguita rispettando i requisiti minimi imposti dalle disposizioni normative vigenti, ma assumendo invece questi stessi valori come livelli ottimali a cui tendere, compatibilmente con le esigenze di tutela degli immobili e con la fattibilità degli interventi previsti.

Alla valutazione energetica di un edificio si affianca la valutazione della sua qualità ambientale, secondo le basi poste da recenti sistemi di certificazione degli edifici, che permettono l'analisi delle pertinenti prestazioni di un edificio ristrutturato secondo criteri di sostenibilità ambientale nell'intero ciclo di vita.

Il *Metadistretto Veneto della Bioedilizia* ha proposto uno strumento di valutazione delle prestazioni energetico - ambientali, mutuato dalla procedura di valutazione per la concessione di incentivi ai sensi della L.R. Veneto 14/2009. Nell'ambito del *Progetto ATTESS* sono state considerate le seguenti aree tematiche:

- **qualità ambientale esterna;**
- **risparmio delle risorse ambientali** (energia, acqua, materiali)
- **carico ambientale** (emissioni gas serra, rifiuti solidi e liquidi, permeabilità aree esterne)
- **qualità ambientale interna** (illuminazione naturale, temperatura, rumore, qualità dell'aria)
- **qualità del servizio** e della gestione.

Di seguito viene esaminata ciascuna area di valutazione al fine di evidenziare le possibili implicazioni nella valutazione ambientale di interventi di recupero e manutenzione dell'edilizia storica.

17 D.P.R. 1° agosto 2011, n. 151, art. 7, e D.M. 7 agosto 2012, art. 6.

18 Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008, par. 8.4.

Qualità del sito e degli spazi esterni di pertinenza	Analisi del contesto paesaggistico
<i>Aspetti significativi e ambito di tutela</i>	<i>Elementi Caratterizzanti</i>
Delimitazione del territorio storico naturale / agrario oggetto di salvaguardia	Sistemi naturalistici, biotipi, riserve naturali e parchi
Individuazione di coni visuali e vedute panoramiche	Percorsi e punti panoramici
Individuazione degli elementi detrattori del paesaggio e delle misure migliorative	Sistemi insediativi storici, centri storici
Individuazione dei vincoli paesaggistici e di eventuali infrastrutture in progetto	Tipologie edilizie fortemente presenti nel territorio

**Tabella 4** - Area di valutazione Qualità del sito. *Progetto ATTESS*

Dall'analisi del *Progetto ATTESS* si possono estrapolare due contributi principali:

- la verifica dei rapporti intercorrenti tra le azioni di recupero dell'edilizia storica, l'inquadramento legislativo nazionale e regionale, i recenti sviluppi e le tecniche propri dell'efficienza energetica;
- le correlazioni individuate tra le aree di valutazione del *Protocollo ITACA* ed i riferimenti legislativi nazionali che disciplinano gli interventi sull'edilizia storica.

Obiettivo	Interventi:	in edificio storico	in edificio storico vincolato
<i>Contenimento consumi energetici</i>	Coibentazione elementi d'involucro	ammissibile nelle diverse categorie tecnico giuridiche d'intervento	ammissibile in casi limitati, con l'utilizzo di materiali specifici
<i>Impiego di sistemi solari passivi</i>	Recupero e valorizzazione delle caratteristiche tecniche e spaziali dell'edificio	praticabile considerando il funzionamento passivo in raffrescamento	praticabile se già previsto nella tipologia storica
<i>Energia termica da fonti rinnovabili</i>	Realizzazione di impianti solari termici ed altri	proponibile in relazione ai caratteri dell'edificio e del contesto	applicabile dopo la valutazione specifica del caso
<i>Energia elettrica da fonti rinnovabili</i>	Introduzione di dispositivi di controllo per ridurre i consumi e incrementare l'efficienza d'impianto	attuabile	attuabile sfruttando opportune caratteristiche dell'edificio (es. tracce preesistenti, cavedi)
	Realizzazione di impianti solari fotovoltaici ed altri	proponibile in relazione ai caratteri dell'edificio e del contesto	applicabile dopo la valutazione specifica del caso

**Tabella 5** - Area di valutazione Consumo delle risorse ambientali, energia e fonti rinnovabili *Progetto ATTESS*

Il *Progetto ATTESS* ha quindi individuato un rapporto tra gli interventi edilizi attuabili sul patrimonio storico e le aree tematiche / criteri di sostenibilità considerati nel Protocollo ITACA<sup>19</sup>, anche in relazione al fatto che l'am-

19 *Sostenibilità ambientale nelle costruzioni - Strumenti operativi per la valutazione della sostenibilità Inquadramento generale e principi metodologici*, Istituto per l'innovazione e trasparenza degli appalti e la compatibilità ambientale, Ente Italiano di Normazione, 2015

bito di applicazione del D.Lgs. 192/2005 non comprende gli edifici storici di valenza culturale, ed analogamente nelle direttive europee 2002/91/CE e 2010/31/UE.

Si può affermare che, dal Progetto ATTESS, emerge la necessità di considerare ampiamente la qualità della gestione dell'edificio prima e dopo l'intervento, anche se quest'area tematica non sia riscontrabile nel quadro normativo vigente.

### GBC Historic Building

Il *GBC Historic Building* è un protocollo di certificazione volontaria del livello di sostenibilità degli interventi di conservazione, riqualificazione, recupero e integrazione di edifici storici con diverse destinazioni d'uso, protocollo che si basa a sua volta sul *Protocollo LEED*<sup>20</sup>.

Il protocollo *GBC Historic Building* contiene le stesse aree tematiche degli altri Protocolli di valutazione GBC/LEED, alle quali si aggiunge l'area Valenza storica, specifica per l'ambito del recupero architettonico. In questo senso, il *GBC Historic Building* rappresenta uno strumento che si basa sul confronto e sull'unione di diversi ambiti culturali: i principi di sostenibilità riconducibili allo standard LEED e i principi operativi del restauro.

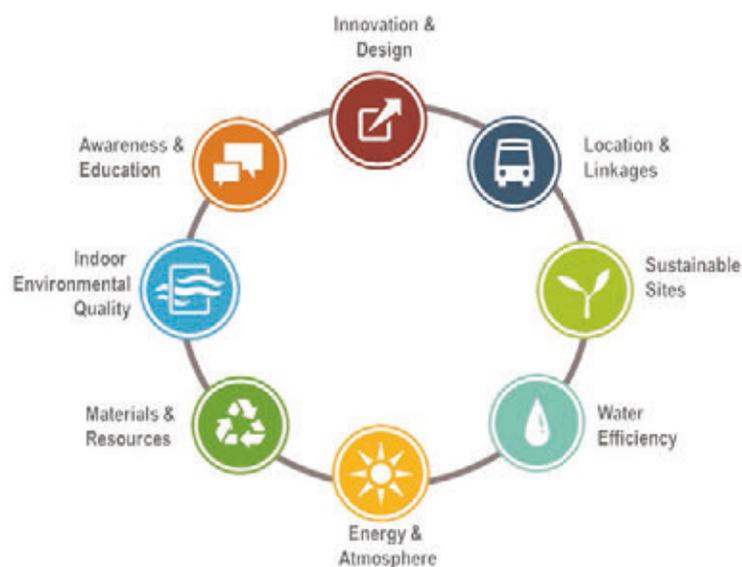


Figura 5 - Aree tematiche del protocollo di valutazione GBC/LEED Standard  
www.energiarchitettura.com

Attraverso la certificazione LEED il *GBC Italia* cerca di promuovere un approccio orientato alla sostenibilità, concentrandosi su settori chiave quali il risparmio energetico e idrico, la riduzione di CO<sub>2</sub>, il miglioramento della qualità ecologica degli interni, i materiali e le risorse utilizzati.

Il *Protocollo LEED* rappresenta un sistema di misura delle prestazioni ambientali ed energetiche pensato per la valutazione degli edifici, sia nuovi che esistenti. Il protocollo si basa su principi ambientali ed energetici, comunemente riconosciuti e accettati dalla comunità scientifica internazionale, e definisce un equilibrio tra le attuali pratiche e le nuove tecnologie.

<sup>20</sup> LEED: Leadership in Energy and Environmental Design, nato negli USA ad opera del U.S. Green Building Council (USGBC) nel 1993.

In analogia con il *Protocollo ITACA*, anche il *Protocollo LEED* si basa su un sistema di valutazione pensato per ottimizzare il rapporto tra l'edificio e l'ambiente circostante. Il sistema è diviso in sezioni, all'interno delle quali vi sono i prerequisiti e i crediti da rispettare e in ognuna delle quali si può accumulare un certo punteggio. Ciò significa che in ognuna delle categorie vi sono uno o più prerequisiti prescrittivi, che devono sempre essere soddisfatti, e un certo numero di crediti di performance ambientale sulla base dei quali viene attribuito il punteggio. Il diverso peso delle sezioni è imperniato sugli effetti che ogni credito ha sull'ambiente e sulla salute umana rispetto all'insieme. Alla base della pesatura dei crediti vi sono le categorie di impatto ambientale definite da EPA<sup>21</sup>.

Il sistema LEED italiano fa anche riferimento al sistema di pesatura pensato dal NIST<sup>22</sup>, che permette di comparare le diverse categorie di impatto e di assegnare a ciascuna di esse il relativo peso.

Dalla somma dei crediti ottenuto si ottiene il livello di certificazione tra quelli previsti: base, argento, oro e platino.

Figura 6 - Livelli di certificazione previsti dal protocollo LEED e relativi punteggi  
www.gbcsitalia.org



L'impegno richiesto dal LEED è lungo tutto il processo edilizio, a partire dalla progettazione fino alla costruzione vera e propria, permettendo così di ottenere un manufatto di qualità e una riduzione dei costi di gestione.

Area tematica	Punti	Peso
Valenza storica	18	16,4%
Sostenibilità del sito	16	14,5%
Gestione delle acque	10	9,1%
Energia e atmosfera	31	28,2%
Materiali e risorse	12	10,9%
Qualità ambientale interna	13	11,8%
Innovazione nella progettazione	6	5,5%
Priorità regionale	4	3,6%

Tabella 6 - Distribuzione punteggio e peso delle aree di valutazione protocollo GBC Historic Building  
*GBC Historic Building versione short - Parte 1, v.0.2, 15/11/2013)*

Grazie alla flessibilità del protocollo, è stato quindi possibile adattare l'insieme di prodotti esistenti (LEED Italia e GBC Home) al caso degli edifici storici, con la loro varietà di destinazione d'uso.

<sup>21</sup> Environmental Protection Agency

<sup>22</sup> National Institute of Standard and Technology

Il *GBC Historic Building* si può utilizzare nel caso di interventi di conservazione, riqualificazione o recupero/integrazione di edifici esistenti.

I crediti dell'area tematica relativi alla valenza storica di un edificio sono stati strutturati in modo da considerare, con la medesima importanza, tutte le fasi dell'intervento di restauro: a partire dalla fase conoscitiva preliminare, passando per la fase progettuale e la fase del cantiere. Centrali, nell'area di valutazione, risultano le indagini conoscitive preliminari, volte a stabilire l'evoluzione storica dell'edificio, la sua concezione strutturale, l'individuazione di superfici pregiate e la diagnosi del dissesto; L'elaborazione di questi contenuti costituisce prerequisito obbligatorio per l'accesso alla certificazione.

Si vuole porre l'attenzione su un credito molto importante presente nell'area di valutazione Valenza storica: il piano di manutenzione programmata. La manutenzione programmata, già importante nei casi di progettazione di nuovi edifici, diventa ancor più significativa nei casi di interventi su edifici storici. Le attività di controllo successive alla realizzazione dell'intervento, devono essere intese, infatti, come verifiche continuative e costanti della persistenza delle prestazioni previste in fase progettuale, al fine di mantenere nel tempo le prestazioni prestabilite in termini di funzionalità, qualità dell'intervento, efficienza energetica e valore economico, storico e culturale. Le azioni previste dal piano di manutenzione programmata permettono di affrontare, attraverso modesti interventi, situazioni non considerate in fase progettuale, evitando azioni di notevole portata e quindi invasive, meno sostenibili e più difficilmente gestibili.

Nel caso di efficientamento energetico degli edifici storici, le dinamiche post-intervento risultano ancor più complesse e ancora poco conosciute, per cui risulta fondamentale un piano di manutenzione programmata, con l'intento di poter riportare gli esiti dei controlli all'interno di una base di conoscenze utili per la progettazione e la previsione di futuri interventi su edifici e aree storiche <sup>23</sup>.

---

<sup>23</sup> Secondo quanto previsto da European Commission, Project Cycle Management Guidelines, 2004

# Heritage BIM e sistemi GIS

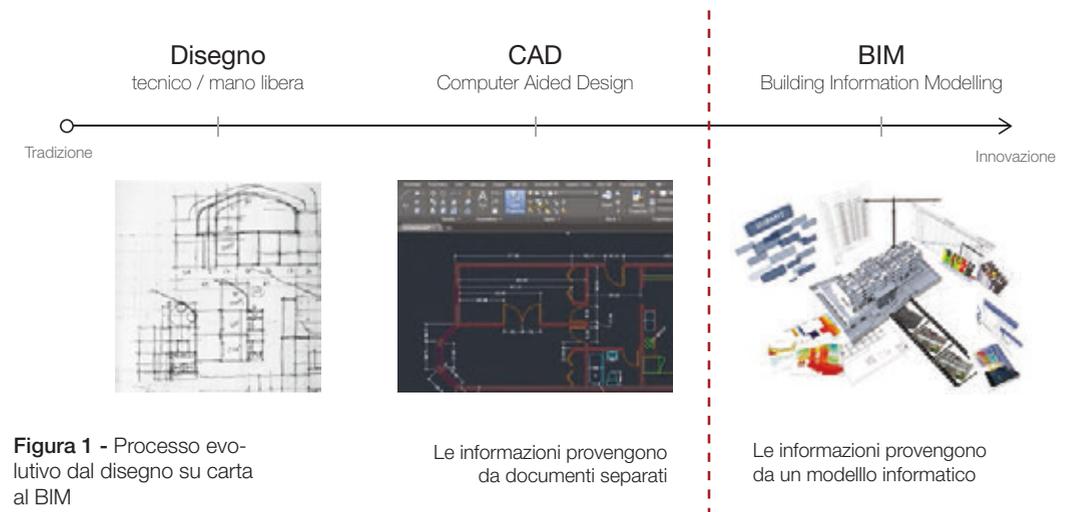
## Approccio BIM

Da sempre architettura ed edilizia hanno contato principalmente sul disegno come strumento principe per la rappresentazione, dal progetto alla descrizione dei processi necessari alla realizzazione di un edificio.

All'interno di un settore frammentato, dove sostanzialmente ogni prodotto realizzato risulta essere una sorta di prototipo, disegni architettonici e ingegneristici si sono evoluti verso la definizione di sistemi di rappresentazione sempre più codificati e normati, con l'obiettivo di facilitare la comprensione da parte di ogni soggetto che partecipa al processo edilizio.

Parallelamente allo sviluppo dell'informatizzazione, negli ultimi 50 anni, il settore della progettazione edilizia ha sviluppato sempre più soluzioni per la digitalizzazione del disegno: a partire dai primi software CAD bidimensionali, per arrivare fino ai più recenti software per la rappresentazione tridimensionale e fotorealistica degli edifici. L'obiettivo rimane quello di sviluppare sistemi digitali che consentano di realizzare, su supporto informatico, ciò che prima si realizzava direttamente su supporto cartaceo. Fino a un decennio fa il risultato finale di questo processo era ridotto a riportare il tutto ad un disegno stampato su carta.

Seppur questo tipo di approccio risulti ormai fortemente ancorato nel mondo della progettazione architettonica e ingegneristica, negli ultimi anni si è iniziato ad affrontare il problema secondo un approccio diverso, evolvendo dal concetto di CAD verso il concetto di BIM.<sup>1</sup>



**Figura 1** - Processo evolutivo dal disegno su carta al BIM

## Dalla carta al BIM

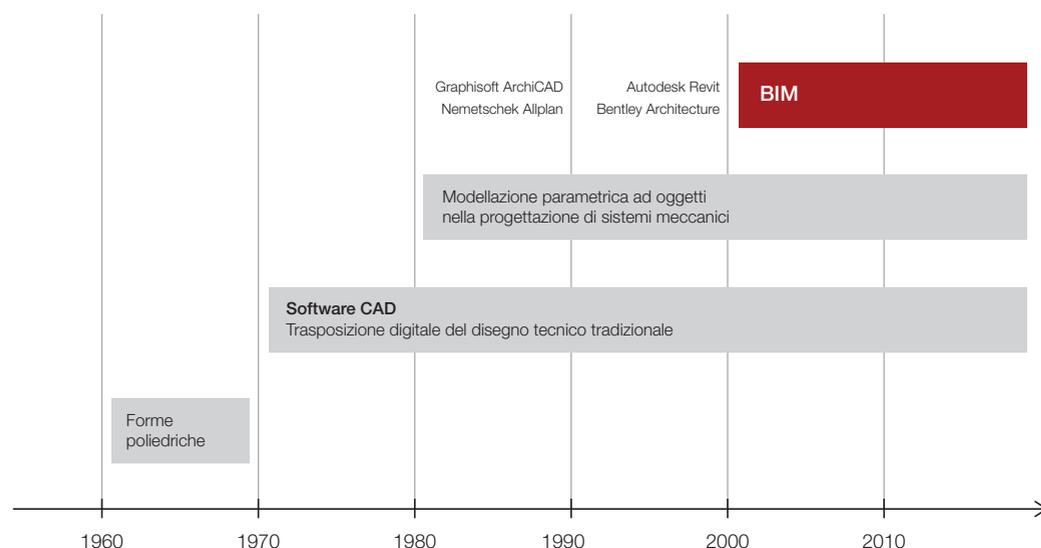
Il primo software per il disegno tecnico su supporto informatico, precursore dei sistemi CAD, è stato il sistema *Sketchpad* sviluppato al *Massachusetts Institute of Technology* nel 1963 da parte di Ivan Sutherland. Si trattava di un sistema sperimentale che consentiva al progettista di disegnare su un monitor tramite l'utilizzo di una penna ottica.

<sup>1</sup> Eastman, Chuck, Paul Tiecholz, Rafael Sacks, and Kathleen Liston. *BIM Handbook*, John Wiley & Sons, New Jersey, USA, 2008

I primi sistemi CAD commerciali vennero sviluppati negli anni Settanta, commissionati da aziende di grandi dimensioni del settore elettronico, automobilistico, aerospaziale e navale. Solo realtà di grandi dimensioni, infatti, erano in grado di permettersi i *computer mainframe* e relativi terminali grafici vettoriali in grado di supportare software così complessi. Fino ad allora comunque si parlava pur sempre di applicativi in grado di supportare esclusivamente la modellazione bidimensionale.

Negli anni successivi, precisamente nel 1973, le *Università di Cambridge, Stanford e Rochester* sviluppano la modellazione solida su supporto digitale, aprendo la strada allo sviluppo di soluzioni CAD che permettessero anche la modellazione tridimensionale.<sup>2</sup>

Se da un lato il settore dell'industria capì immediatamente le potenzialità delle soluzioni CAD, partecipando, fin da subito, all'implementazione delle stesse lavorando assieme alle aziende di software, il settore delle costruzioni non riconobbe queste potenzialità, ma si limitò ad adottare le soluzioni sviluppate da altri, dando inizio a una generazione digitale di documenti tradizionali bidimensionali per l'edilizia.<sup>3</sup>



**Figura 2** - Sviluppo dei sistemi di progettazione su supporto informatico: dai primi CAD al BIM

Questo tipo di documenti focalizzavano l'attenzione progettuale solo sulla rappresentazione grafica, escludendo fin da subito una visione più organica del processo edilizio nel suo complesso.

Verso la fine degli anni Ottanta iniziò a svilupparsi la modellazione parametrica basata sugli oggetti, implementata essenzialmente a supporto della progettazione impiantistica e meccanica: mentre nel tradizionale sistema CAD ogni aspetto della geometria di un elemento deve essere editato manualmente dagli utenti, in un modellatore parametrico la forma e l'insieme delle componenti geometriche si corregge automaticamente in base ai cambiamenti del contesto.

2 Braid, I.C., *Designing with Volumes*, Cambridge UK, Cantab Press, Cambridge University

3 Osello Anna, *Il futuro del disegno il BIM per ingegneri e architetti*, Dario flaccovio Editore

Questo concetto rappresenta l'origine dell'attuale approccio BIM: un oggetto parametrico consiste in una serie di definizioni geometriche, alle quali sono associati altri dati, risultando tra loro integrate, e impedendo incongruenze tra il modello e l'insieme dei dati ad esso associato.

Nel 1986 la *Graphisoft* introdusse il primo *Virtual Building Solution*, conosciuto commercialmente come *ArchiCAD*. Questo software permetteva al progettista di creare una rappresentazione virtuale del proprio progetto utilizzando direttamente oggetti complessi quali pareti, infissi e orizzontamenti, piuttosto che semplici linee. Questo software rappresenta l'inizio del percorso verso una modellazione dell'edificio, piuttosto che di una mera rappresentazione grafica digitale.

Seppur questi tipi di software risultarono disponibili già dalla fine degli anni ottanta, tutto il mondo delle costruzioni ormai si era dotato di strumenti CAD tradizionali, uno tra tutti il fortunato *AutoCAD* di *Autodesk*. Tuttavia l'approccio della rappresentazione grafica digitale del progetto risulta difficile da scardinare a favore di una modellazione più complessa.

Il termine BIM fu coniato ufficialmente solo nel 2002, quando la stessa *Autodesk* diffonde un *White Paper*, tramite il quale delinea le caratteristiche principali di soluzioni di questo tipo<sup>4</sup>:

- creano e operano in un database digitale con la finalità di collaborazione tra i diversi soggetti;
- garantiscono la gestione della modifica del dato e fanno sì che tale modifica sia coordinata con tutte le altre parti del database;
- raccolgono e conservano le informazioni al fine di un loro riutilizzo anche in altri settori.

Parallelamente all'evoluzione della nomenclatura, dei risultati della ricerca e sviluppo in ambito universitario, anche l'implementazione dei prodotti commerciali con approccio BIM ha seguito un lungo percorso. Molte funzioni di modellazione BIM sono oggi possibili con software come *Nemetschek Allplan*, *Graphisoft ArchiCAD*, *Autodesk Revit* e *Bentley Building*.

## Definizione

È importante segnalare in realtà che, l'acronimo BIM assume significati differenti in diversi ambienti del processo edilizio. Testimoniano questa ambiguità le diverse definizioni fornite dalla letteratura internazionale:

### BIM come Building Information Modelling/Modeling

- *Building Information Modeling (BIM) is one of the most promising developments in the architecture, engineering and construction (AEC) industries. With BIM technology, an accurate virtual model of a building is constructed digitally. When completed, the computer-generated model contains precise geometry and relevant data needed to support the construction, fabrication, and procurement activities needed to realize the building*<sup>5</sup>.

4 Laiserin Jerry, *Building Information Modelling White Paper*, Autodesk, 2002

5 Azhar, S., *Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry*, Leadership Manage Eng, 2011

- *Building Information Modelling [...] is a method that is based on a building model containing any information about the construction. In addition to the contents of the 3D object - based models, this is information such as specifications, building elements specifications, economy and programmes*<sup>6</sup>
- *Building Information Modeling (BIM) has become a valuable tool in some sectors of the capital facilities industry. However in current usage, BIM technologies tend to be applied within vertically integrated business functions rather than horizontally across an entire facility lifecycle. Although the term BIM is routinely used within the context of vertically integrated applications, the NBIMS Committee has chosen to continue using this familiar term while evolving the definition and usage to represent horizontally integrated building information that is gathered and applied throughout the entire facility lifecycle, preserved and interchanged efficiently using open and interoperable technology for business, functional and physical modeling, and process support and operations.*<sup>7</sup>
- *[...] a model needs only two essential characteristics to be described as a BIM model. The first is that it must be a three - dimensional representation of a building (or other facility) based on objects, and second, it must include some information in the model or the properties about the objects beyond the graphical representation*<sup>8</sup>.

#### BIM come Building Information Model

- *A Building Information Model (BIM) is a digital representation of physical and functional characteristics of a facility. As such it serves as a shared knowledge resource for information about a facility forming a reliable basis for decisions during its lifecycle from inception onward. A basic premise of BIM is collaboration by different stakeholders at different phases of the life cycle of a facility to insert, extract, update or modify information in the BIM to support and reflect the roles of that stakeholder. The BIM is a shared digital representation founded on open standards for interoperability*<sup>9</sup>.
- *The Building Information Model is a data-rich, objectoriented, intelligent and parametric digital representation of the facility, from which views and data appropriate to various users' needs can be extracted and analysed to generate information that can be used to make deci-*

*sions and improve the process of delivering the facility*<sup>10</sup>.

- *Building Information Model is a digital representation of physical and functional characteristics of a facility. As such, it serves as a shared knowledge resource for information about a facility forming a reliable basis for decisions during its life cycle from inception onward*<sup>11</sup>.

#### BIM come Beyond Information Models.

- *BIM is not a software application. BIM is an information based system that builds long-term value and advances innovation. It improves how projects get designed and built. It builds economic value in many areas. It improves the environment and people's lives. BIM is an evolutionary change in how people relate to the built environment. The speed of this change creates many opportunities for ambiguity. [...] we define BIM as Beyond Information Models to align with the universal nature of the concept.*

La differenza tra *Model* e *Modelling* risulta importante: per *Modelling*, infatti, si intende l'utilizzazione di informazioni condivise di rappresentazione dell'edificio al fine di facilitare la progettazione, la costruzione e, quindi, il processo edilizio nel suo complesso. Quindi per BIM non si intende solamente la base dati di informazioni proprie dell'edificio, ovvero il cosiddetto *Model*, ma anche l'attività di condivisione di queste informazioni.

Questo tipo di approccio organico alla progettazione evidenzia la necessità di riappropriarsi dell'ingegneria e dell'architettura come un'opera collettiva, dove l'interazione tra i diversi soggetti fin dalle prime fasi del processo edilizio diventa sempre più la strategia vincente per condurre l'opera a termine con la massima precisione.<sup>12</sup>

È importante sottolineare come questa visione si elevi rispetto alla più diffusa idea del BIM al giorno d'oggi. Troppo spesso, infatti, il BIM è visto come un software di modellazione tridimensionale, facendo passare in secondo piano, se non dimenticando, la vera potenzialità di questi sistemi: la costruzione di un complesso sistema informativo parametrico al quale possono attingere e collaborare tutti gli attori del progetto.

#### Il concetto di LOD

Quando ci si avvicina agli strumenti BIM non si può prescindere dal concetto di LOD (Levels of Detail/Development) come misura del livello di dettaglio e sviluppo del progetto.

Il concetto di LOD è stato sviluppato, in origine, dalla *Vico Software*, una società, ora acquisita da *Trimble*, che produce principalmente applicativi informatici per la gestione della contabilità di cantiere. L'azienda, avendo identificato i vantaggi derivanti dall'interrogazione di modelli BIM in merito a costi e misure, si è imbattuta nella necessità di definire un livello

6 AA.VV., 3D Working Method, Digital Construction, bips, Lautrupvang, Denmark, 2006

7 National Building Information Modeling Standard, National Institute of Building Sciences, United States, 2007

8 Holzer D. et al, BIM! What is it?, Australian Institute of Architects, 2012

9 Smith D. K., Edgar A., Building Information Modeling (BIM), National BIM Standard Project Committee, United States, 2008

10 Salman A. et al, *Building Information Modeling (BIM): A New Paradigm for Visual Interactive Modeling and Simulation for Construction Projects*, International Conference on Construction in Dev. Countries, Pakistan, 2008

11 *National Building Information Model Standard Project Committee*, USA

12 Cecilia Bolognesi, *La rappresentazione nell'era BIM oriented*, ingenio-web.it, gennaio 2016.

di qualità delle informazioni estrapolate in un determinato momento del processo progettuale, introducendo nella specifica MPS<sup>13</sup> il concetto di LOD, e introducendo dei livelli di sviluppo suddivisi in fasi progressive che vanno da LOD100 fino a LOD500.

Vale la pena di sottolineare immediatamente che la doppia natura dell'acronimo LOD: *Level of Detail* piuttosto che *Level of Development*. Così come viene riportato nelle specifiche BIM, per *Level of Detail* si intende il livello di dettaglio del modello BIM, per *Level of Development*, invece, si intende il grado con cui gli elementi geometrici e le informazioni ad essi collegate sono affidabili in una determinata fase della caratterizzazione del modello BIM. In sostanza, il *Level of Detail* può diventare l'input del modello, mentre il *Level of Development* ne rappresenta l'output.<sup>14</sup>

Questa differenziazione, seppur sembri generare confusione sotto certi punti di vista, diventa essenziale nell'approccio moderno alla progettazione. Ad esempio, un render in fase di *concept* può indicare con assoluta precisione le caratteristiche di determinati elementi del progetto, ma l'informazione riportata è da intendersi utilizzabile solo a livello di progettazione di massima. In fase esecutiva, infatti, è pratica assodata che determinate scelte progettuali sugli elementi del progetto vengano stravolte a seguito di cambiamenti delle condizioni di contorno. In questo senso, quando si parla di *Level of Development*, non si intende la presenza dell'informazione, ma piuttosto di affidabilità dell'informazione stessa.<sup>15</sup>

La ragione di questa netta separazione tra presenza dell'informazione e affidabilità della stessa, diventa evidente quando si utilizzano i recenti software di progettazione, non solo BIM ma anche CAD, o di modellazione tridimensionale in genere, ed è sintetizzabile nei seguenti quattro punti<sup>16</sup>:

1. durante le fasi progettuali gli elementi costituenti un edificio subiscono un'evoluzione, da una fase concettuale a una precisa definizione; seppure il progettista generalmente sa a quale livello di definizione ci si trovi in un determinato momento, altri soggetti coinvolti nella progettazione potrebbero non esserne pienamente a conoscenza, e utilizzare una determinata informazione impropriamente, ad esempio per stilare una stima di costi o addirittura avviare operazioni di acquisto/messa in opera;
2. risulta molto facile interpretare erroneamente la precisione con cui è stato modellato un elemento: mentre il disegno su carta si evolve in maniera relativamente naturale, dallo schizzo fino al disegno tecnico di dettaglio e difficilmente porta a fraintendimenti, non è raro che un modello tridimensionale provvisorio possa apparire dettagliato quanto un modello in fase esecutiva;

---

### 13 Model Progression Specification

<sup>14</sup> *Level of Development vs. Level of Detail*, LOD Specification, BIMforum, 2015

<sup>15</sup> C. Rizzarda, *Level of Development: cosa, quando e come?*, LikedIn Pulse, 2015

<sup>16</sup> AIA Document G202 – 2013, Project Building Information Model Protocol Form, AIA.org, 2013

3. risulta tecnicamente semplice estrarre da un modello BIM qualsiasi tipo di informazione, anche quelle che il progettista non considera ancora sufficientemente definite in una ben determinata fase di progetto o che potenzialmente non ha sotto controllo in quel determinato momento: dalla superficie di una stanza, fino alla trasmittanza termica dei materiali utilizzati negli strati di una parete;
4. quando ci si trova in un ambiente collaborativo, le informazioni inserite nel modello sono importanti per tutti i soggetti che partecipano, più o meno contemporaneamente, alla definizione di un modello di edificio, dal progettista al costruttore; diventa quindi essenziale che l'operatore, chiunque esso sia, abbia la piena consapevolezza del modello che sta utilizzando.

Seppur non esista un vero e proprio standard, a livello internazionale è ormai condivisa la classificazione dei LOD definita dal *BIMforum*, ente di ricerca e divulgazione sulle pratiche BIM, che ne definisce ulteriormente i caratteri, secondo lo schema seguente, considerato ad oggi il più esauritivo<sup>17</sup>:

- **LOD100** – Gli elementi del modello con questo livello di sviluppo possono essere rappresentati genericamente da un simbolo, non necessariamente fedele per forma, estensione o localizzazione. Sono una approssimazione indicativa, solamente grafica.
- **LOD200** – Gli elementi del modello con questo livello di sviluppo rappresentano sistemi generici approssimandone forma, dimensioni e localizzazione, con la possibilità di comportarsi da link verso documenti loro allegati.
- **LOD300** – Gli elementi del modello con questo livello di sviluppo sono definiti per forma, quantità, dimensione e posizione, mantenendo la possibilità di comportarsi da link verso documenti loro allegati.
- **LOD350** – Gli elementi del modello con questo livello di sviluppo si differenziano dal precedente LOD300 per la possibilità di integrare anche parametri di relazione con altri insiemi di elementi presenti nel progetto; in tal modo, distanze reciproche, lunghezza di tracciati o componenti, vincoli e rispetti possono essere quantificati direttamente dal modello, senza riferirsi a documenti specifici.
- **LOD400** – Gli elementi del modello con questo livello di sviluppo includono dati sulla forma, quantità, dimensione, posizione, dettagli di assemblaggio, istruzioni di posa e caratteristiche di fabbricazione.
- **LOD500** – Gli elementi del modello con questo livello di sviluppo sono stati verificati in opera, confermandone i dati su forma, quantità, dimensione e posizione.

---

<sup>17</sup> Level of Development Specification - draft, BIM Forum, 19 aprile 2013

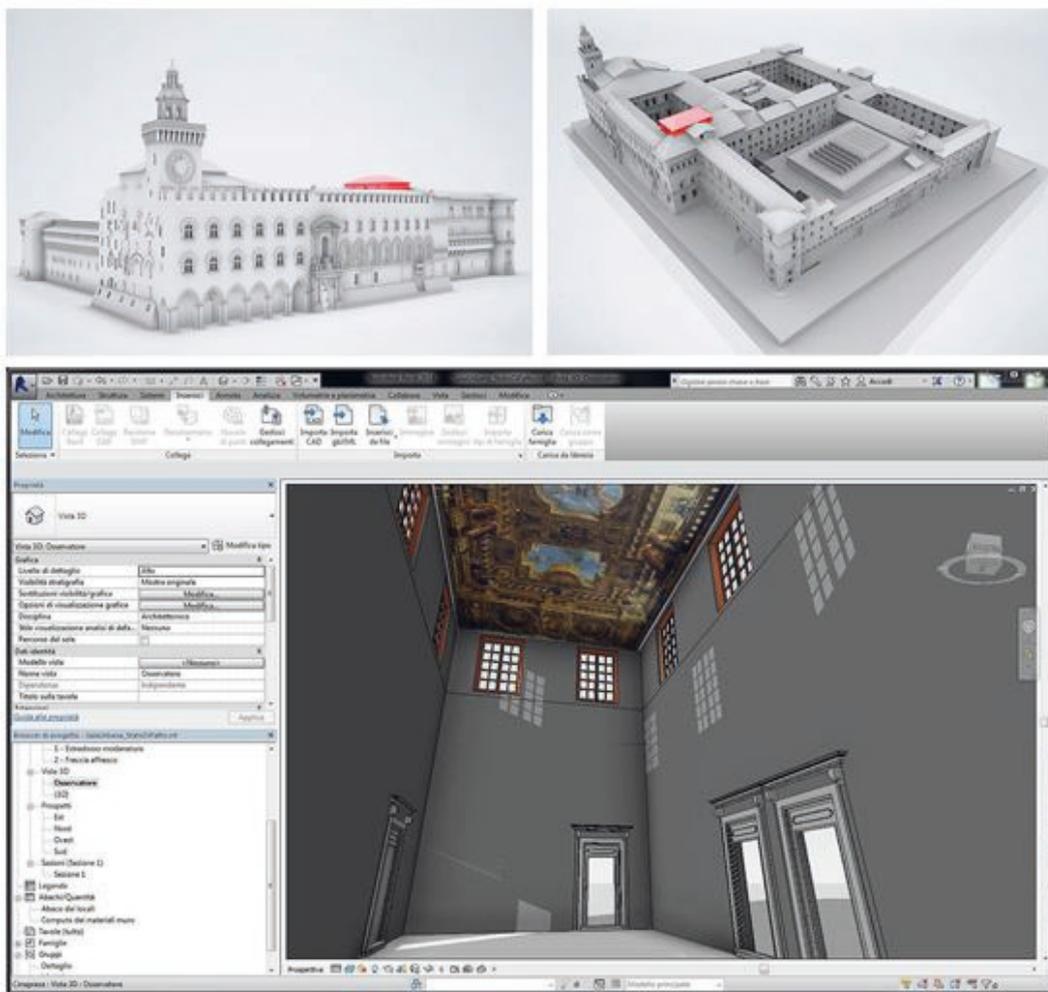
## Approccio Heritage-BIM

L'Heritage BIM rappresenta un'evoluzione dell'approccio BIM focalizzata nel settore del patrimonio costruito esistente (*Heritage*), con particolare attenzione al patrimonio di rilievo storico, artistico ed architettonico.

La tradizione costruttiva in Italia è generalmente abituata ad affrontare il tema, anche se gli strumenti propri della digitalizzazione scontano ancora diverse criticità dovute in massima parte alla loro origine in contesti edilizi e culturali molto diversi da quelli nazionali.

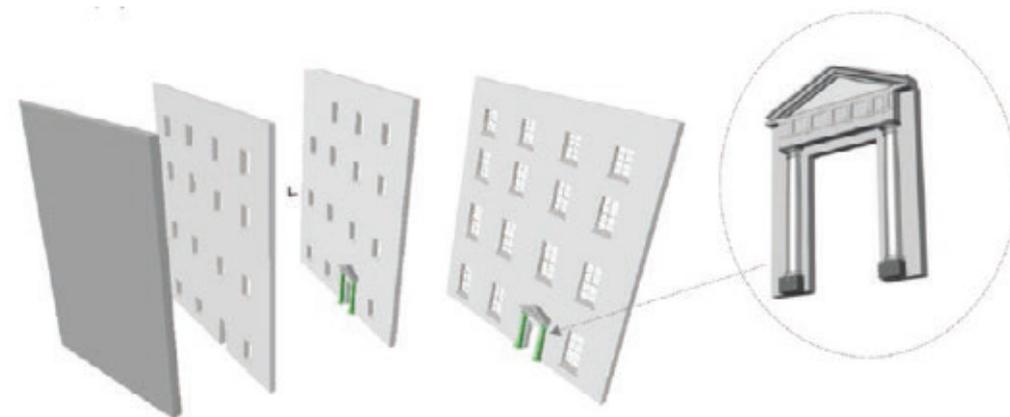
La comunità scientifica internazionale si occupa da alcuni anni di *Heritage BIM* (H-BIM), proponendo metodi, approcci e programmi informatici ritagliati sulle necessità del patrimonio edilizio esistente<sup>18</sup>.

**Figura 3** - Esempio applicativo di HBIM: modello digitale della Sala Urbana di Palazzo d'Accursio a Bologna, realizzato per raccogliere le informazioni relative all'affresco in copertura e simulare strategie di intervento.  
*Modelli di Simone Garagnani, 2014*



Il legame esistente tra documentazione e conservazione del patrimonio architettonico e conoscenza del manufatto rende il rilievo architettonico uno dei momenti principali della metodologia di analisi degli edifici storici.

<sup>18</sup> Simone Garagnani, *HBIM nell'esistente storico – Potenzialità e limiti degli strumenti integrati nel recupero edilizio*, Ingegno, Ottobre 2015



**Figura 4** - Processo di modellazione H-BIM di una facciata: dalla modellazione della massa, alla costruzione della famiglia parametrica e la sua applicazione.  
*Murphy M. et al, Historic building information modelling (HBIM), Structural Survey, Emerald, 2009*

Gli attuali software BIM risultano spesso carenti nel gestire grandi quantità di dati derivanti dalle campagne di rilievo attuali, spesso condotte tramite tecnologie avanzate quali laser scanner e fotogrammetria<sup>19</sup>.

I prodotti del rilievo rappresentano un importante strumento di conoscenza e supporto per le analisi tematiche e le investigazioni diagnostiche sugli edifici, oltre che fare da supporto a un programma di mantenimento dell'edificio stesso. Nell'approccio H-BIM, il modello geometrico in sé costituisce una sorta di indice dei contenuti, necessario ad interrogare un database contenente tutte le informazioni proprie dell'edificio: dai dati di un elemento tecnico, alle informazioni sul degrado del sistema strutturale o dell'impresa di costruzione che da ultima ha eseguito un intervento, a seconda del livello di sviluppo (LOD) raggiunto.

Gli ambienti di sviluppo BIM richiedono un alto livello di specializzazione da parte dell'utente: se già la creazione di elementi costruttivi a partire da cataloghi di produttori o librerie di progetto studiate ad hoc risulta impegnativa, lo è ancora più la produzione di modelli BIM di edifici esistenti, dove le informazioni sono in primis da reperire, quindi da implementare correttamente nei modelli digitali.<sup>20</sup>

L'orizzonte della ricerca H-BIM si sta orientando verso la generazione di oggetti con diversi livelli descrittivi, appoggiandosi a metodi di rilevamento accurati come laser scanner o fotogrammetria digitale ad alta definizione, ma anche tramite la costruzione di librerie standard riutilizzabili. Secondo l'approccio H-BIM gli oggetti parametrici che rappresentano gli elementi architettonici possono venir costruiti geometricamente a partire da manualistica e trattatistica<sup>21</sup>. Questa procedura di modellazione si basa sull'impiego di librerie di componenti architettonici tipici dell'edilizia

<sup>19</sup> Robin Letellier, "Recording, Documentation and Information Management for the Conservation of Heritage Places", The Getty Conservation Institute, 2007

<sup>20</sup> Simone Garagnani, principal coordinato di BIM Foundation, *HBIM nell'esistente storico – Potenzialità e limiti degli strumenti integrati nel recupero edilizio*, Ingegno, Ottobre 2015

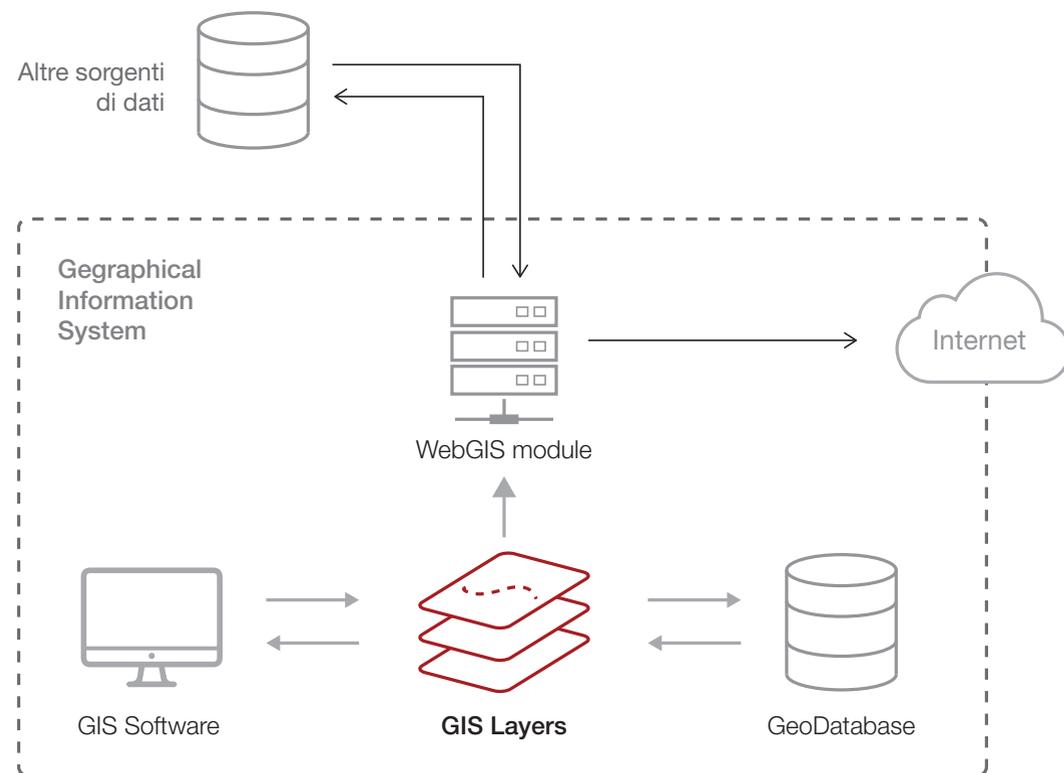
<sup>21</sup> Dore Conor, Murphy Maurice, *Historic Building Information Modelling (HBIM)*, in Brusaporci Stefano, *Handbook of Research on Emergin Digital Tools for Architectural Surveying, Modelling and Representation*, Hershey, IGI Global

storica e su algoritmi che combinino in automatico gli elementi della libreria e generino parti dell'edificio. Successivamente, alterando determinati parametri, l'operatore è in grado di rifinire il modello facendolo, combaciare con i dati del rilievo.<sup>22</sup>

## Sistemi GIS

I sistemi GIS<sup>23</sup> rappresentano quei software utilizzati per la realizzazione e gestione di sistemi informativi territoriali. Per sistema informativo territoriale si intende il complesso di strumenti e procedure che permettono l'acquisizione e la distribuzione dei dati nell'ambito dell'organizzazione, che li rendono disponibili, validandoli, nel momento in cui sono richiesti a chi ne ha la necessità per svolgere una qualsiasi attività correlata.<sup>24</sup>

**Figura 5** - Rappresentazione schematica di un sistema GIS completo della controparte Web e supporto dati esterno



D'altro canto il sistema GIS è un sistema informativo digitale che supporta l'acquisizione, l'archiviazione, l'analisi, la visualizzazione e la restituzione di informazioni derivanti da dati geo referenziati sul territorio.<sup>25</sup>

<sup>22</sup> Centofanti M., Brusaporci S., Maiezza P., *Tra HistoricalBim e HeritageBIM: Building Information Modelling per la documentazione dei beni architettonici*, Università degli Studi dell'Aquila, ReUSO, 2016

<sup>23</sup> *Geographical Information System*

<sup>24</sup> Mogorovich P., Mussio P., *Automazione del Sistema Informativo territoriale. Elaborazione Automatica dei Dati Geografici*, Masson, 1988. pag da 503-8 vol. 2

<sup>25</sup> Peter A Burrough, Rachel A McDonnel, *Principles of Geographical Information System*, Oxford University Press, 1998

Generalmente nei sistemi GIS vengono gestite tre tipologie di informazioni, strutturate all'interno di un database di tipo relazionale:

- **Geometriche:**  
relative alla rappresentazione cartografica degli oggetti rappresentati; quali la forma (punto, linea, poligono), la dimensione e la posizione geografica;
- **Topologiche:**  
riferite alle relazioni reciproche tra gli oggetti (connessione, adiacenza, inclusione ecc...);
- **Informative:**  
riguardanti i dati (numerici, testuali ecc...) associati ad ogni oggetto.

L'aspetto che caratterizza maggiormente un sistema GIS è quello geometrico: esso memorizza la posizione del dato impiegando un sistema di proiezione reale che definisce la posizione geografica dell'oggetto. Generalmente i moderni software di GIS sono in grado di gestire contemporaneamente i dati provenienti da diversi sistemi di proiezione e riferimento, come ad esempio UTM o Gauss Boaga.

A differenza della cartografia su carta, in un sistema GIS, la scala grafica perde il suo significato di parametro di qualità del dato di visualizzazione. Se un Sistema Informativo Territoriale può essere usufruito via Browser Web, si può parlare di WebGIS.

I sistemi GIS consentono di mettere in relazione tra loro dati diversi, mantenendo come base comune il riferimento geografico, ma offrendo all'utente la possibilità di spaziare la propria analisi su tipologie di dati diverse, a seconda di come sia stata progettata la piattaforma GIS stessa.

Tra le funzionalità che generalmente un sistema GIS prevede, si possono trovare:

- overlay topologico: possibilità di effettuare sovrapposizione di elementi di due o più tematiche diverse;
- query spaziali: interrogazioni di basi di dati a partire da criteri spaziali
- buffering: partendo da un punto, linea o poligono, definire una regione rispetto ad una distanza prefissata o variabile in funzione degli attributi dell'elemento stesso;
- segmentazione: algoritmi applicati su temi lineari per determinare un punto ad una determinata lunghezza dall'inizio del tema;
- network analysis: algoritmi che da una rete di elementi lineari sono in grado di determinare il percorso minimo tra due punti;
- spatial analysis: algoritmi che utilizzando modelli dati raster (non vettoriali) effettuano analisi spaziali di varia tipologia;
- analisi geostatistiche: algoritmi di analisi della correlazione spaziale di variabili georeferenziate.

## Fotogrammetria e nuvole di punti

La fotogrammetria rappresenta una tecnica di rilievo che permette di acquisire dati metrici di oggetti tramite l'acquisizione e l'analisi computerizzata di due o più fotogrammi stereometrici. Questa tecnica nasce a supporto di discipline quali cartografia e topografia, dove si esprime spesso tramite l'aerofotogrammetria, ma si sviluppa poi anche nell'architettura, dove prende il nome di fotogrammetria architettonica.

Una nuvola di punti (*point cloud*) è un insieme di punti caratterizzati dalla loro posizione in un sistema di coordinate spaziali, eventualmente caratterizzati da valori di intensità: colore, profondità e temperatura. Le nuvole di punti generalmente si ottengono grazie all'utilizzo di strumentazioni particolari, quali scanner 3D, ovvero, tramite la tecnica *Laser Scan*, come spesso viene identificata in architettura.

Grazie ai più recenti tecnologie e software sviluppati per l'elaborazione dei dati, attualmente si è in grado di realizzare nuvole di punti anche partendo da rilievi fotogrammetrici realizzati con strumentazione meno specializzata e quindi meno costosa. Importante far notare come il livello di dettaglio sia diverso, ma utilizzando una fotocamera digitale di tipo reflex e software adeguati, si è ormai in grado di ottenere nuvole di punti con la precisione necessaria per far sì che diventino un valido supporto a campagne di rilievo tradizionale.

## Integrazione H-BIM e GIS

L'integrazione di modelli H-BIM in sistemi GIS rappresenta il nuovo approccio alla documentazione del patrimonio edilizio esistente. Questo è possibile grazie all'implementazione e gestione di grandi quantità di dati, come rilievi provenienti da campagne di *Laser Scan* e fotogrammetria.

### Formati di interscambio dati

L'integrazione di modelli BIM all'interno di sistemi GIS è realizzabile grazie anche all'esistenza di formati standard di interscambio dati e descrizione dei modelli. Questa possibilità rappresenta la chiave di volta rispetto ai sistemi CAD, dove invece il panorama risulta molto più frastagliato e esente dalla volontà di normazione, soprattutto in ambito edile.

### CityGML

CityGML<sup>26</sup> è un formato dati standard a livello internazionale sviluppato al fine di consentire la rappresentazione di fabbricati e aree urbane in tre dimensioni. Il formato standard facilita lo scambio di dati 3D e supporta la sostenibilità e l'interoperabilità di oggetti tridimensionali.<sup>27</sup>

CityGML è sviluppato utilizzando lo standard XML<sup>28</sup>, uno dei formati di interscambio dati e ad oggetti più diffuso nel mondo dell'informazione, tramite l'implementazione GML.

---

26 City Geographical Geography Markup Language

27 Ulm, K 2010, 'Virtual 3D City Models - satisfaction through sustainability', *Geomatics World*, vol. 18, no. 6, pp. 16-8.

28 eXtensible Markup Language

A differenza di altri formati per la gestione di modelli tridimensionali, CityGML in grado di memorizzare diverse geometrie tridimensionali, descrivendo così gli oggetti in relazione alle loro proprietà geometriche, topologiche, semantiche e di aspetto.<sup>29</sup> Questo permette di effettuare complesse interrogazioni di dati in ambienti GIS, aprendo la strada ad analisi spaziali dei modelli urbani.

Il formato prevede la gestione delle famiglie di oggetti necessari a modellare i più importanti elementi dell'ambiente urbano: moduli di base per gli edifici, la vegetazione, le infrastrutture tecnologiche, i trasporti, l'arredo urbano e l'utilizzo del suolo.

### Standard IFC

La maggioranza delle piattaforme BIM attualmente disponibili nel panorama internazionale aderiscono alla norma internazionale IFC<sup>30</sup>, che prevede un formato di interscambio dati aperto e standard al fine di permettere la condivisione di modelli BIM tra le diverse piattaforme. IFC è un formato standard interoperabile basato, anch'esso, sulla codifica XML<sup>31</sup>, orientato agli oggetti e semanticamente classificato.

Questo formato standard permette quindi la descrizione pressoché completa del modello BIM di un edificio, consentendo, quindi, di integrare e implementare le informazioni anche da fonti dati esterni, oltre che sviluppare sistemi e piattaforme di analisi.

### “Metodologia”

Questo approccio prevede la modellazione H-BIM degli edifici, integrando i modelli con i dati provenienti da rilievi tramite laserscan o fotogrammetria, al fine di ottenere un modello digitale completo dell'edificio. Il modello ottenuto viene quindi implementato all'interno di un sistema GIS, eventualmente tridimensionale, affiancando ad esso altri modelli di edifici adiacenti o comunque dell'area di studio, al fine di ulteriori analisi e documentazione dei beni e dell'ambiente circostante nel suo complesso.

La ricerca in questo settore risulta particolarmente attiva, ad esempio alcuni lavori scientifici in quest'area hanno dimostrato la potenzialità di integrazione di H-BIM e GIS per la pianificazione territoriale, gestione del catasto e simulazioni ambientali.<sup>32</sup>

---

29 Kolbe, T, Gröger, G & Plümer, L 2005, 'CityGML - Interoperable Access to 3D City Models', paper presented to International Symposium on Geo-information for Disaster Management, Delft, The Netherlands, 21 - 23 March 2005.

30 Industry Foundation Class

31 eXtended Markup Language

32 Berlo, Lv & Laat, Rd 2010, 'Integration of BIM and GIS: The Development of the CityGML GeobIM Extension', paper presented to 5th International 3D GeoInfo Conference, November 3-4, 2010,, Berlin, Germany, Berlin, Germany.

# Porto Vecchio di Trieste

L'area edificata del Porto Vecchio di Trieste rappresenta un esempio di architettura, di certo interesse per il suo valore architettonico, storico e culturale, collocabile nell'ambito dell'*Archeologia Industriale*.

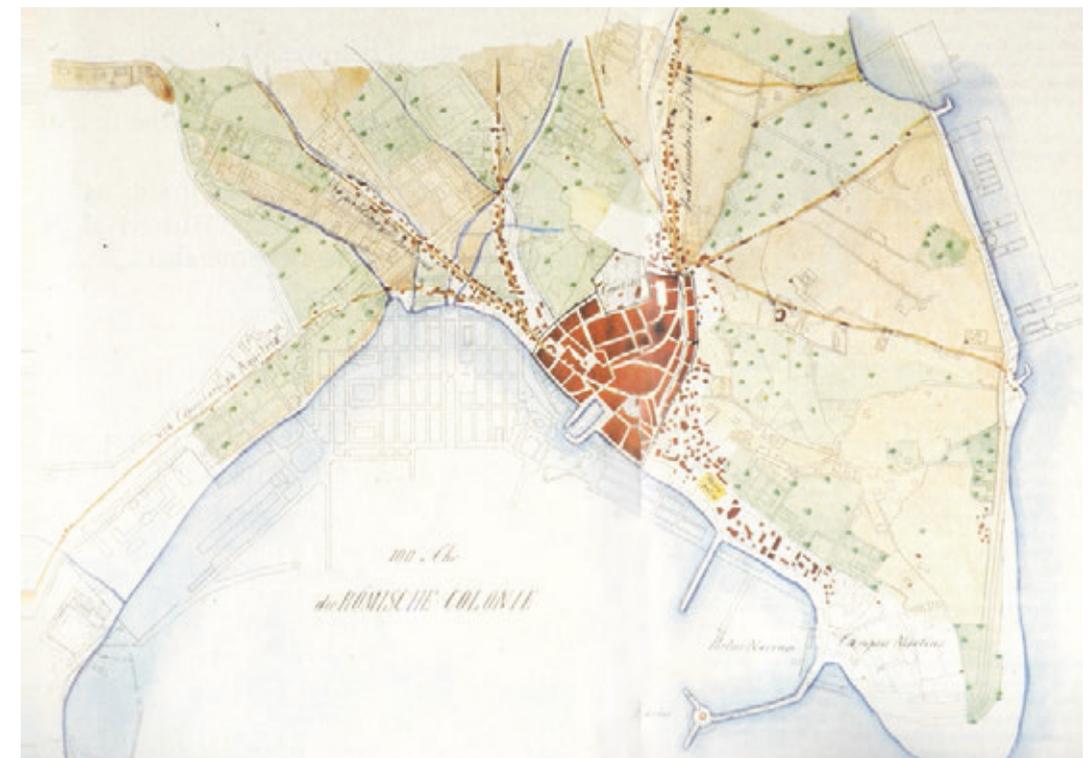
Il Porto Vecchio di Trieste si estende per circa 66 ettari sul fronte mare occidentale della città di Trieste e si sviluppa in un susseguirsi di grandi volumi edilizi, originariamente adibiti a magazzino o deposito per le merci in transito in regime di *Punto Franco*, la cui maggioranza risale alla fine del XIX Secolo. I Magazzini ed i Capannoni del Porto Vecchio di Trieste vengono progettati dall'ingegner Talabot ispirandosi al modello delle *Lagerhäuser*, ovvero quelle parti di città destinate al movimento delle merci, come spesso avveniva all'epoca nei porti del Nord Europa. Gli edifici vengono costruiti paralleli alla *Südbahn* ed alla linea di costa, seguendo una maglia ortogonale che ricorda il vicino Borgo Teresiano, così da diventare un'estensione del tessuto urbano della Città di Trieste.

## Fatti storici

### Lo Sviluppo della Città e del Porto di Trieste

Il Golfo di Trieste si trova in una posizione strategica, che collega la penisola italiana all'Est e al Nord Europa. Le caratteristiche naturali del Golfo fecero sì che già i gli Antichi Romani vi realizzassero una colonia e un porto commerciale, attorno al quale si sviluppò la *Città di Tergeste*.

**Figura 1** - Rappresentazione della colonia romana di Tergeste 100 a.C.  
*An European History of Free Trading and Shipping*



A partire dal XVIII secolo la Città di Trieste costituisce il nodo strategico di accesso al mare dell'Impero Austro-Ungarico e, per tale ragione, il Porto di Trieste in quel periodo divenne un importante crocevia di scambi commerciali.



**Figura 2** - Estensione della città nel XXIV Secolo  
*An European History of Free Trading and Shipping*

### L'impero Austro-Ungarico e il regime di Punto Franco

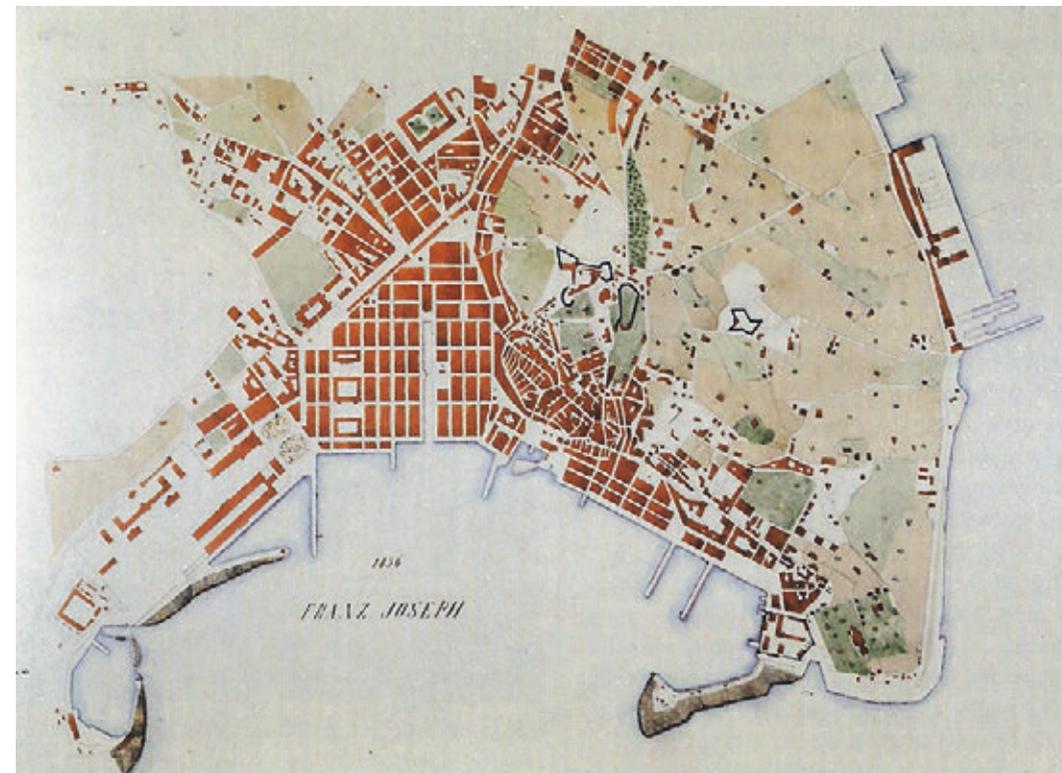
Nel XVIII Secolo il Porto di Trieste diventa crocevia degli scambi commerciali di tutto il Mediterraneo. A quell'epoca, la Città di Trieste faceva parte dell'Impero Austro-Ungarico e ne rappresentava l'accesso principe sul Mare Mediterraneo.

Nel 1719 Carlo VI, allora imperatore dell'Austria-Ungheria, mosso dalla necessità di creare un porto marittimo sicuro e veloce per i commerci tra le terre austriache e dare una nuova spinta allo sviluppo economico, assegnò il regime di *Punto Franco* al Porto di Trieste. Il Porto diventa una zona extra doganale, dove le merci estere potevano transitare o stazionare senza sottostare né a controlli né al pagamento di dazi. Successivamente, nel 1740, Maria Teresa estese il Privilegio di *Punto Franco* a tutta la città, dando così un'ulteriore spinta ai commerci nella città Trieste.

### La ferrovia Meridionale e l'aumento dei traffici

L'inaugurazione nel 1857 della Ferrovia Meridionale (*Südbahn*) a garantire il collegamento di Trieste a Vienna, portò alla decisione di sviluppare nelle adiacenze della Stazione Ferroviaria le infrastrutture del Porto; fino a quel momento il Porto trovava posto sulle rive del Borgo Teresiano, nelle vicinanze del centro urbano della Città di Trieste.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Barillari Diana, Gli edifici di Porto vecchio a Trieste: storia, architettura e tecnica, Trieste.



**Figura 3** - Il Borgo Teresiano nel XXVIII Secolo  
*An European History of Free Trading and Shipping*



**Figura 4** - Stampa rappresentante la città di Trieste nel XXIX Secolo  
*Alfredi Seri, Trieste nelle sue Stampe*

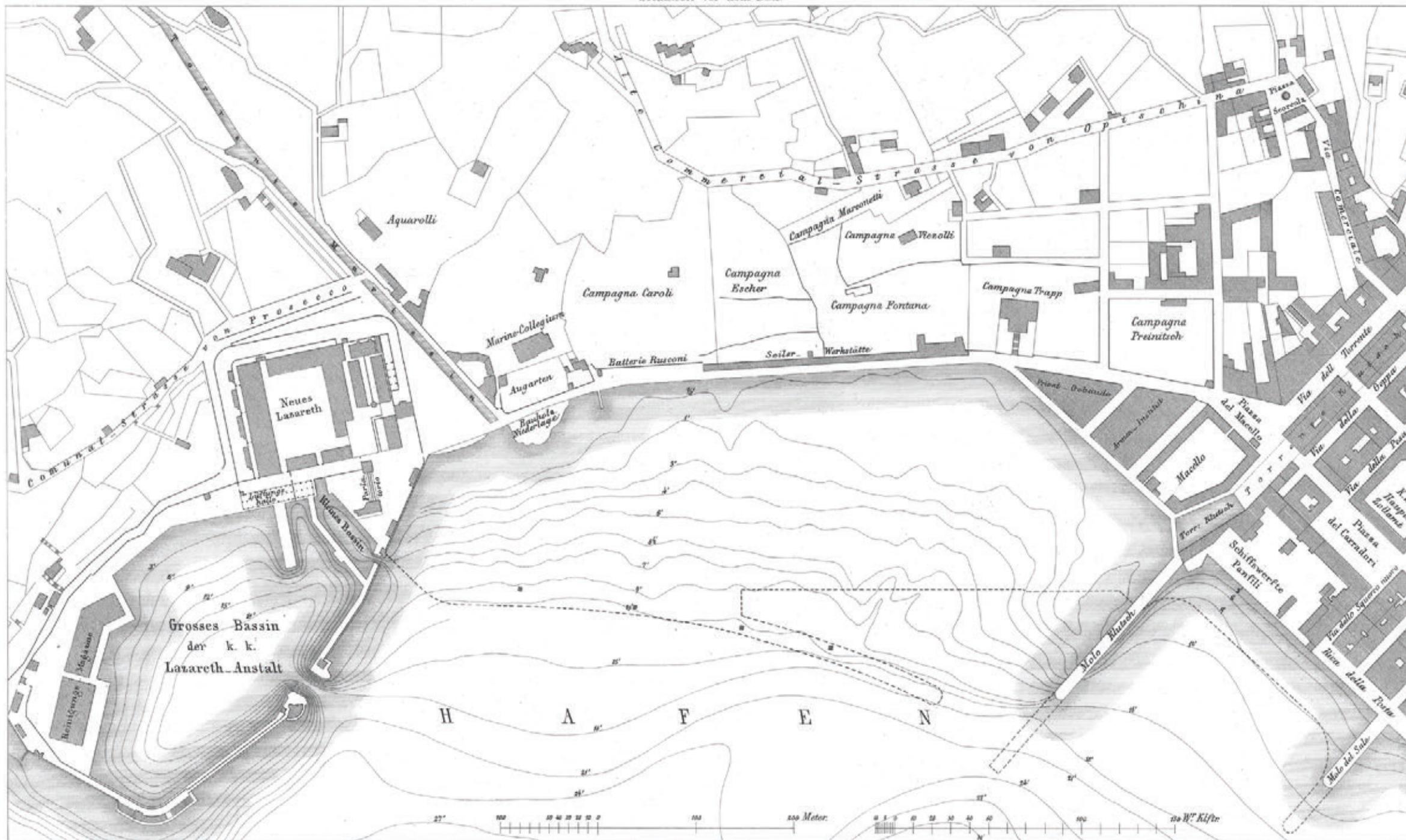


**Figura 5** - Stampa rappresentante i lavori di realizzazione della stazione di arrivo della Ferrovia Meridionale d'Austria  
*Alfredi Seri, Trieste nelle sue stampe, Editore Italo Svevo, Trieste, 1979*

# DER EISENBAHNHOF IN TRIEST

Situation vor dem Bau.

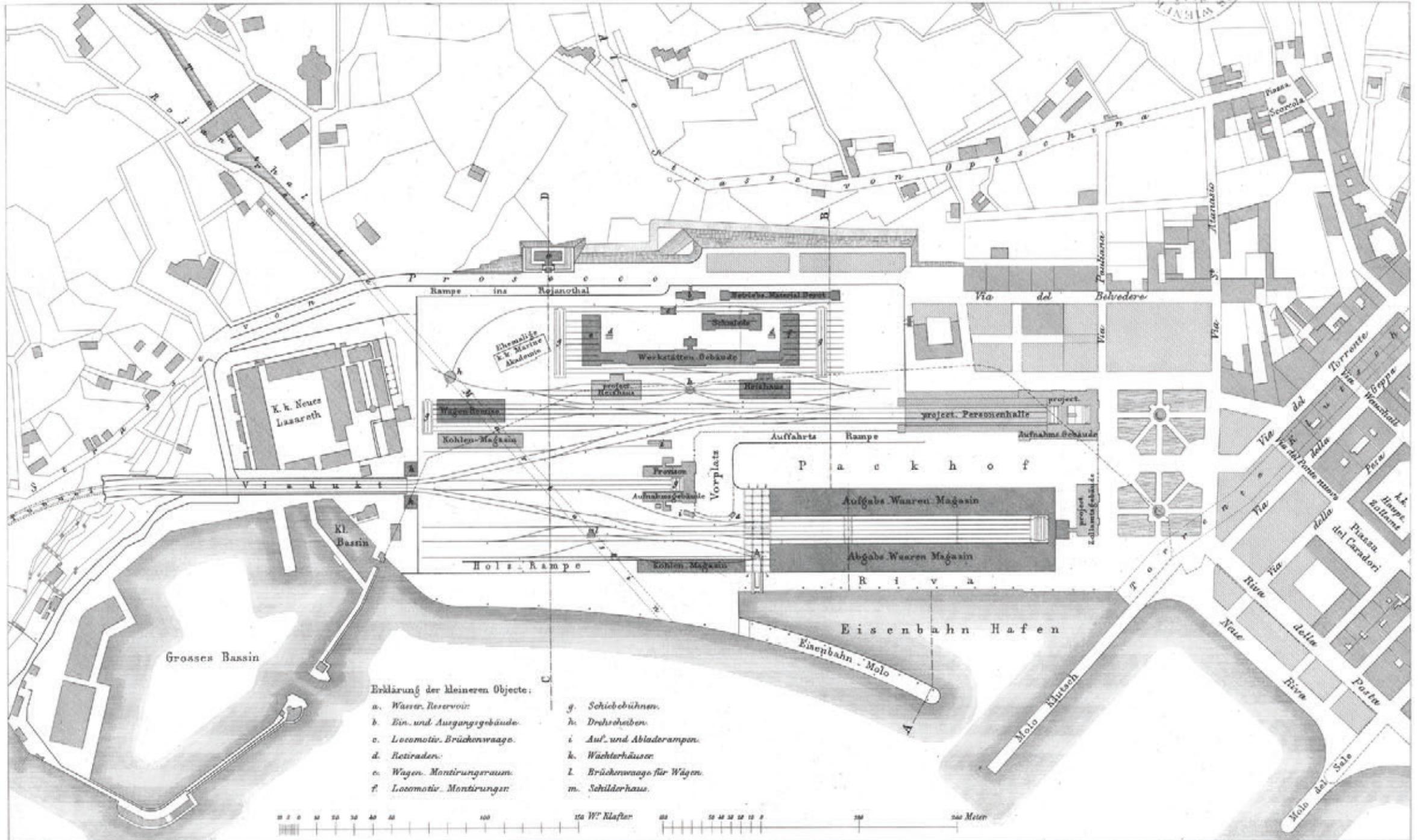
Bl. 283.



Allgem. Bauzeitung 1859.

Figura 6 - Rappresentazione planimetrica con in evidenza la nuova linea di costa successiva alla realizzazione del terrapieno per gli impianti della Ferrovia Meridionale d'Austria  
Allgemeine Bauzeitung, Vienna, 1859

DER EISENBAHNHOF IN TRIEST.  
Situation nach dem Bau.



Allgem. Bauzeitung 1859.

Figura 7 - Progetto degli impianti della stazione di testa della Ferrovia Meridionale d'Austria  
Allgemeine Bauzeitung, Vienna, 1859



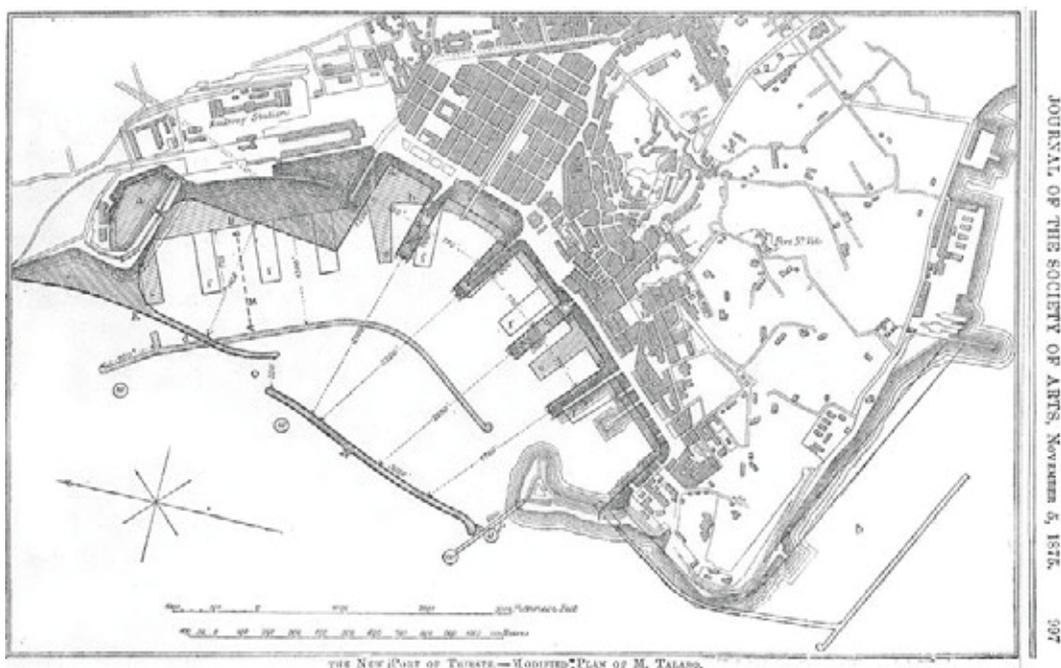
**Figura 8** - Stampa rappresentante i lavori di realizzazione della stazione di arrivo della Ferrovia Meridionale d'Austria  
*Alfredi Seri, Trieste nelle sue stampe, Editore Italo Svevo, Trieste, 1979*



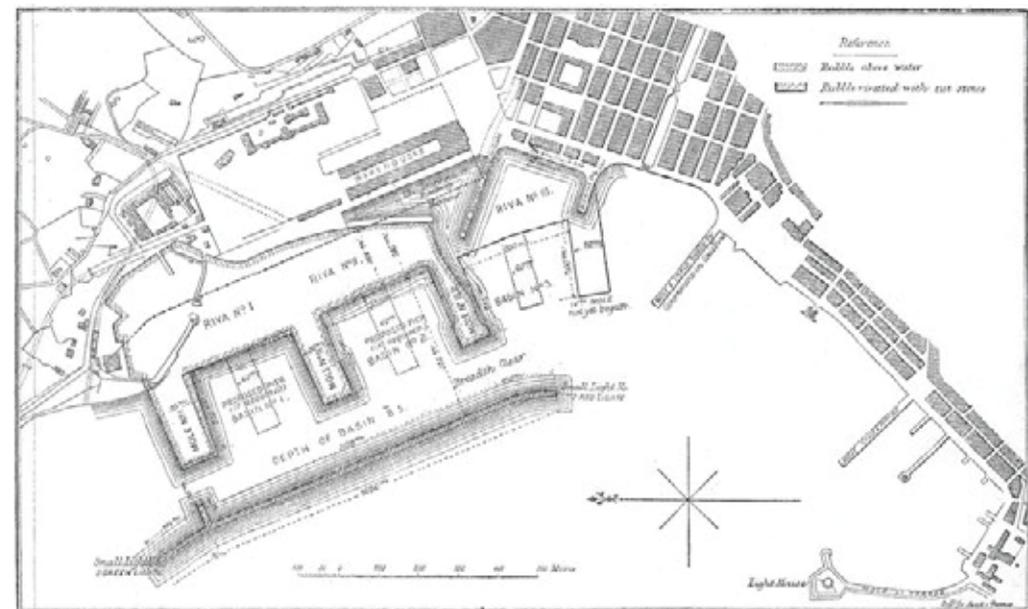
### Progetto e costruzione del Hafen von Triest

Nel 1863 il Governo di Vienna indisse il bando per la progettazione del *Hafen von Triest*, il *Porto di Trieste*; il bando trovò risposta in ben 13 progetti, e vide l'interesse di personaggi illustri dell'epoca, come l'esploratore inglese Richard Francis Burton, che pubblicò due a riguardo saggi sul *Journal of the Society of Arts* (Londra, 1975).<sup>2</sup>

**Figura 9** - Stampa rappresentante il viadotto di Barcola realizzato sotto la direzione dell'ing. C. Ghega. *Alfredi Seri, Trieste nelle sue stampe, Editore Italo Svevo, Trieste, 1979*



<sup>2</sup> Botteri G., *The free port of Trieste: a European history of free trading and shipping*, Editoriale, Trieste, 1988.



**Figura 10** - Il progetto dell'ing. Paulin Talbot completo delle correzioni proposte dal Capitano Poppovitch

Il 27 gennaio del 1865 venne selezionato il progetto dell'ingegnere francese Paulin Talbot. Talbot rappresentava gli interessi della Compagnia della Ferrovia Meridionale d'Austria: il progetto prevedeva l'interramento del vecchio bacino a fianco della ferrovia nella zona del Lazzaretto e l'ampliamento degli impianti ferroviari, così da favorire il trasferimento delle merci da una modalità di trasporto ad un'altra.

Il progetto prevedeva la realizzazione di cinque moli, di cui quattro paralleli e uno obliquo, con la conseguente formazione di quattro bacini. A protezione dei bacini, era prevista la realizzazione di una diga foranea lunga 1.100 metri, con annesso canale di passaggio largo 150 metri. Il progetto nel suo complesso si estendeva per una superficie totale di 320.000 mq.<sup>3</sup> Durante la fase realizzativa si riscontrano importanti difficoltà tecniche, connesse alla realizzazione del nuovo terrapieno e alle relative opere idrauliche necessarie alla deviazione dei corsi d'acqua presenti nell'area. Gli imponenti *Lagerhaus* (Magazzini) e *Hangar* (Capannoni) vengono eretti su un fondo costituito da terreno poco consistente e materiali di riporto, con conseguenti problemi nella realizzazione delle opere di fondazione.

La diga foranea, la cui funzione è la protezione dei bacini dalle mareggiate, venne terminata solo nel 1875, anno in cui entrarono in esercizio anche il Molo I, il Molo II e il primo bacino. La prima fase dei lavori del Porto venne completata solo nel 1883 grazie allo slancio impresso ai lavori di ampliamento dall'inaugurazione del Canale di Suez (1869) e dalla conseguente crescita dei traffici commerciali nel Mar Mediterraneo.<sup>4</sup>

<sup>3</sup> Botteri G., *The free port of Trieste: a European history of free trading and shipping*, Editoriale, Trieste, 1988.

<sup>4</sup> Venier G., *No, we can't. Il porto di Trieste: identità e vocazione*, Place Activator a cura di Vuga B., 2013



**Figura 11** - Fotografia risalente al 1880 Secolo raffigurante la stazione di testa della Ferrovia Meridionale d'Austria.  
*Francesco Ramann, 1880, Museo della Città di Trieste*

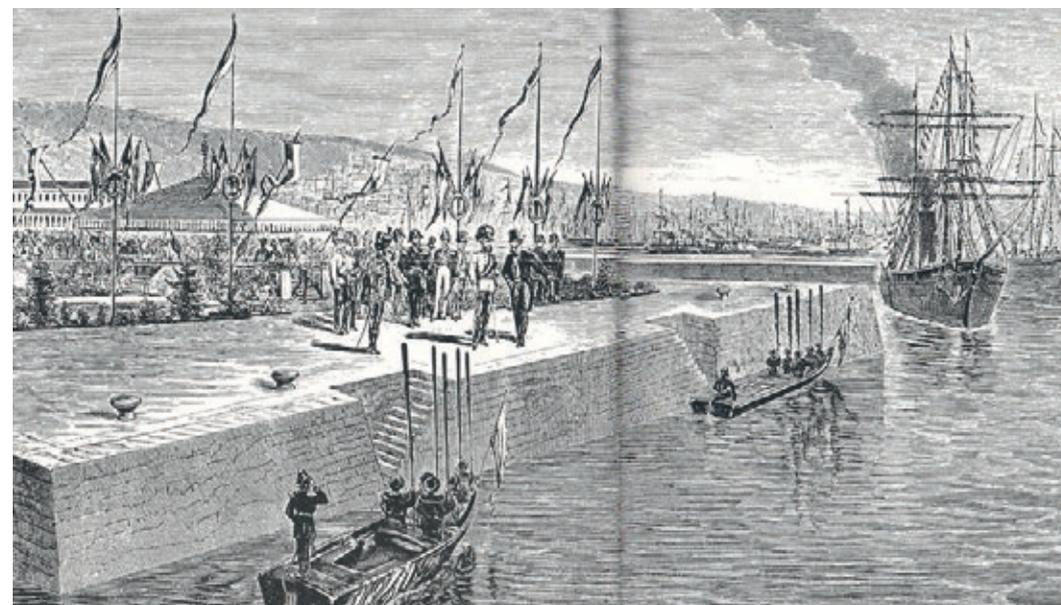


**Figura 12** - Fotografia realizzata dal colle di Scorcola raffigurante i lavori di realizzazione del Hafengebäude: ben visibili moli, diga foranea e i depositi di materiale lapideo trasportato via mare dalle Cave della Baia di Sistiana.  
*Giuseppe Wulz, 1890, Museo della Città di Trieste*



**Figura 13** - Trieste nel 1885, durante i lavori di costruzione del Porto.  
*Horst F. Mayer, Dieter Winkler: In allen Häfen war Österreich, Vienna 1987*

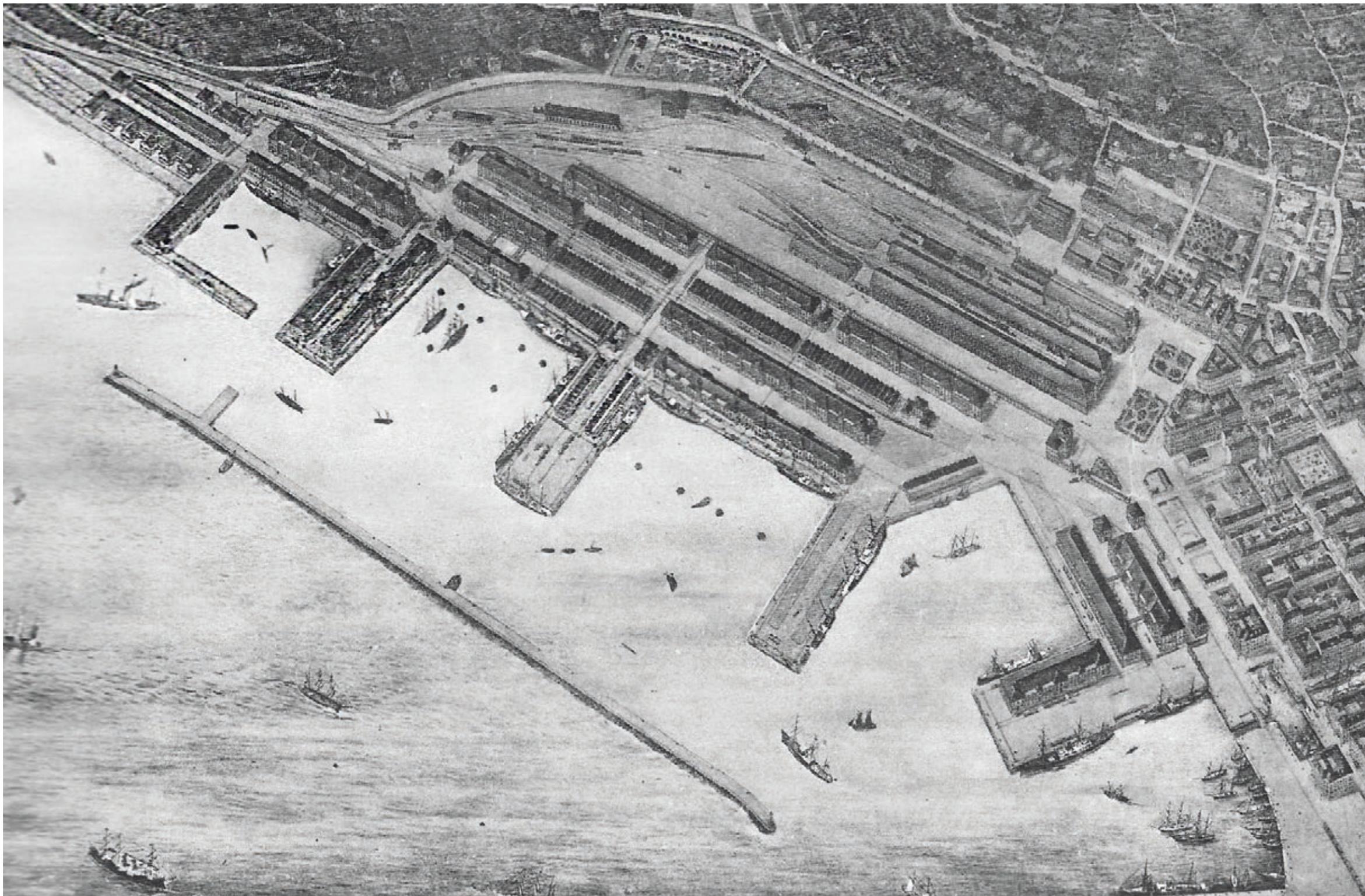
**Figura 14** - Inaugurazione Hafengebäude alla presenza di Franz Josef  
*An European History of Free Trading and Shipping*



Nel 1879 il Ministero del Commercio affidò all'ente Pubblici Magazzini Generali la gestione delle operazioni portuali svolte a terra, mentre quelle a bordo delle navi restarono prerogativa degli armatori. Si aprì così un'ulteriore fase progettuale con la predisposizione di ulteriori edifici e infrastrutture portuali in grado di rendere il Porto di Trieste competitivo nei confronti degli altri scali europei.

Tra il 1883 e il 1893 vennero costruiti i Magazzini 7, 10, 18, 19, 20 e 26 e i Capannoni 6, 9, 17, 21, 22, 24 e 25, e, con l'allestimento del Molo IV nel 1893, il nuovo complesso portuale poteva ritenersi completato.<sup>5</sup>

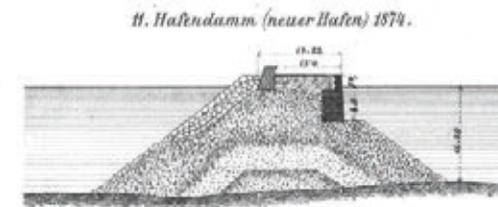
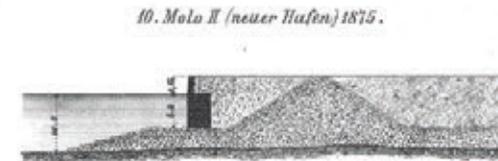
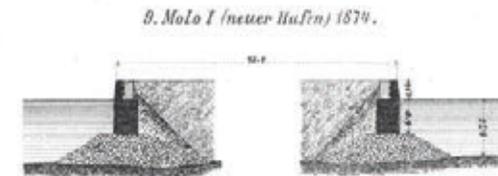
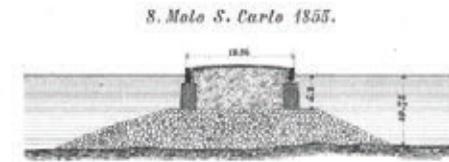
<sup>5</sup> Autorità Portuale di Trieste, Il Porto Vecchio di Trieste, Trieste, 2013



**Figura 15** - Rappresentazione assonometrica del progetto del Porto di Trieste così come era stato rivisto dall'ing. Buzzi secondo le volontà dei Magazzini Generali di Trieste, si evidenziano le coperture a falde poi non realizzate.  
*Alfredi Seri, Trieste nelle sue stampe, Editore Italo Svevo, Trieste, 1979*

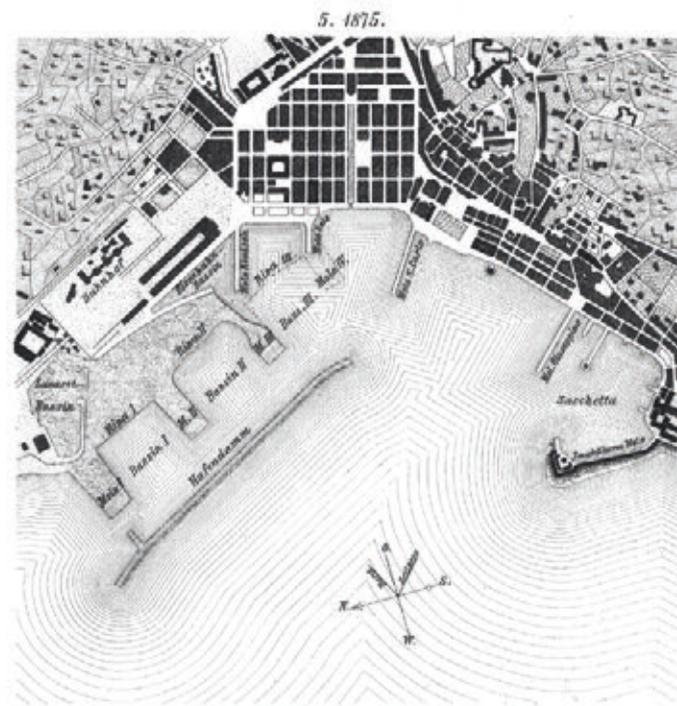
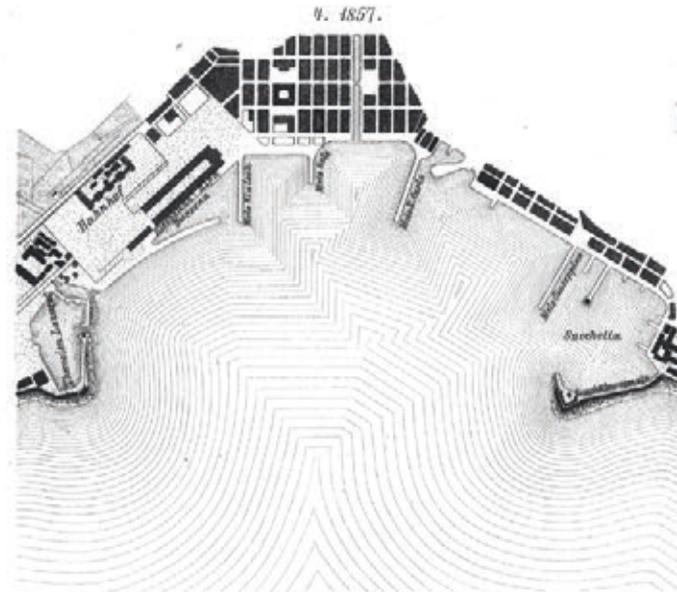
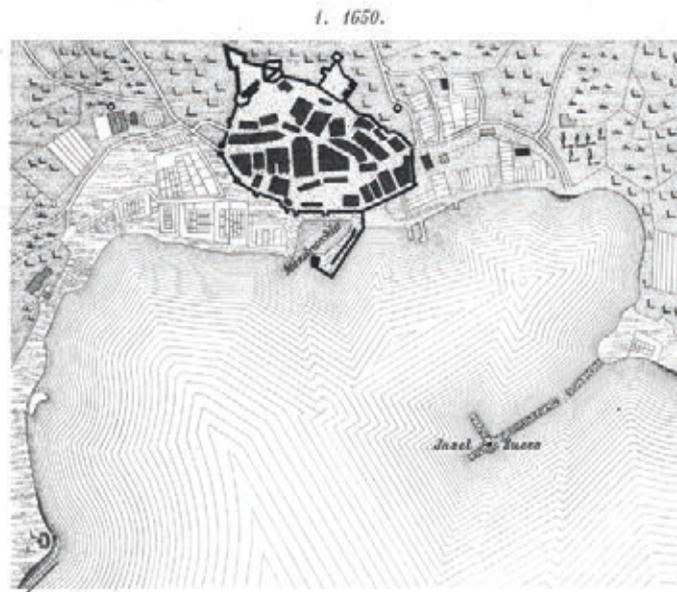
# HAFENBAU IN TRIEST. Entwicklung der Triester Hafenbauten von 1650-1875.

Constructions - System.



0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 (Fuss) für Fig. 1.-incl. 6.  
0 50 100 150 200 (Fuss) für Fig. 7.-incl. 11.

R.v. Waldkirch arch. Anat. Wien.



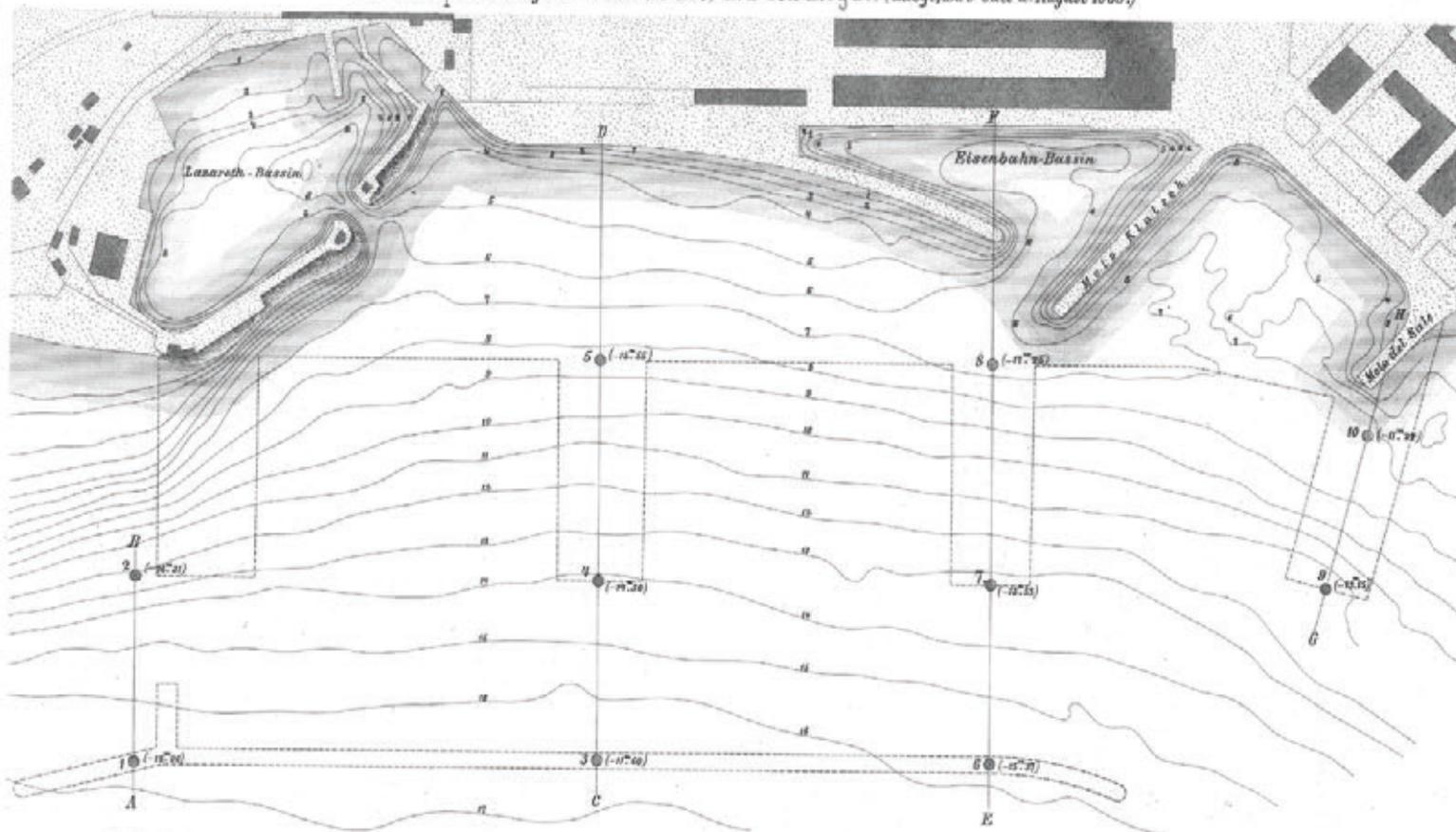
■ Öffentliche Bauten. ■ Gmünder- und Privatgebäude.

Allgen. Bauzeitung, 1876.

Figura 16 - Sviluppo della Città e del Porto di Trieste dal 1650 al 1875  
Allgemeine Bauzeitung, Vienna, 1876

# HAFENBAU IN TRIEST.

1. Tiefenplan (aufgenommen Februar 1867) u. Bohrungen (ausgeführt Juli u. August 1869.)

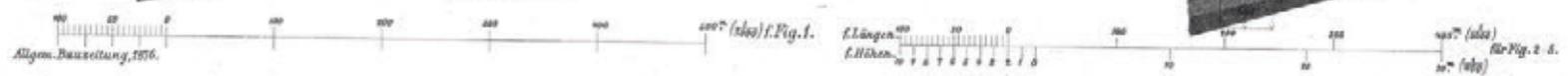
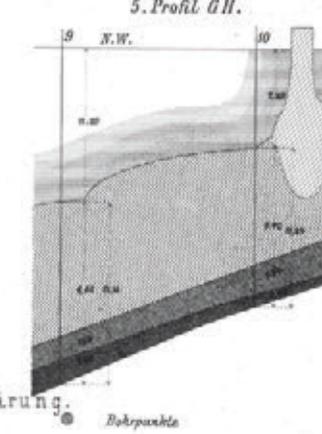
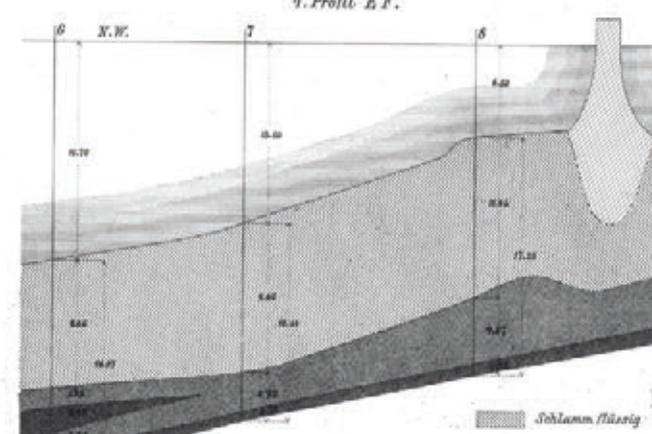
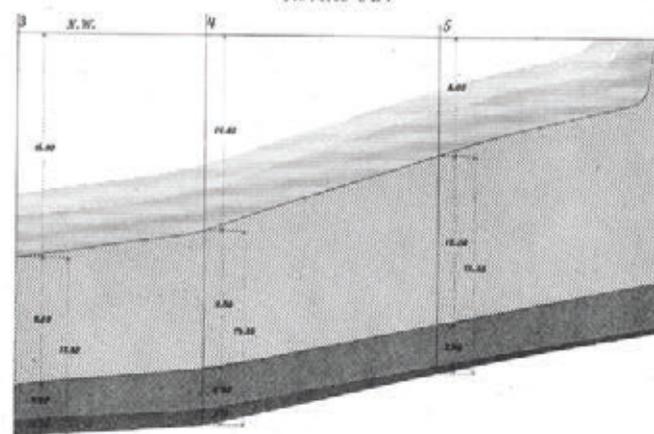
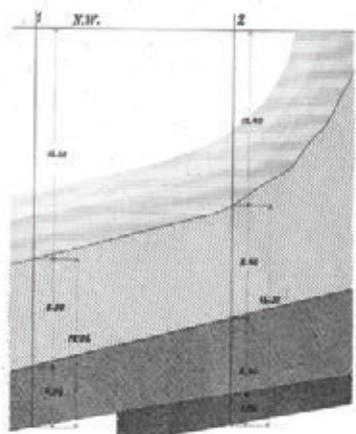


2. Profil AB.

3. Profil CD.

4. Profil EF.

5. Profil GH.



**Erklärung.**  
 Bohrpunkte  
 Umkreis der Hafensubjekte.  
 Tiefencurven von Meter zu Meter.  
 H. v. Waldheim art. Aust. Wien.

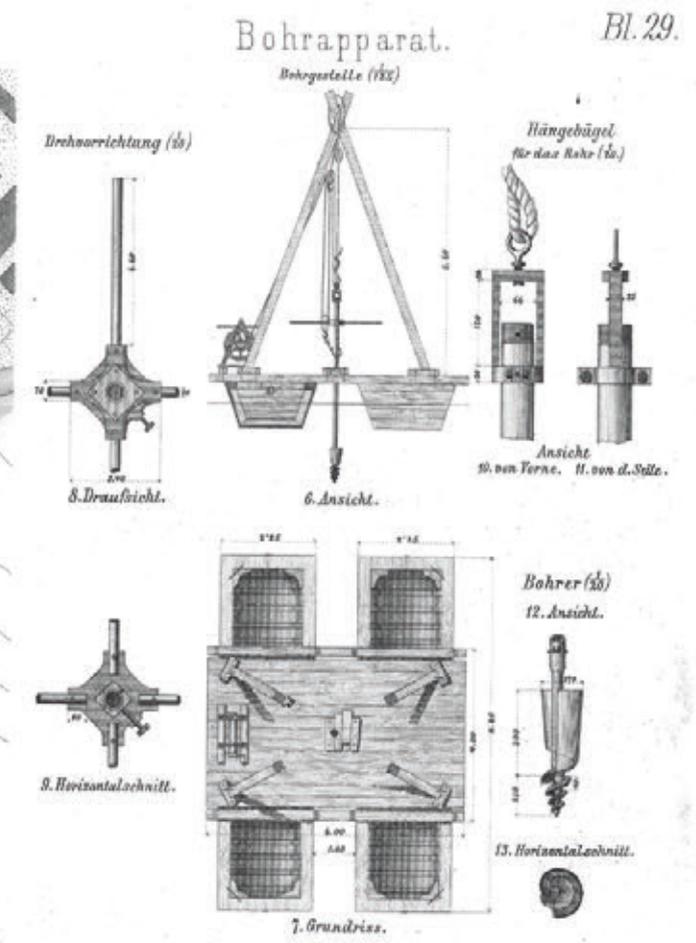


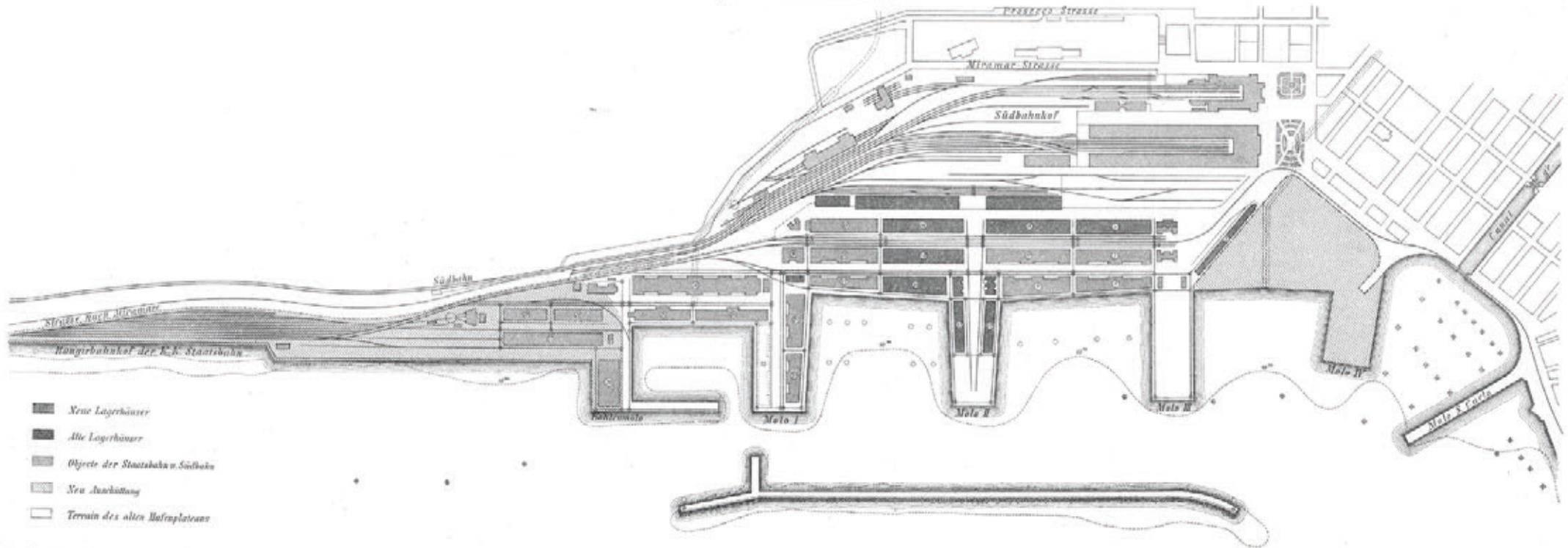
Figura 17 - Profili batimetrici, macchine di sollevamento, progetto di moli e terrapieno per la realizzazione del Hafen von Triest Allgemeine Bauzeitung, Vienna, 1876

# DIE NEUEN LAGERHÄUSER IN TRIEST.

Mitgetheilt von Carl Muck.



Situationsplan des neuen Triester Hafens.



Alpen Bauzeitung 1891.

R. v. Waldheim arch. Inst. Wien.

Figura 18 - In alto sezione di un Capannone e di un Magazzino, in basso una planimetria che rappresenta l'avanzamento dei lavori di costruzione al 1891  
Allgemeine Bauzeitung, Vienna, 1891

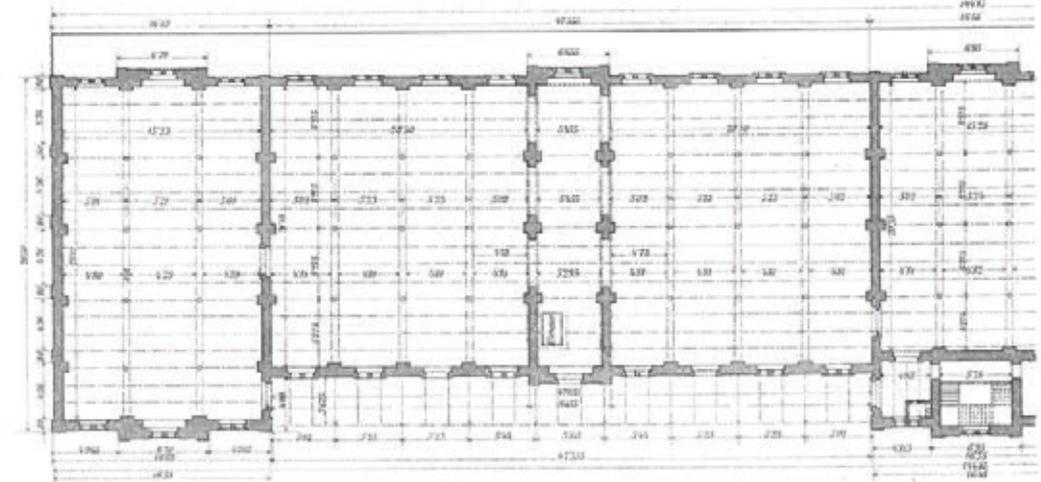
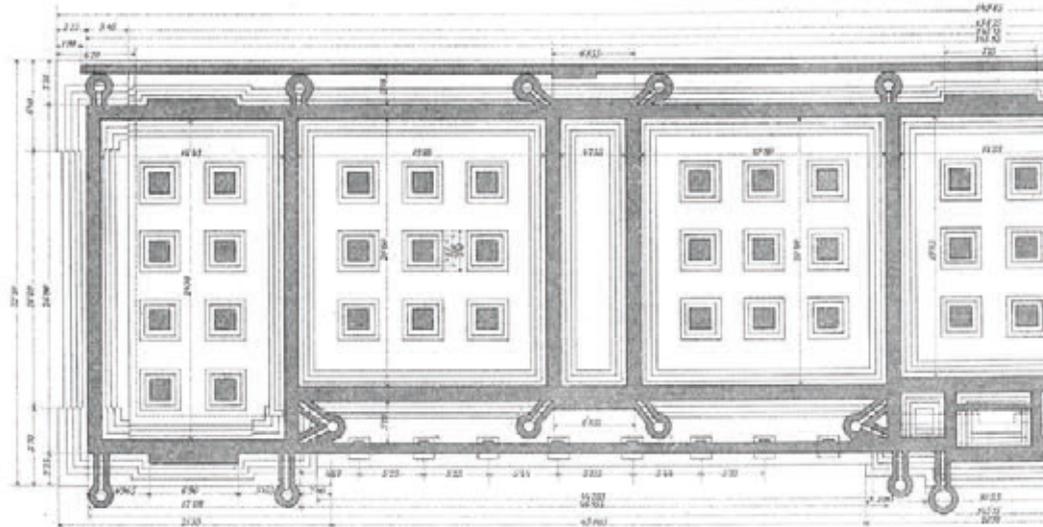
# DIE NEUEN LAGERHÄUSER IN TRIEST

Mitgetheilt von Carl Muck.

Fundament.

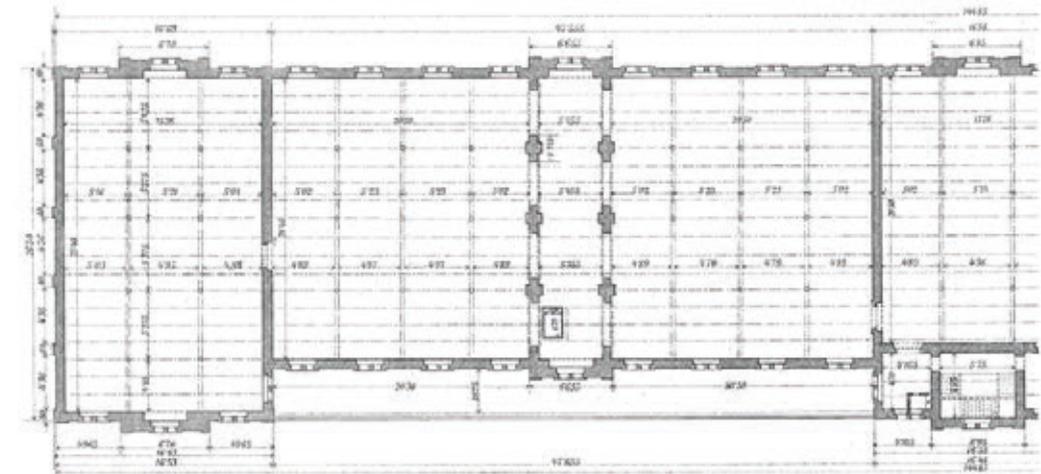
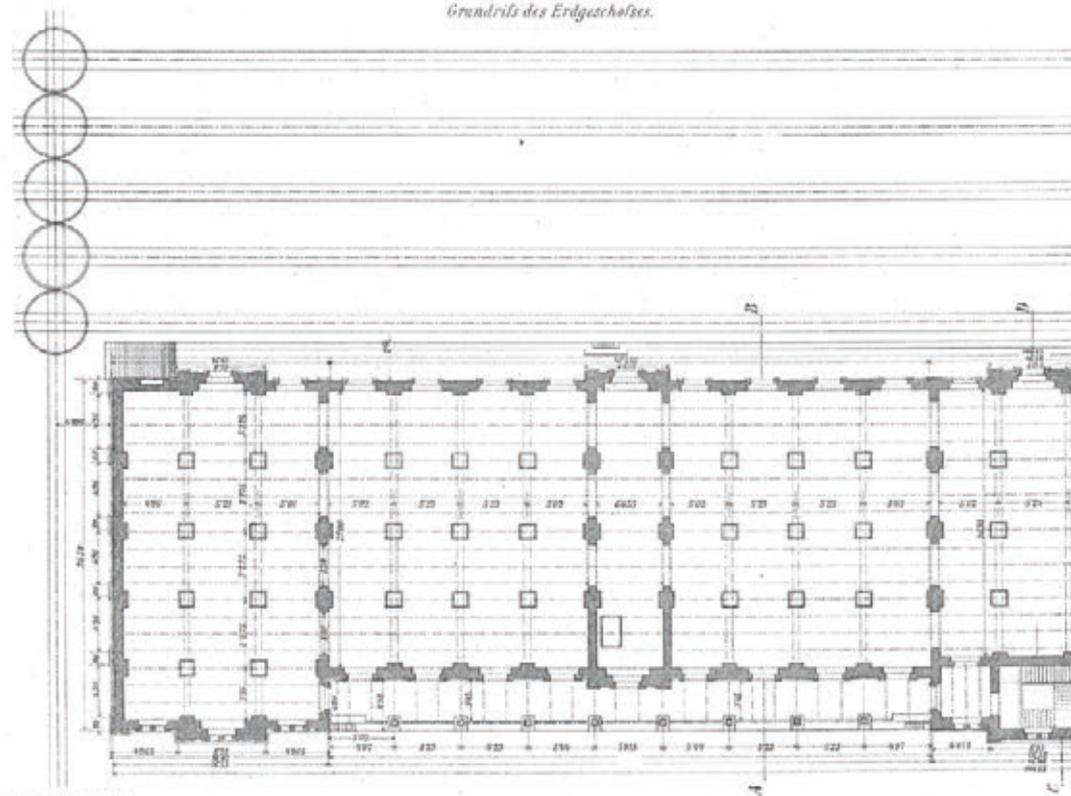
Magazin.

Erster Stock.



Grundriß des Erdgeschosses.

Grundriß des Dachbodens.



Allgem. Bauzeitung 1891

H. v. Waldheim arch. Anst. Wien.

Figura 19 - Piante di un Magazzino tipo, dalla fondazione ai piani superiori  
Allgemeine Bauzeitung, Vienna, 1891

ÜBER DIE HERSTELLUNG DER NEUEN MARTESIN-KANAL-UMLEGUNG  
UND DIE FUNDIRUNG DES MAGAZINS N° 26 IM NEUEN TRIESTER HAFEN.  
Mitgetheilt von Ingenieur C. Muck

Bl. 34.



**Figura 20** - Fotografia d'epoca che documenta le opere di realizzazione delle fondazioni del Magazzino 26  
*Il Magazzino 26 di Trieste, Documenti di un Restauro, Edizioni Lint, Trieste, 2011*



**Figura 21** - Il Magazzino 7 nei primi anni del XX Secolo  
*F. Amodeo, A. Caroli, Trieste e il Porto: una storia per immagini, Editoriale FVG, Trieste 2007*



**Figura 22** - Uno dei viali dell'*Hafen von Triest* carico di merci nei primi anni successivi alla realizzazione  
*F. Amodeo, A. Caroli, Trieste e il Porto: una storia per immagini, Editoriale FVG, Trieste 2007*



### Il Porto di Trieste diventa Porto Vecchio

Nel 1891, ancor prima che i lavori nel *Hafen von Triest* venissero completati, la *Zona Franca* viene nuovamente ristretta alla sola area del porto; considerando che il Porto era stato progettato fin dall'inizio come un'estensione delle città, l'apposizione dei varchi doganali, progettati da Karl Junker, segna l'inizio del declino del complesso portuale: il Porto e la Città, per la prima volta nella storia di Trieste, sono configurate come due entità disgiunte.<sup>6</sup>

**Figura 23** - Il Magazzino 26 nei primi anni del 1900  
F. Amodeo, A. Caroli, *Trieste e il Porto: una storia per immagini*, Editoriale FVG, Trieste 2007



**Figura 24** - Operai al lavoro nei magazzini del Porto  
F. Amodeo, A. Caroli, *Trieste e il Porto: una storia per immagini*, Editoriale FVG, Trieste 2007

<sup>6</sup> Panjek G., Trieste mercantile 1861-1914, in *L'evoluzione delle strutture portuali della Trieste moderna tra '800 e '900*, Artigraficheriva, Trieste, 2004.



**Figura 25** - Dislocamento del Punto Franco Vecchio rispetto al Punto Franco Nuovo

A rafforzare il declino del *Hafen von Triest*, nel 1898 viene avviata un'iniziativa di completa revisione del Porto di Trieste, che vide come prima operazione l'istituzione del *Punto Franco Nuovo* nella zona Est della Città. Quest'azione si rese necessaria per seguire l'onda di innovazione ed espansione dovuta all'imporsi delle nuove famiglie di armatori provenienti dalla Dalmazia, una fra tutte la famiglia Cosulich. L'*Hafen von Triest* presto assunse la denominazione di Porto Vecchio.

A seguito del primo conflitto mondiale, il conseguente passaggio dell'area triestina al Regno d'Italia comportò una trasformazione radicale nella portualità triestina: il Porto di Trieste, da porto unico dell'Austria, divenne uno dei tanti scali portuali italiani.

Questa posizione, rafforzata dalla politica autarchica del regime post bellico che non permetteva di dare nuovo slancio agli scambi commerciali né via terra né via mare, diede inizio ad una fase di stagnazione dei traffici commerciali nel Porto di Trieste.<sup>7</sup>

Il Porto di Trieste si trasformò presto in uno scalo di transito, venendo a mancare lo status di unicità che lo caratterizzava nell'Impero Austro-Ungarico.<sup>8</sup>

L'ascesa nel 1922 del Partito Fascista, portò Trieste ad assumere un ruolo importante all'interno della nuova ideologia nella politica italiana: la Città era vista come un punto di partenza per la conquista economica dell'area balcanica. Tuttavia, già nel 1936, fu chiaro il fallimento del piano: il Lloyd Triestino e la Cosulich si trovavano in condizioni economico-finanziarie critiche, nonostante gli ingenti finanziamenti nazionali. A bloccare ulteriormente lo sviluppo ci furono le leggi razziali che, nel 1938, colpirono l'importante componente ebraica triestina; Trieste perde il suo aspetto cosmopolita e la sua naturale identità di crocevia di cultura e di popoli, e la situazione degenera durante il secondo conflitto mondiale.

<sup>7</sup> Gortan M., 1886 Trieste Porto Nuovo, Studio LT2, Venezia, 2008

<sup>8</sup> Venier G., No, we can't. Il porto di Trieste: identità e vocazione, Place Activator a cura di Vuga B., 2013

## Bombardamenti durante la seconda guerra mondiale

Durante la Seconda Guerra Mondiale tutta la Città di Trieste fu teatro di bombardamenti da parte delle forze alleate. I principali obiettivi dei bombardamenti erano le strutture del Porto, ritornato strategico soprattutto da un punto di vista bellico. I target delle incursioni aeree degli alleati si trovavano principalmente in Porto Nuovo, il quale ne uscì fortemente danneggiato, ma, seppur in modo minore, anche il Porto Vecchio subì ingenti danni, sia sui moli che sugli edifici.



**Figura 26** - Magazzino gravemente danneggiato a seguito del secondo conflitto mondiale  
F. Amodeo, A. Caroli, Trieste e il Porto: una storia per immagini, Editoriale FVG, Trieste 2007

## Secondo dopoguerra

Nel secondo dopoguerra viene intrapresa una nuova azione volta a rivitalizzare l'attività portuale di Trieste, anche in seguito alla nuova situazione geografica e politica creatasi a partire dal 1954. L'azione di ristrutturazione si esplicita però prevalentemente nella zona Est della città, dove trova posto il Punto Franco Nuovo e il nuovo terminal dell'oleodotto transalpino Trieste - Ingolstadt, che garantirà un afflusso regolare di petrolio dalle navi cisterna all'Austria. Questo processo di sviluppo della portualità commerciale nell'area Est della Città culmina con la costruzione del Terminal container posizionato sul Molo VII, segnando l'inizio di un'innovazione delle pratiche portuali, legate sempre più ad un commercio di massa. Verso gli anni '70, infatti, il porto di Trieste riuscì a mettersi al passo con i tempi con il completamento del nuovo terminal contenitori.

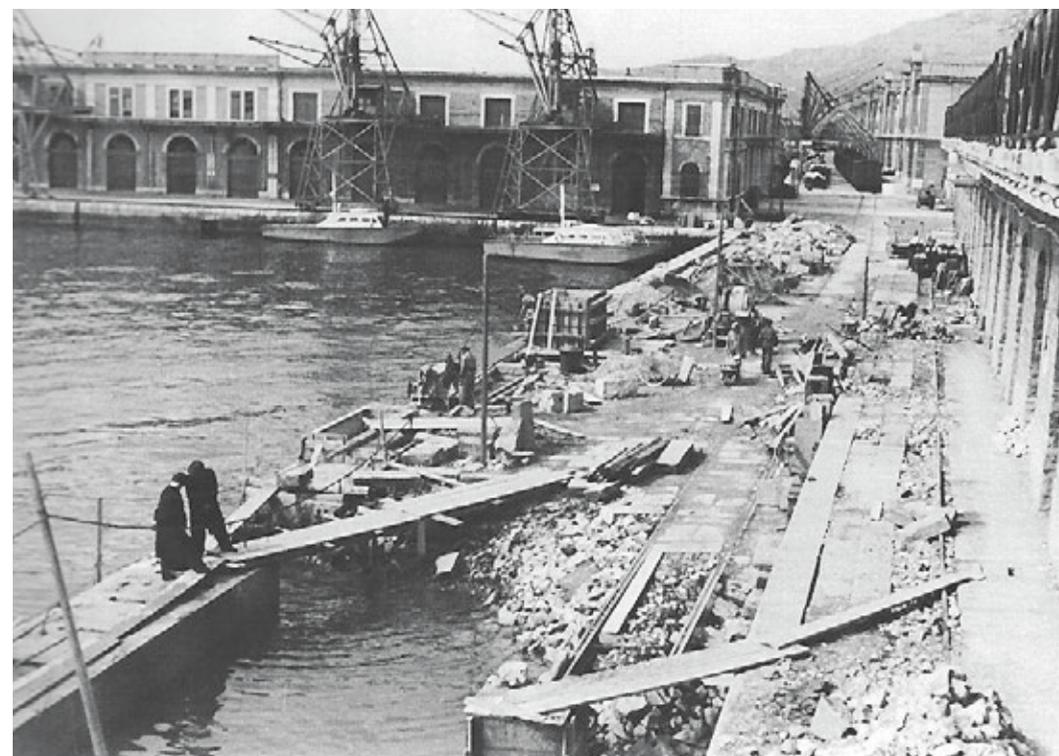
Il consolidato impianto urbanistico e la conformazione della costa impediscono, infatti, l'espansione del Porto Vecchio nelle aree antistanti. L'impossibilità di espansione unita a tutte le altre limitazioni dell'area, fanno sì che Trieste sviluppi sempre più l'area portuale nella zona Est della città, segnando così, sin dai primi anni '70, il progressivo abbandono dell'area portuale Ovest. Tutto ciò segna il definitivo declino del *Hafen von Triest*.



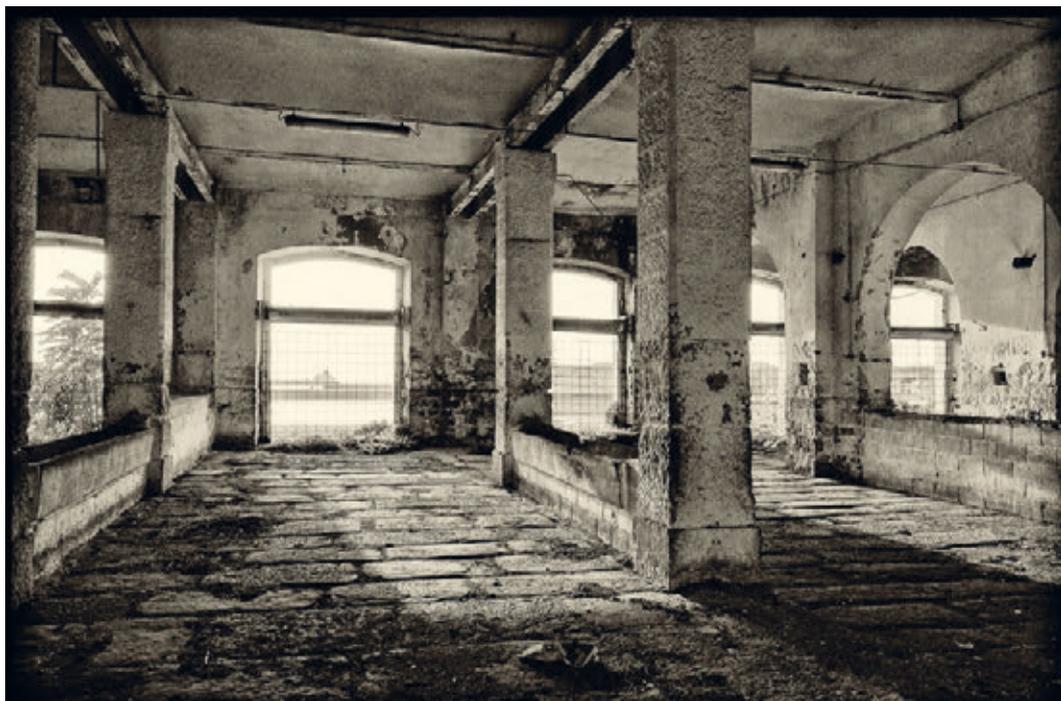
**Figura 27** - Bombardamenti nella zona ovest della Città durante la Seconda Guerra Mondiale  
F. Amodeo, A. Caroli, Trieste e il Porto: una storia per immagini, Editoriale FVG, Trieste 2007



**Figura 28** - Ricostruzione in Porto vecchio dei moli danneggiati dai bombardamenti  
F. Amodeo, A. Caroli, Trieste e il Porto: una storia per immagini, Editoriale FVG, Trieste 2007



**Figura 29** - Sopralluogo successivo ai bombardamenti in Porto Vecchio  
F. Amodeo, A. Caroli, Trieste e il Porto: una storia per immagini, Editoriale FVG, Trieste 2007



Come risultato dello spostamento delle attività principali del Porto di Trieste nella zona Est della città, il Porto Vecchio risulta oggi svuotato dalle funzioni originarie. I segni di abbandono sono evidenti su gran parte degli edifici, con l'eccezione dell'area compresa tra il Molo II e Molo III, dove si colloca l'Adriaterminal - struttura portuale realizzata alla fine degli anni Novanta del secolo scorso con il tombamento del Bacino 2 - che costituisce la sola infrastruttura operativa del Porto Vecchio.

**Figura 30** - Edifici abbandonati in Porto Vecchio  
Roberto Carsi, 2012

**Figura 31** - Difficile movimentazione di container  
F.Amodeo, A.Caroli, Trieste e il Porto: una storia per immagini, Trieste 2007



**Figura 32** - Proposte elaborate da studi di rilievo nazionale e internazionale per il recupero e il rilancio dell'area del Porto Vecchio dal 1970 alla fine del secolo

Magazzini e Capannoni risultano in un'evidente condizione di incuria, gli oneri di manutenzioni risultano sempre più onerosi, a fronte di una scarsa potenzialità commerciale, dovuta all'incompatibilità degli spazi a disposizione con i sistemi di gestione delle merci contemporanei.

L'accesso alle navi di trasporto merci attuali risulta compromesso a causa dello spazio ristretto tra Diga Foranea e moli, mentre gli spazi messi a disposizione dagli edifici, così come gli scarsi spazi di manovra tra essi, rendono pressoché impossibile le operazioni di movimentazione dei contenitori (*container*).

### Piani e progetti di riuso e rilancio dell'area

Le ipotesi di recupero e riuso dell'area, sviluppate tra l'inizio degli anni '70 e la fine degli anni '80, consideravano un impiego parziale degli edifici, la demolizione dei più vetusti e la conseguente realizzazione di nuovi complessi edilizi, quale soluzione da privilegiare rispetto al recupero dell'edificio esistente. Le azioni progettuali risultavano, nel complesso, non integrate tra loro e, spesso, non facevano proprio il valore storico-architettonico del sito. Solo recentemente si è registrato un crescente interesse da parte degli storici e degli organi di tutela per il Porto Vecchio. Questo ha permesso la predisposizione degli adeguati strumenti urbanistici ed operativi necessari alla riqualificazione edilizia ed alla, auspicata, ricongiunzione del Porto al tessuto urbano della Città di Trieste.



Le proposte successive ai primi anni '80 richiamano l'intervento di salvaguardia del Porto Vecchio predisposto nel 1989 dalla Soprintendenza per i Beni Culturali ed Architettonici, con il quale è stata introdotta una riflessione sulla morfologia dei luoghi che portasse ad una più estesa trasformazione e ad una diversa lettura di questi spazi, in una visione che accomuna l'area del Porto Vecchio ad altri borghi storici cittadini (Borgo Teresiano, Borgo Giuseppino, Borgo Franceschino).<sup>9</sup>

Nella concezione di questi progetti, il Porto Vecchio è valutato quale area da dismettere dalle funzioni originarie portuali a favore di destinazioni d'uso direzionali piuttosto che residenziali o turistico-ricettive, lasciando quindi in secondo piano il concetto di *Lagerhauser* e l'obiettivo proprio di coniugare, insieme, sviluppo urbano e portuale.



Inoltre, considerate le importanti caratteristiche architettoniche dei manufatti presenti nell'area, testimoni di interessanti tecnologie e concezioni costruttive<sup>10</sup>, negli ultimi decenni il complesso portuale è riconosciuto come portatore di significati e valori nei quali la collettività si riconosce. La conservazione di quest'area non può essere derogata a favore di idee progettuali con obiettivi che non siano la conservazione dell'architettura stessa, ma al contrario deve essere ricercata un'elevata qualità nei singoli interventi di recupero e restauro, individuando la corretta mediazione tra le necessità delle nuove destinazioni d'uso e la conservazione di una precisa, e riconosciuta, identità architettonica.

**Figura 33** - I Magazzino 9 affacciato sulla Banchina Neva Gasparro, Senza far rumore. *Viaggio in Porto Vecchio*, Lint Editoriale, Trieste, 2013

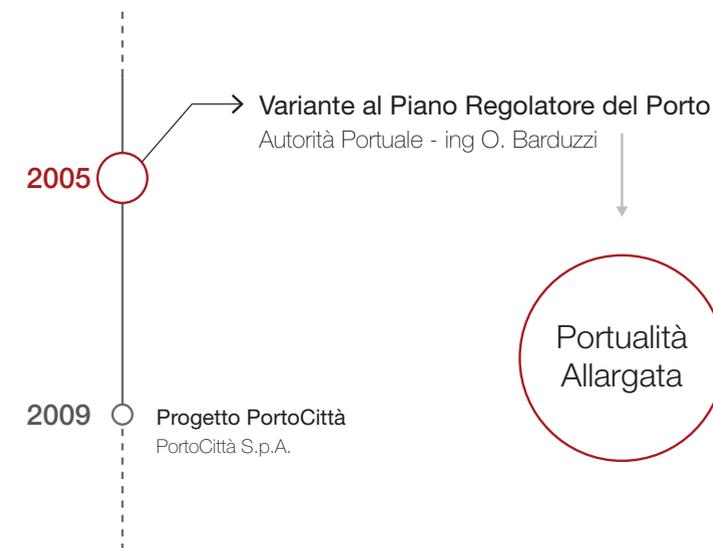
<sup>9</sup> Gortan M., 1886 Trieste Porto Nuovo, Studio LT2, Venezia, 2008

<sup>10</sup> Caroli, A. (1996). Punto Franco Vecchio. Tecnologie, sistemi costruttivi, opere professionali e normativa nel porto di Trieste, La Mongolfiera Libri.

## La variante al Piano Regolatore Portuale Barduzzi

Nel 2005, su incarico dell'Autorità Portuale, l'ing Ondina Barduzzi redige la Variante al Piano Regolatore del Porto Vecchio, parte integrante del Piano Regolatore Generale Comunale e del Piano Regolatore del Porto.

Nella relazione è contenuta un'accurata analisi sulla compatibilità tra le nuove funzioni di *portualità allargata* e i regimi insistenti sull'area: quello demaniale e quello di zona franca.



**Figura 34** - Dalla Variante al Piano Regolatore del Porto dell'ing. Barduzzi all'iniziativa Portocittà

Nell'analisi, si evidenzia come il "Punto Franco Vecchio" presenti una scarsa potenzialità produttiva in termini di portualità commerciale:

- il bacino non risulta adatto al traffico delle odierne navi da carico di grande tonnellaggio a causa dei bassi fondali e della presenza della diga di difesa in prossimità dei moli;
- gli edifici risultano obsoleti, in particolare in termini di compatibilità funzionale con i traffici commerciali odierni;
- la gran parte degli edifici risulta sottoposta a vincoli architettonici;
- l'area risulta isolata rispetto agli altri settori portuali, con evidenti problemi di viabilità e collegamento.

Nella relazione si sottolinea come la riqualificazione del Porto Vecchio risulti essenziale per il funzionamento ed il potenziamento dell'intero sistema portuale triestino, incentrato sullo spostamento verso Sud-Est delle attività portuali di tipo commerciale e industriale. La Variante configura nell'area di Porto Vecchio l'esplicitarsi di attività tipiche della *portualità allargata*. Queste attività comprendono, oltre alle funzioni strettamente portuali, anche attività economiche, direzionali, logistiche, di comunicazione, di formazione e ricerca, ricettive, ricreative, commerciali e di ristorazione, oltre ad attività di diporto, anche a carattere sportivo, e terminal traghetti.<sup>11</sup>

<sup>11</sup> Barduzzi O., Variante del Piano Regolatore Portuale per l'ambito del Porto Vecchio di Trieste, Autorità Portuale, 2006

## Il progetto Portocittà

Nel 2009 viene avviata l'ultima iniziativa, in ordine cronologico, atta alla riqualificazione del Porto Vecchio. L'iniziativa è promossa da una cordata formata da imprese di costruzione e di società finanziarie, riunite sotto la compagine sociale denominata Portocittà Spa. La proposta è naufragata nel 2013, a causa di incomprensioni correlate alle concessioni sulle aree.



Una serie di azioni rivolte all'ammmodernamento e potenziamento delle infrastrutture portuali risultano comunque già avviati e portati a termine dall'Autorità Portuale di Trieste. Tra i principali interventi completati, o in corso di completamento, vi sono i seguenti:

- restauro del Magazzino 26
- restauro della Centrale Idrodinamica
- restauro della Sottostazione elettrica
- restauro del Magazzino 1 e potenziamento del Molo VI

**Figura 35** - Vista lato monte del Magazzino 26 a seguito del restauro  
[portovecchio.comune.ts.it](http://portovecchio.comune.ts.it)

**Figura 36** - Vista lato mare del Magazzino 26 a seguito del restauro  
[portovecchio.comune.ts.it](http://portovecchio.comune.ts.it)



**Figura 37** - Centrale Idrodinamica restaurata  
[www.triestecultura.it](http://www.triestecultura.it)

**Figura 38** - Sottostazione di trasformazione elettrica restaurata  
[www.konradnews.org](http://www.konradnews.org)



## Sdemanializzazione e spostamento del Punto Franco

Uno dei motivi principali per cui gran parte delle progettualità precedenti, non ultima PortoCittà, sono naufragate è il fatto che tutta l'area del Porto Vecchio rientrava all'interno del regime di Punto Franco, risultando quindi gestita direttamente dal demanio marittimo, e impedendo l'alienazione dei beni in essa contenuti. Questo regime di utilizzo ha rappresentato un enorme scoglio per gli investitori, in quanto si trovarono ad impegnare risorse economiche in beni già complessi di per sé, che tra l'altro non sarebbero mai stati di loro diretta proprietà, anzi dovevano venir restituiti al termine della durata della concessione in oggetto.

Il superamento di questo limite è stato avviato grazie ad un emendamento alla legge di stabilità italiana del 2015, che prevedeva la possibilità di spostare il regime di Punto Franco in altre aree della città, e quindi di restituire formalmente l'area del Porto Vecchio alla città di Trieste. A seguito di questo emendamento, negli ultimi due anni si è riscontrata la volontà da parte dell'Amministrazione Comunale di sviluppare un piano di recupero e rifunzionalizzazione del patrimonio edilizio dell'area, che consideri anche l'implementazione di sistemi energetici ibridi alimentati da fonti energetiche rinnovabili, in accordo con i contenuti della proposta del Piano Energetico Regionale.

Per avviare questa nuova fase storica per il Porto Vecchio di Trieste, l'amministrazione comunale ha nominato un advisor che ha l'obiettivo di delineare delle linee guida strategiche per il recupero dell'area e identificare investitori, anche internazionali, interessati alla riqualificazione della stessa. L'obiettivo è quello di trasformare un'area industriale dismessa in uno dei waterfront più interessanti d'Europa, con un'operazione simile a quanto già fatto nelle aree portuali dismesse di Marsiglia, Valencia e Amburgo.



**Figura 39** - Fotografia che riprende il Porto Vecchio dal colle di Scorcola di Trieste  
Paolo Carbonaio, 2012

## Linee Guida Strategiche Ernest&Young

Ernst & Young è un network mondiale di servizi professionali di revisione e organizzazione contabile, fiscalità, *transaction* e *advisory*. L'azienda conta circa 210.000 dipendenti in tutto il mondo. Il network è presente con più di 700 uffici in 150 Paesi<sup>12</sup>.

Tramite la sede di Milano (Ernst & Young financial business) l'advisor si è aggiudicata, in data 25 gennaio 2016, la gara per la selezione dell'advisor che avrebbe dovuto occuparsi di realizzare il piano strategico per la valorizzazione del Porto Vecchio di Trieste<sup>13</sup>.

Il 26 maggio 2016 vengono presentati i primi risultati del lavoro dell'advisor, tramite il documento destinato alla consultazione pubblica "Linee guida strategiche. Valorizzazione del Porto Vecchio di Trieste. Executive Summary".



**Figura 40** - Copertina del report preliminare presentato da Ernst&Young  
Valorizzazione del Porto Vecchio di Trieste  
Executive Summary, Ernst&Young, Maggio 2016

<sup>12</sup> Dati estratti dal sito web di [www.ey.com](http://www.ey.com)

<sup>13</sup> Trieste, scelto l'advisor di Porto vecchio: è Ernst&Young, articolo su Il Piccolo, edizione online, 25 gennaio 2016

Il lavoro svolto finora dall'advisor si può riassumere nelle seguenti attività principali:

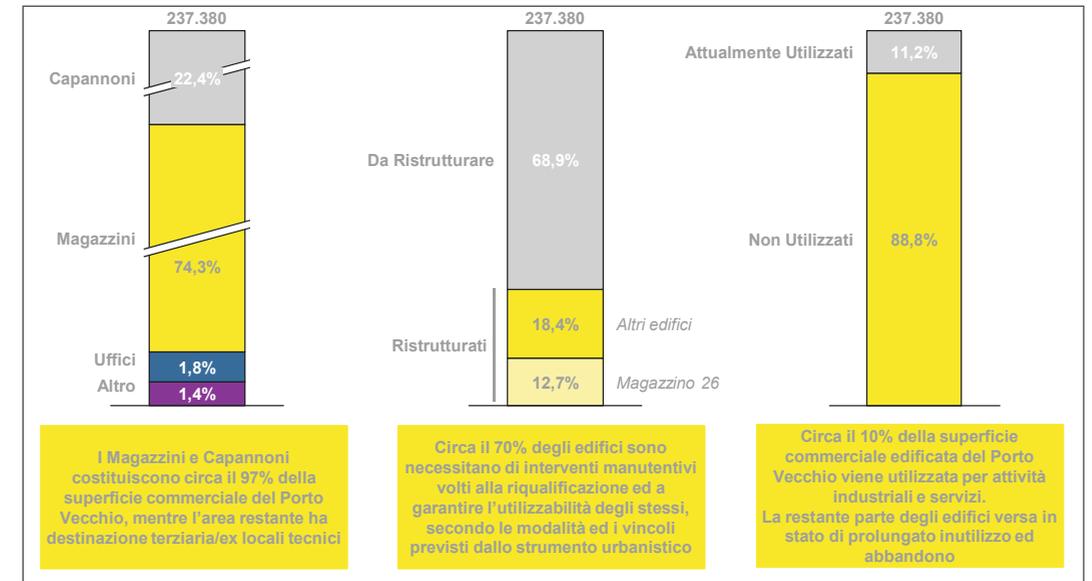
- interviste a più di 100 *stackholder*;
- valorizzazione principali idee progettuali precedenti;
- intervista a *key expert* su progetti di riqualificazione urbana;
- più di 10 workshop che hanno visto coinvolte le principali aziende nazionali e locali;
- benchmark su alcuni progetti internazionali simili;
- analisi di dettaglio sul contesto e settori target potenziali;
- attivazione *EY Competence Centre* in ambito sviluppo del territorio, strategia e real estate;
- valutazione primi *economics* dell'iniziativa;
- ricognizione contesto geografico limitrofo.

In particolare, dallo studio, emerge come la valorizzazione dell'area di porto vecchio sia il progetto più importante per il rilancio della città di Trieste.



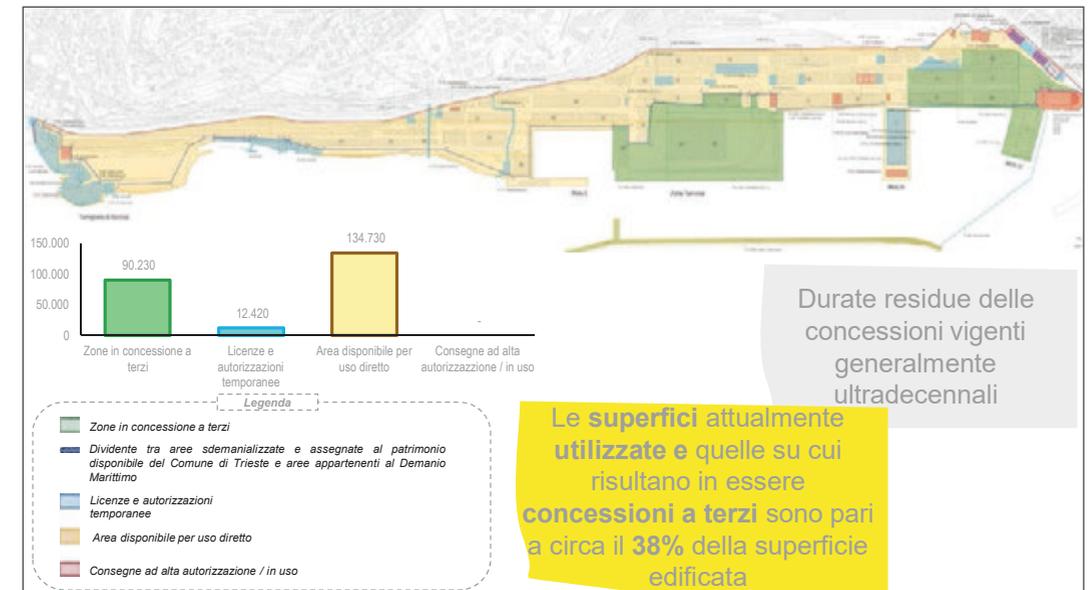
Il lavoro dell'advisor si concentra anche sull'identificazione della superficie edificata e sulle necessità di quest'ultima, differenziando, come fatto anche nel progetto di ricerca, la differenziazione tra le tipologie di edifici e gli interventi necessari alla loro valorizzazione e riutilizzo.

**Figura 41** - Slide introduttiva Executive Summary Valorizzazione del Porto Vecchio di Trieste Executive Summary, Ernst&Young, Maggio 2016



**Figura 42** - Analisi delle superfici edificate Valorizzazione del Porto Vecchio di Trieste Executive Summary, Ernst&Young, Maggio 2016

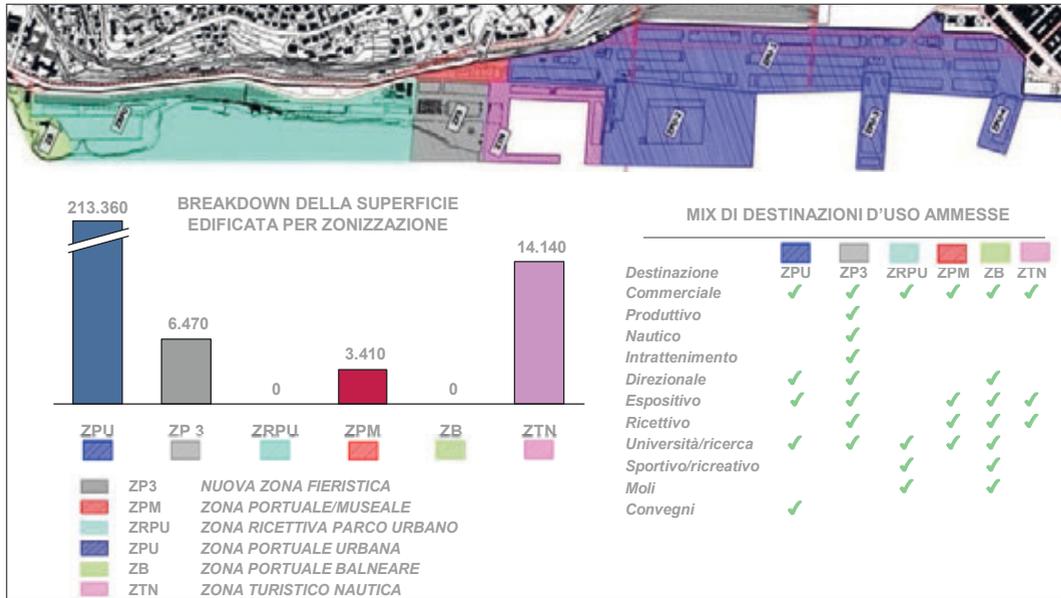
L'analisi si concentra, quindi, sulla delineazione delle modalità di accesso amministrative a ciascuna area ed edificio del Porto Vecchio, differenziando tra le zone in concessione a terzi, quelle soggette a licenze ed autorizzazioni temporanee, per arrivare, quindi, ai comparti disponibili per uso diretto, a seguito dell'operazione di sdemanializzazione dell'area.



**Figura 43** - Utilizzo attuale delle aree edificate Valorizzazione del Porto Vecchio di Trieste Executive Summary, Ernst&Young, Maggio 2016

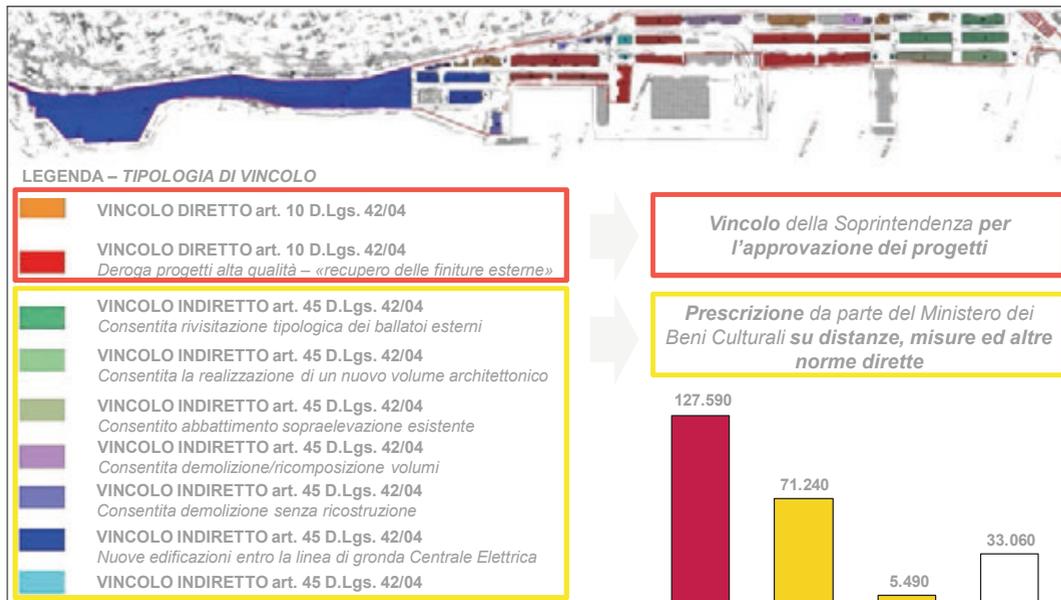
Si riprendono, quindi, le prescrizioni contenute nel nuovo PRG della Città di Trieste<sup>14</sup>, evidenziando in particolare la zonizzazione e le destinazioni d'uso previste.

<sup>14</sup> Nuovo Piano Regolatore Generale del Comune di Trieste, approvato con D.C. n. 48 dd.21.12.2015, sul BUR n. 18 del 04 maggio 2016

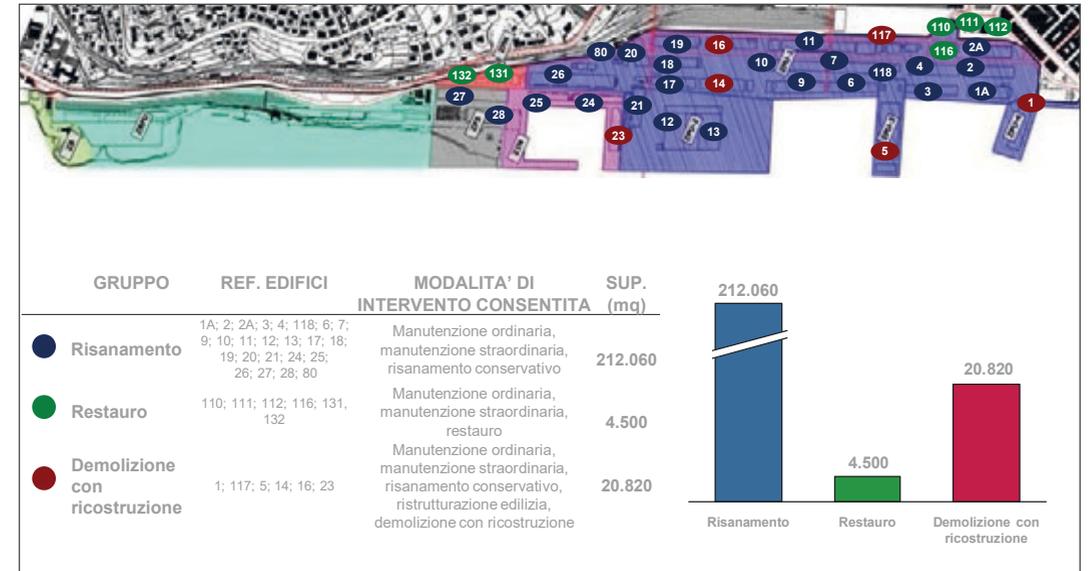


Lo studio prende anche in considerazione il regime vincolistico esistente, differenziando tra vincoli diretti, vincoli indiretti ed eventuali deroghe presenti, oltre che le modalità di intervento previste, raggruppando tra risanamento conservativo, restauro e demolizione con ricostruzione.

**Figura 44** - Zonizzazione prevista dal Nuovo PRG Valorizzazione del Porto Vecchio di Trieste Executive Summary, Ernst&Young, Maggio 2016



**Figura 45** - Analisi del sistema di Vincoli attualmente presente Valorizzazione del Porto Vecchio di Trieste Executive Summary, Ernst&Young, Maggio 2016



**Figura 46** - Analisi delle modalità di intervento consentite dagli strumenti vigenti Valorizzazione del Porto Vecchio di Trieste Executive Summary, Ernst&Young, Maggio 2016

Il documento di Ernst & Young, terminata questa fase di analisi, presenta i risultati dello studio relativo al potenziale di sviluppo in relazione al target specifico. Ne risultano i seguenti ambiti principali:

- Settore croceristico
- Mega Yacht
- Parchi divertimento (parco del mare)
- Retail / centri commerciali
- Università e Ricerca
- Imprenditorialità e innovazione
- Ospedaliero
- Musei ed esposizioni
- Teatri e sale spettacolo
- Centri congressi e spazi per eventi
- Ospitalità

Per ciascun ambito target di riferimento, nel documento di lavoro è riportata una scheda che ne riassume l'attenta analisi sull'ambito stesso calato sull'area del Porto Vecchio, identifica domanda e concorrenza limitrofa, riepiloga pro e contro.

Sintesi settore target e pro/ contro per lo sviluppo nell'area del Porto Vecchio

Offerta		Domanda		
<b>Map/pittura</b> 	<b>Venezia</b> <b>Trieste (Yacht Berths)</b> ▶ Marina di San Giusto ▶ Porto San Rocco ▶ Terminal Passeggeri  <b>Portorož</b>  <b>Novigrad, Abbazia, Rovigno, Zara</b>	<b>Driver di settore</b> La domanda di costruzione/ servizi per mega yacht è influenzata soprattutto da: ▶ Qualità e reputazione dei <b>cantieri costruttivi</b> e <b>ampiezza dei servizi complementari</b> per il diporto di lusso ▶ <b>Attrattiva turistica e commerciale</b> della città e del territorio limitrofo, soprattutto per <b>individui alto-spendenti</b> ▶ <b>Agevolazioni fiscali</b> competitive rispetto ad altri porti	<b>Key data</b> ▶ L'Italia detiene il <b>38% degli ordini mondiali di mega yacht</b> (2014) ▶ <b>25% charter nel Mediterraneo</b> toccano coste italiane ▶ L'obiettivo del <b>network Trieste Yacht Berths</b> è <b>aumentare il traffico di mega-yacht</b> nel Golfo di Trieste ▶ <b>Settore supportato dalle autorità regionali e comunali</b> per lo sviluppo economico dell'area triestina	
	<b>Key data</b> ▶ <b>3.400 posti barca</b> sopra i 24 m in Italia ▶ Nel Porto di Trieste sono presenti <b>spazi, professionalità e imprese d'eccellenza</b> che offrono <b>numerosi servizi</b> • Ricovero invernale, riparazioni e refitting delle imbarcazioni, approvvigionamento, bunkeraggio			<b>Pro / contro</b> ▶ <b>Produzione mondiale</b> di mega yacht in crescita con impatti positivi in termini di <b>traffico e rimessaggio</b> nei porti del Mediterraneo e Adriatico ▶ Evoluzione del contesto normativo italiano presenta potenziali <b>rischi di tassazione meno vantaggiosa per stazionamento in porti</b>
	<b>Pro / contro</b> ▶ Presenza di <b>aziende specializzate</b> a Trieste ▶ <b>Posizione strategica</b> del Porto Vecchio nel <b>Mar Adriatico e centrale in Europa</b> ▶ <b>Competizione</b> in termini di porti attrezzati legata a <b>Venezia, Ravenna</b> e ai vicini <b>porti sloveni e croati</b> (Portorož, Novigrad, Zara)			

**Il diporto di lusso mostra domanda in crescita e l'Italia è leader nella costruzione; Trieste può contare su condizioni favorevoli ma deve gestire anche competizione da porti vicini**

Come risultato della disamina di ciascun potenziale ambito target, il documento riporta una scheda contenente degli obiettivi strategici generali per il Porto Vecchio di Trieste, per poi proporre 10 idee progettuali specifiche.

Figura 47 - Scheda di ambito specifico  
 Valorizzazione del Porto Vecchio di Trieste  
 Executive Summary, Ernst&Young, Maggio 2016

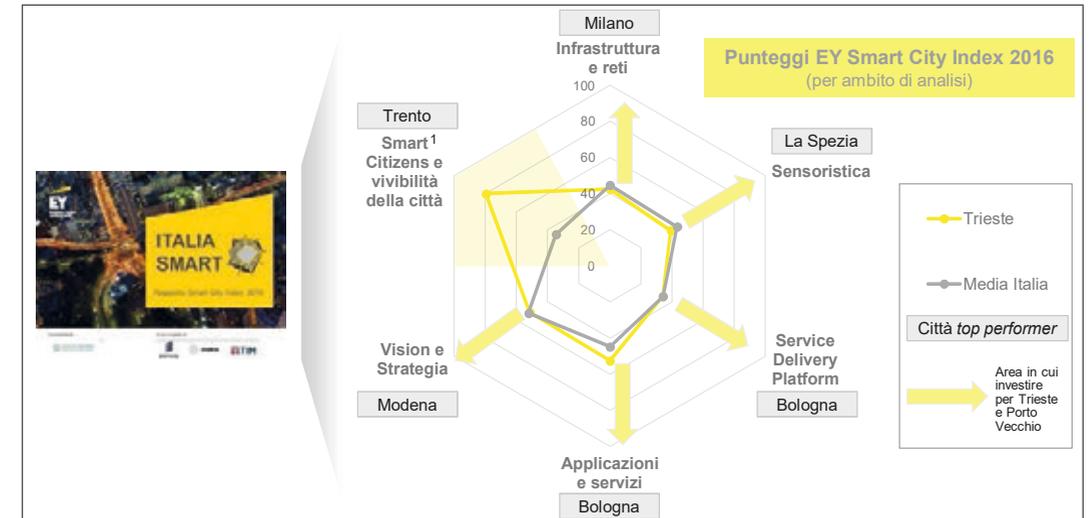
Figura 48 - Obiettivi strategici generali  
 Valorizzazione del Porto Vecchio di Trieste  
 Executive Summary, Ernst&Young, Maggio 2016

1   Al <b>centro</b> della <b>nuova Europa</b>	6   <b>Destinazioni d'uso miste</b> e valorizzazione <b>heritage</b>
2   <b>Visibilità sulla mappa</b> del Mediterraneo	7   Interventi di <b>estensione dell'area</b> nel lungo termine
3   Città della <b>Scienza</b> e della <b>Ricerca</b>	8   <b>Estendere il centro città</b>
4   <b>Smart Porto Vecchio</b> (smart cities)	9   Restituire il <b>fronte mare</b> ai cittadini
5   <b>Mobilità dolce e sostenibile</b>	10   <b>Eventi tutto l'anno</b> (Barcolana, Month of Europe, Month of Science, sport...)

Figura 49 - Analisi sulle potenzialità per Porto Vecchio di implementare soluzioni di Smart City  
 Valorizzazione del Porto Vecchio di Trieste  
 Executive Summary, Ernst&Young, Maggio 2016

Di interesse per il presente lavoro di ricerca sono il punto 4 e il punto 6, dove si fa leva sulle potenzialità di implementazione delle dinamiche tipiche delle Smart Cities nell'area de Porto Vecchio e sulla valorizzazione del patrimonio costruito.

Dall'analisi Ernst&Young risulta che la città di Trieste sia già ben posizionata sul panorama Smart City nazionale, e evidenzia quali sono i settori in cui maggiormente investire.



PERCHÉ?	Porto Vecchio come <b>embrione di smartizzazione della città</b>	QUALI SPAZI?	<b>Intera area del Porto Vecchio</b> , con caratteristiche declinate sulle specifiche applicazioni
<b>COME?</b>	<b>INFRASTRUTTURA E RETI</b> <b>Telecomunicazioni</b> ▶ Banda larga/ ultralarga fissa e mobile ▶ Wi-fi urbano (hot spot pubblici e privati) <b>Trasporto</b> ▶ Mobilità pubblica, condivisa, elettrica e ciclabile  <b>Energia</b> ▶ Teleriscaldamento ▶ Rinnovabili ▶ Illuminazione pubblica ▶ Smart grid <b>Ambiente</b> ▶ Reti idriche, fognarie, rifiuti	<b>SENSORISTICA</b> ▶ Rete stradale (semafori, parcheggi) ▶ Mezzi pubblici (sensori su autobus e taxi) ▶ Illuminazione pubblica (lampioni intelligenti)  ▶ Qualità dell'aria ▶ Sicurezza degli edifici ▶ Videosorveglianza di aree pubbliche	
	<b>SERVICE DELIVERY PLATFORM</b> <b>Readiness</b> ▶ App store cittadini ▶ Centrali di controllo ▶ Pagamenti ▶ Sistemi di identificazione ▶ Open Data  <b>Dematerializzazione, integrazione e interoperabilità</b> che coinvolge: ▶ Processi e documenti ▶ Servizi	<b>APPLICAZIONI E SERVIZI</b> <b>Amministrazione</b> ▶ Servizi per scuole, università e centri di ricerca <b>Mobilità</b> ▶ Pianificazione multimodale ▶ Pagamenti elettronici ▶ Bike/ car sharing ▶ App, pannelli informativi  <b>Turismo e cultura</b> ▶ Strumenti innovativi (big data, card città) per il rafforzamento dell'offerta turistica <b>Università e ricerca</b> ▶ Ambienti di docenza innovativi ▶ Servizi digitali	

Fonti: Competence Centre EY; analisi EY

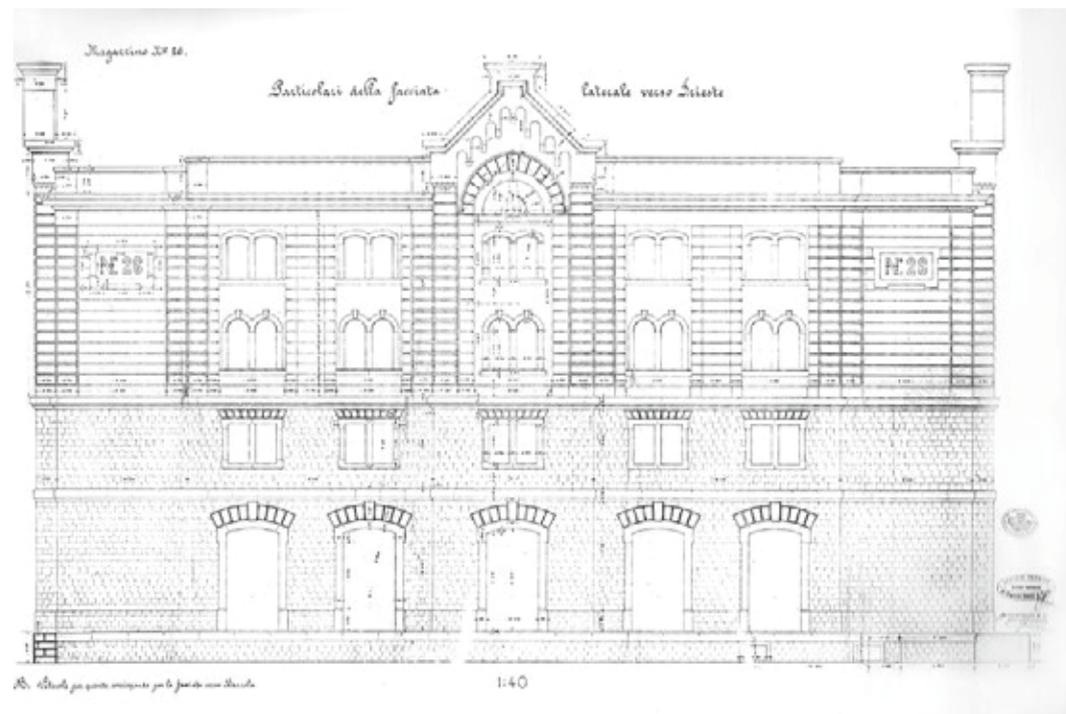
Page 39  
DRAFT

Legenda: Prioritario per Porto Vecchio Fattibilità per Porto Vecchio Alta Bassa

Il documento si conclude con l'analisi preliminare di tipologie di attività ed eventi attrattivi e potenzialmente trainanti per lo sviluppo dell'area e, infine, rimarcando la necessità di valorizzare anche elementi ed idee emerse in progettualità passate all'interno di un piano strategico condiviso.

## Architettura

L'architettura dei fabbricati del Porto Vecchio di Trieste, nelle sue forme semplici ed austere, era funzionale al tipo di attività portuale della seconda metà del XIX Secolo. I corpi di fabbrica risultano rigorosi, rispettando l'ambiente circostante ed il linguaggio ritmico della distribuzione geometrica degli spazi, presentando elementi stilistici derivanti dal neogotico e neo-romanico, molto diffusi in altre opere pubbliche dell'epoca nei paesi nordici: Inghilterra, Germania ma anche nel resto dell'impero austro-ungarico.



I caratteri che definiscono i fabbricati sono costituiti dalle linee verticali ed orizzontali delle facciate, dalla disposizione geometrica dei basamenti e delle aperture. Le linee orizzontali, poste in corrispondenza del basamento e dei diversi piani, garantiscono un aspetto più longilineo, mentre i tratti verticali donano slancio in elevazione all'edificio.

In tutta l'area del Porto Vecchio la sede stradale, i moli e i piani terra degli edifici erano pavimentati con lastre di arenaria, lavorate allo stesso modo di quelle per le strade cittadine, così da conferire al porto stesso continuità con il Borgo Teresiano e le Rive.

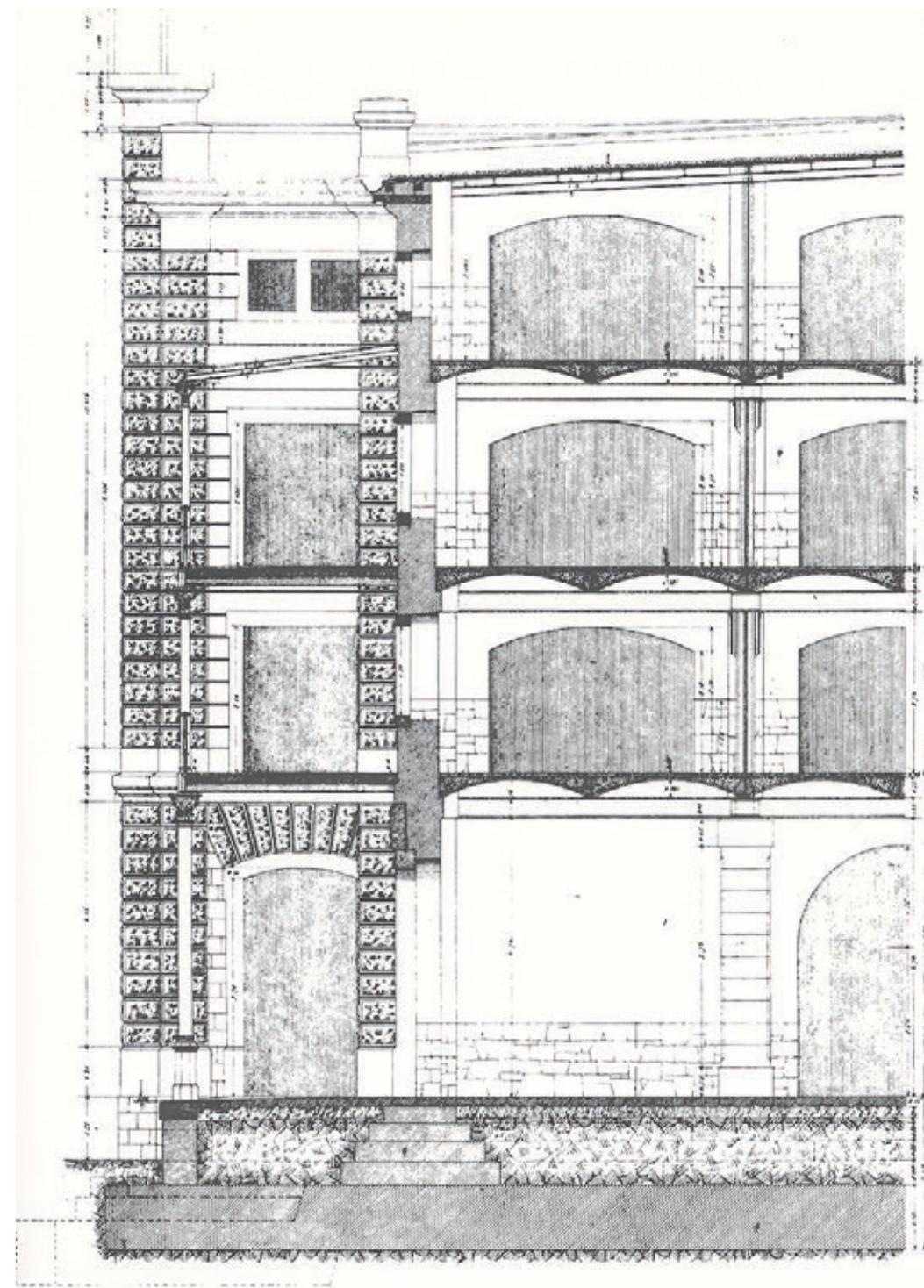
### Ballatoi

Magazzini e Capannoni presentano dei ballatoi esterni sui lati maggiori di gran parte, a partire dal primo piano fuori terra per arrivare spesso anche all'ultimo piano, ad esclusione dei fabbricati dove è prevista una soffitta, ovvero un ultimo piano di altezza inferiore.

Questi ballatoi avevano la funzione di facilitare la movimentazione delle merci. All'epoca della realizzazione del Porto Vecchio le merci, infatti,

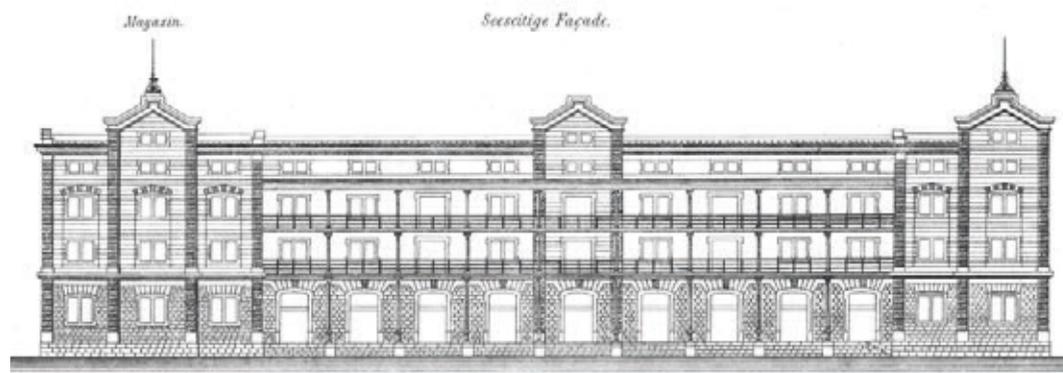
**Figura 50** - Prospetto del progetto del Magazzino 26  
*Il Magazzino 26. Documenti di un Restauro, Edizioni Lint, Trieste, 2012*

venivano movimentate in sacchi o comunque colli di piccole-medie dimensioni; i singoli colli venivano sollevati dai vagoni ferroviari, piuttosto che scaricati sui perron, tramite gru idrauliche, per poi essere depositati sui ballatoi al piano. Successivamente venivano spostate all'interno degli edifici per poter così essere stoccate.



**Figura 51** - Sezione verticale del Magazzino 21  
*History of free trading and shipping*

I ballatoi risultano essere anche un elemento di forte caratterizzazione formale di Magazzini e Capannoni, conferendo uno dei tratti più distintivi dell'architettura del Porto stesso.



Questi sono infatti realizzati tramite un solaio a voltine Monier, sostenuto da un sistema di travi a doppia T in ghisa, a sua volta portato da colonnine in ghisa. L'attenzione va posta, in particolare, sulle colonnine in ghisa: sempre per rimarcare la caratteristica urbana dell'intervento, e quindi l'attenzione agli aspetti formali, queste sono state decorate secondo il dogma corinzio.

I ballatoi, assieme alle cornici degli infissi, al finto bugnato ed alle decorazioni del coronamento della copertura, conferiscono quel carattere architettonico che avvicina questi edifici di connotazione industriale agli edifici di un centro cittadino.

### “Perron”

La gran parte dei Magazzini presenta il cosiddetto *perron*, ovvero un piano esterno sopraelevato rispetto al piano stradale della larghezza di circa un metro con due rampe inclinate alle estremità, concepito per facilitare le operazioni di carico scarico, inizialmente dai carri ferroviari e successivamente anche dagli autocarri.

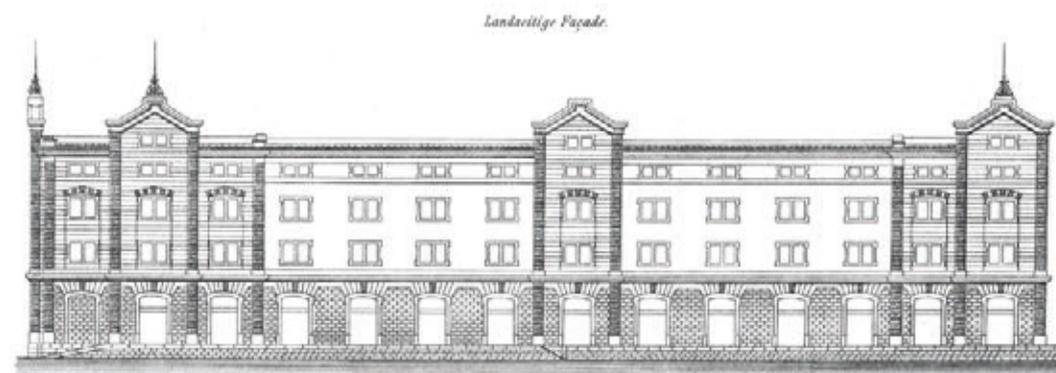
I perron dei magazzini che si affacciano sui bacini venivano utilizzati anche come sede dei binari delle gru idrauliche, dette a carpa zoppa (come l'esemplare sulla banchina del Magazzino 6) in conseguenza della loro struttura asimmetrica, con l'appoggio più alto sul bordo del perron e l'altro appoggio a filo della banchina.

Negli edifici fronte mare, i perron fungevano anche come sede dei binari delle gru idrauliche dette a carpa zoppa (di cui sono ancora presenti due esemplari nella banchina del Magazzino 6) in conseguenza alla loro struttura asimmetrica. Queste gru presentavano l'appoggio più alto sul bordo del perron e l'altro appoggio a filo della banchina.

Il progetto iniziale non prevedeva la presenza della rotaia delle gru a carpa zoppa sul perron degli edifici, l'aggiunta di tale elemento rese necessari perron di dimensioni maggiori così da poter fissare le guide del binari, questo comportò anche un aumento dello spessore del muro che reggeva quella banchina.

**Figura 52** - Prospetto lato monte di progetto di un Magazzino tipo  
*Allgemeine Bauzeitung*,  
Vienna 1981

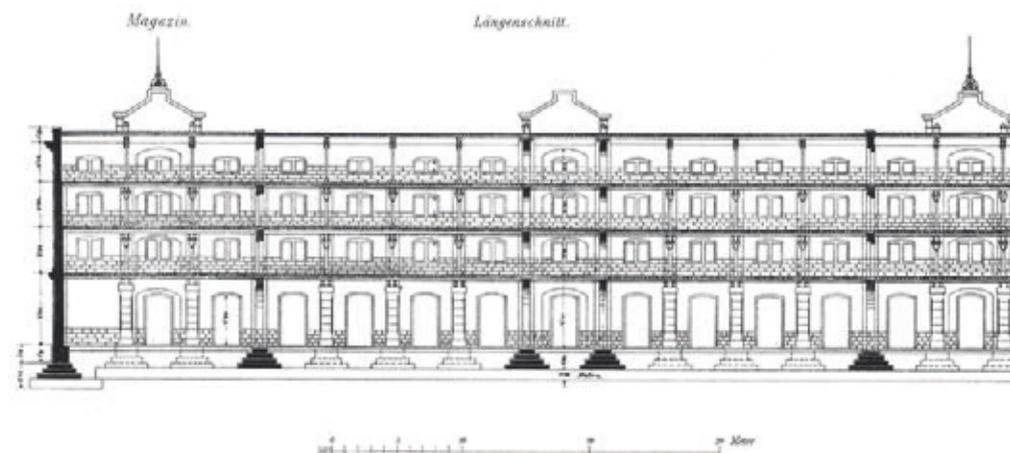
Il progetto del perron verso terra, inizialmente che prevedeva delle interruzioni in corrispondenza degli avancorpi, fu modificato e fu continuato lungo tutto l'edificio.



**Figura 53** - Prospetto lato mare di progetto di un Magazzino tipo  
*Allgemeine Bauzeitung*,  
Vienna 1981

A protezione delle operazioni di carico e scarico sul perron, i magazzini erano dotati di pensiline costituite da lamiere zincate ondulate prodotte nella fabbrica di Teschen, proprietà dell'arciduca Alberto Federico Rodolfo d'Asburgo.

Lungo le rampe dei perron sono stati disposti corrimani, realizzati con un profilo tubolare di ferro dolce, dalle estremità otturate a sfera e ripiegate, saldati alle pareti tramite bracciali piombati. Per evitare scivolamenti, le superfici delle rampe realizzate in calcestruzzo presentano una rigatura a dente di sega. Al fine di facilitare l'accesso ai magazzini, in alcuni tratti i perron presentano gradini.



**Figura 54** - Sezione longitudinale di progetto di un Magazzino tipo  
*Allgemeine Bauzeitung*,  
Vienna 1981

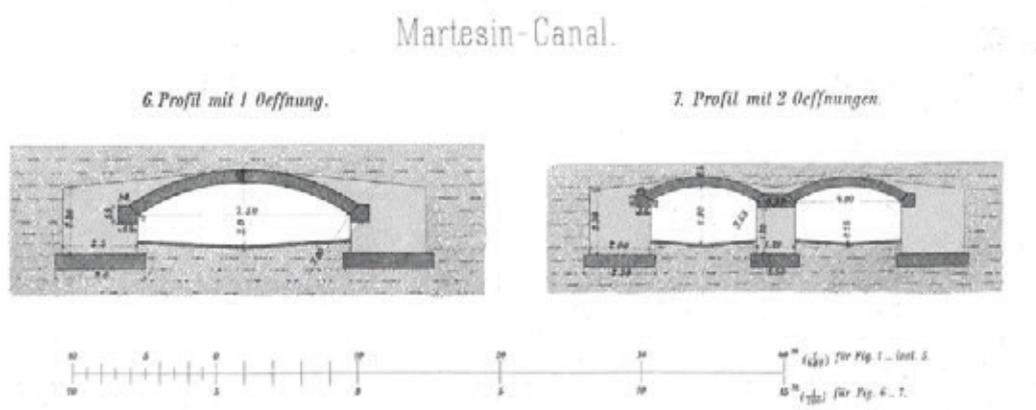
### Facciata: avancorpi e aperture

Gli avancorpi presenti su gran parte degli edifici, raccordati da ballatoi con colonnine in ghisa, interrompono il ritmo orizzontale delle facciate. Le facciate stesse risultano apparentemente spoglie ed essenziali, l'aspetto decorativo è affidato a pochi elementi e, soprattutto, ai materiali da costruzione (blocchi di pietra arenaria squadrati, mattoni pieni, legno, ferro e ghisa) oltre alle decorazioni realizzate mediante l'intonacatura delle facciate.

Le tipologie di aperture e infissi legate alla caratterizzazione architettonica della facciata: gli avancorpi sono caratterizzati da aperture con profilo superiore ad arco, mentre invece il resto dell'edificio presenta aperture rettangolari, ad eccezione del pian terreno dove sono presenti portoni anch'essi con profilo superiore ad arco. Le aperture a doppia vetrata constano di doppio serramento: uno esterno ed uno interno. I battenti esterni presentano un parapigioggia in ferro zincato. I portoni invece sono provvisti di serramenti molto robusti dotati di catenacci verticali, serratura a doppio giro, copri toppa, maniglie di ferro battuto e due ganci con occhiello impiombati.

## Tecnologia

Durante le fasi di costruzione del Porto Vecchio di Trieste, i costruttori dell'epoca incontrarono diverse difficoltà, a partire dalle problematiche legate alla scarsa consistenza del suolo, costituito principalmente da materiale di riporto e attraversato da due corsi d'acqua, i torrenti Martesin e Klutch.



Per sopperire alla scarsa resistenza meccanica del terreno furono utilizzate varie tecniche per il consolidamento dello stesso, dai pali di fondazione utilizzati nel Magazzino 26 fino all'utilizzo della cosiddetta Terra di Santorini.<sup>15</sup>

Inoltre la realizzazione di Magazzini e Capannoni divenne terreno di sperimentazione per soluzioni tecniche all'avanguardia per l'epoca, che prevedevano l'uso di materiali quali il calcestruzzo armato e della ghisa.

## Utilizzo della Terra di Santorini

I primi problemi si presentarono a seguito della realizzazione del terrapieno, che vide la necessità di specifiche opere idrauliche per la canalizzazione e parziale tombamento dei torrenti Martesin e Klutsch.<sup>16</sup>

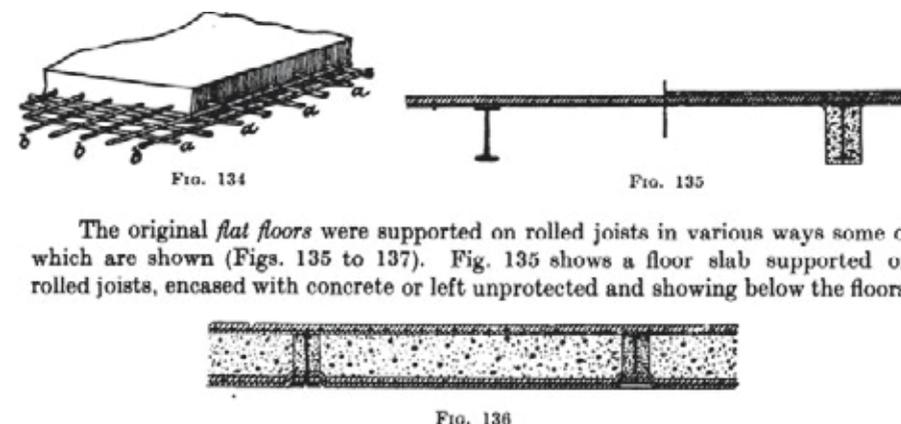
Realizzato il terrapieno, costituito principalmente da materiale lapideo estratto dal vicino Colle di Scorcola e dalle cave della Baia di Sistiana, i

<sup>15</sup> Allgemeine Bauzeitung, Vienna, 1876

<sup>16</sup> Much K., Über den bau der Neuenn lagherhauser in Triest, in Allgemeine Bauzeitung, Vienna, 1861

**Figura 55** - Sezioni del canale sotterraneo di interramento previsto per il Torrente Martesin  
*Allgemeine Bauzeitung, Vienna, 1876*

**Figura 56** - Prime sperimentazioni di realizzazione di solette portante in Calcestruzzo Armato tramite la tecnica sviluppata da Joseph Monier.  
*Charles Marsh, Reinforced concrete, Van Nostrand Company, New York, 1904*



The original flat floors were supported on rolled joists in various ways some of which are shown (Figs. 135 to 137). Fig. 135 shows a floor slab supported on rolled joists, encased with concrete or left unprotected and showing below the floors.

tecnici si resero presto conto della scarsa consistenza del terreno. L'area del Porto divenne campo di prova per nuove tecniche sperimentali, come l'uso della Terra di Santorini, una terra naturale di origine vulcanica che permise il confezionamento di un cemento idraulico, ideale per essere impiegato nelle fondazioni soprattutto in presenza di terreni con acqua di falda. Negli anni successivi questa particolare tecnica riscosse un notevole successo, tanto da restare in uso fino agli anni Venti del XX Secolo.

Le fondamenta dei primi Magazzini, in particolare nella zona del bacino dell'ex Lazzaretto, vengono realizzate mediante l'uso di questa tecnica, formando una platea di fondazione dello spessore di circa un metro.<sup>17</sup>

## Sperimentazione della tecnica del calcestruzzo armato

Di assoluto interesse risultano le soluzioni tecniche intraprese per la costruzione degli edifici, in particolare Magazzini e Capannoni. Al Porto Vecchio di Trieste spetta, infatti, il primato in Italia per la molteplicità di brevetti innovativi impiegati, concentrati in particolare sull'uso del calcestruzzo armato e della ghisa. Gran parte degli edifici furono realizzati tramite una particolare implementazione del Sistema Monier, allora ancora in fase sperimentale.<sup>18</sup>

L'impiego del calcestruzzo armato permetteva di realizzare solai in grado di sostenere i pesanti carichi derivanti dal deposito delle merci, nonché di coprire luci di notevole dimensione e di offrire, in caso di incendio, buone caratteristiche di resistenza al fuoco.

Le costruzioni metalliche che videro un'ampia diffusione durante il XIX secolo, richiedevano infatti ingenti opere di manutenzione nel tempo conseguente all'azione degli agenti atmosferici, e presentavano una scarsa resistenza al fuoco.

<sup>17</sup> Aulo Guagnini, Una nuova tecnica del costruire: il calcestruzzo armato, Il Contributo italiano alla storia del Pensiero - Tecnica, Treccani, 2013

<sup>18</sup> Marsh C.F., Reinforced concrete, D. Van Nostrand Company, New York, 1904

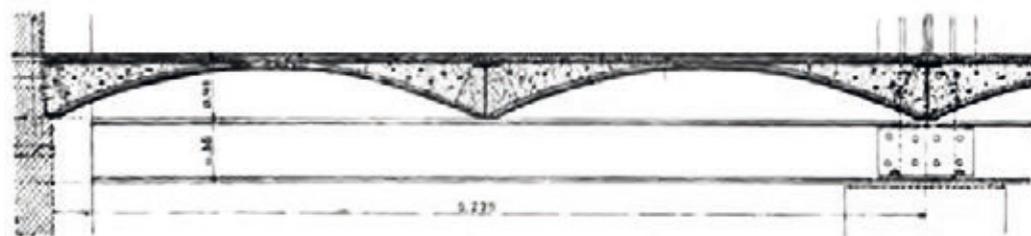
Il calcestruzzo armato, grazie alle proprietà peculiari del materiale composito, consentiva un incremento delle prestazioni rispetto alle costruzioni metalliche e una maggiore libertà negli aspetti formali e funzionali degli edifici rispetto ai materiali costruttivi tradizionali, quali il legno massiccio e i materiali lapidei.

Ben presto furono chiare le peculiarità del materiale innovativo per l'epoca: il ferro, annegato nel calcestruzzo, consentiva un incremento delle prestazioni statiche e risultava difeso dall'azione degli agenti atmosferici oltre a garantire un migliore comportamento in termini di resistenza al fuoco. Il calcestruzzo, ottenuto dalla miscela del cemento Portland con l'inerte, garantiva un'ottima resistenza a compressione rispetto alle ghise. Inoltre, grazie ai coefficienti di dilatazione termica analoghi tra i materiali, la solidità del materiale composito era garantita, assicurando un comportamento collaborativo tra i due materiali.

### Sistema Monier

Nel caso degli edifici del Porto Vecchio, il Sistema Monier si esprime nella realizzazione dei solai a voltine, che caratterizzano anche da un punto di vista formale la gran parte dei manufatti presenti.

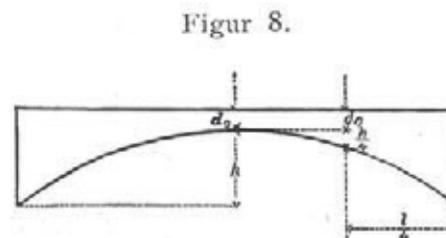
Le voltine Monier vengono realizzate annegando una maglia di barre in ferro all'interno di un getto di calcestruzzo, mentre agli estremi di ogni singolo arco sono presenti delle travi a doppia T in ghisa. Le voltine, a loro volta, poggiano su un sistema di travi a doppia T accoppiate, ciascuna delle quali grava su colonne squadrate in materiale lapideo al piano terra e circolari in ghisa ai piani superiori, così da formare una maglia strutturale primaria quadrata di lato compreso tra i 4 o 6 metri di luce, piuttosto che una maglia rettangolare con lati di 5x7,5 metri. La luce tra le travi a doppia T annegate all'interno di ciascuna voltina Monier, le quali vanno a formare la maglia strutturale secondaria, varia tra i 2 e 3 metri, pari alla metà della luce prevista per la maglia strutturale primaria.



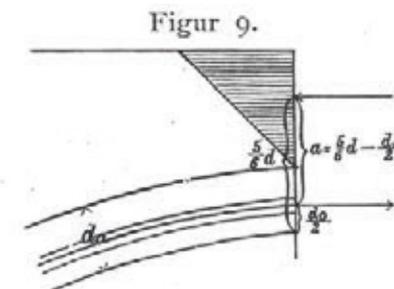
**Fig. 153. — Plancher des entrepôts de TRIESTE.**

Risulta interessante osservare come le volte così realizzate presentino uno spessore minimo vicino ai 4 cm il che, seppur da un punto di vista strutturale garantisce una buona portata, ha causato non pochi problemi di distacco del calcestruzzo nel tempo. Questo fenomeno è evidente soprattutto nei ballatoi esterni, dove non è raro osservare un distacco quasi totale del copriferro con conseguente esposizione delle barre in ferro.

**Figura 57** - Soletta Monier tipo del Porto Vecchio di Trieste in una tavola di progetto dell'epoca. Paul Christophe, *Le béton armé et ses applications*, Béranger, Paris, 1902



**Figura 59** - Schemadicalcolo della soletta Monier. *Allgemeine Bauzeitung*, Vienna, 1861



Il sistema, così configurato, riusciva a garantire una portata variabile in base alla destinazione d'uso prevista (stoccaggio o stazionamento temporaneo delle merci), ma comunque compresa tra i 600 e i 1.800 kg/mq, come riportato nella documentazione storica di progetto ed evidente nella segnaletica ancora presente all'interno dei Magazzini e dei Capannoni.

In Porto Vecchio vengono realizzati in totale 260.000 metri quadrati di solai adottando voltine Monier, il sistema viene applicato principalmente agli edifici realizzati prima del 1890.<sup>19</sup>



**Figura 60** - Una delle targhette presenti su ciascun solaio degli edifici del porto rappresentante la portata per metro quadrato.

### Sistema Melan

Gli edifici realizzati tra il 1890 e la fine del secolo, come il Capannone 9 (1890) ed i Magazzini 10 (1889-1892) e 20 (1894-97) adottarono un sistema messo a punto dal professor Joseph Melan del Politecnico di Praga, realizzato con un sistema di voltine in cemento incastrate nelle travi a doppia T in ghisa, a loro volta rivestite in calcestruzzo. L'applicazione di questo brevetto fu però caratterizzata dalle modifiche apportate dall'ingegner Eugenio Geiringer in fase di cantiere.<sup>20</sup>

### Sistema Fritz von Emperger

Gli edifici che portano data di costruzione più recente, come il Magazzino 4 (1908-1909), furono realizzati tramite una tecnica mista: strutture portanti in materiale lapideo, mentre le orizzontali utilizzano il brevetto ideato

<sup>19</sup> Paul Christophe, *Le béton armé et ses applications*, Béranger, Paris, 1902

<sup>20</sup> Aulo Guagnini, *Una nuova tecnica del costruire: il calcestruzzo armato*, Il Contributo italiano alla storia del Pensiero - Tecnica, Treccani, 2013

dal professor Fritz von Emperger del Politecnico di Vienna. Il sistema usato, che garantiva una portata dei solai di 1800 kg/m<sup>2</sup>, era composto da travi metalliche annegate in un getto di calcestruzzo.<sup>21</sup>

La sperimentazione continuò successivamente nel Porto Nuovo, dove si fece uso dei brevetti Wayss, Paul Cottancin, Hyatt (per il cemento Portland), Freytag & Meinong, Odorico & C., Hennebique.<sup>22</sup>

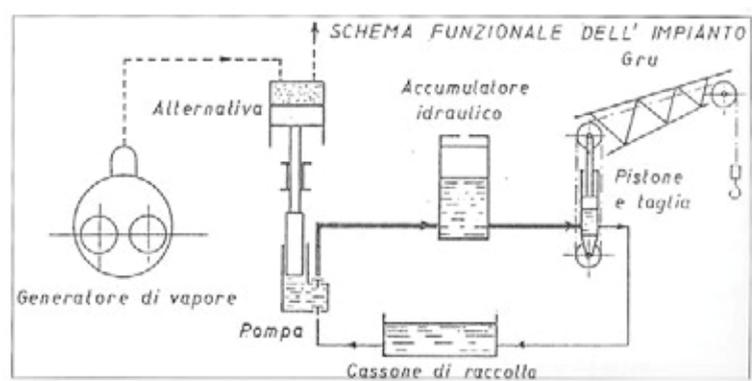
### Gru idrauliche e rete di distribuzione

La gran parte dei magazzini era provvista di gru idrauliche, elevatori, montacarichi e altri macchinari a supporto delle attività di carico e scarico delle merci. Sui lati di Magazzini e Capannoni trovavano posto i binari ferroviari, dove transitavano i treni necessari alla movimentazione delle merci all'interno del Porto. Inoltre le costruzioni erano dotate di deposito di pompe per il pronto intervento in caso di incendio.



**Figura 61** - Piano di disposizione delle condutture idrauliche di distribuzione  
E. Valcovich, *Due edifici industriali del Porto Vecchio di Trieste*, Lint, Trieste, 1992

L'epoca storica in cui si sviluppa il Porto Vecchio risulta a cavallo tra l'era delle macchine a vapore e quella dell'energia elettrica, quando anche il petrolio risultava un carburante ancor poco diffuso. Sia la tecnologia del vapore usato direttamente, sia quella dell'acqua in pressione si svilupparono inizialmente in Inghilterra, il che fece di questa nazione il cuore della rivoluzione industriale che traghettò l'Europa nell'era moderna.



La tecnologia dell'acqua in pressione si diffuse soprattutto nei paesi sotto l'influenza inglese. Centrali idrodinamiche furono costruite a Sydney, Melbourne ma anche ad Amburgo e a Genova.

21 Pozzetto M., Il Porto Vecchio di Trieste: alcune riflessioni nell'A.D. MMI, in "Archeografo Triestino", serie IV, volume LXI (CIX della raccolta), 2001.

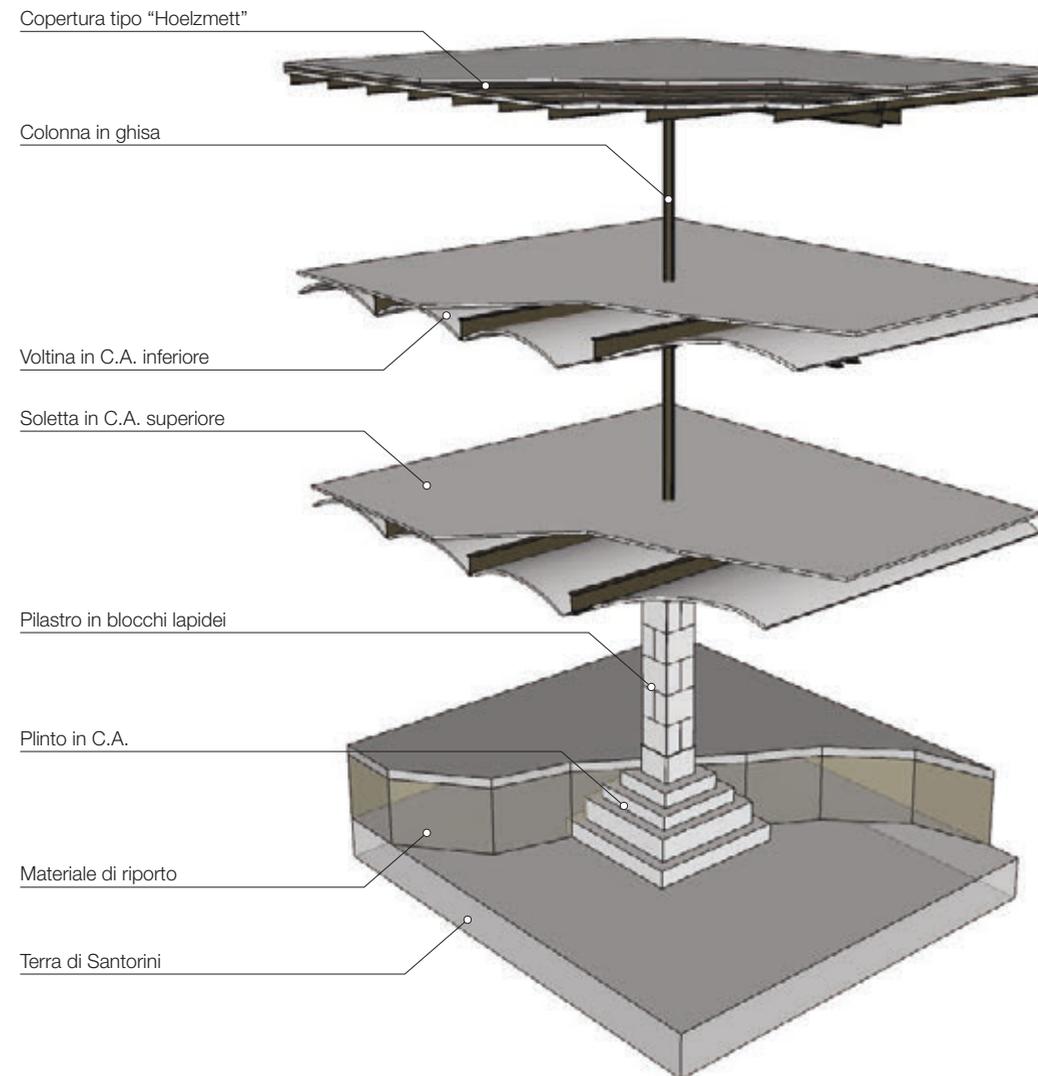
22 Valcovich E., Due edifici industriali del Porto Vecchio di Trieste: la Centrale Idrodinamica, la Stazione Elettrica di Trasformazione, Edizioni Lint, Trieste, 1992

Tutti i macchinari di sollevamento e movimentazione delle merci venivano movimentati da acqua in pressione, distribuita tramite una complessa rete di tubazioni, che ne garantiva la fornitura a tutti i fabbricati dell'area Portuale. Come in altri grandi porti realizzati in quell'epoca, l'acqua veniva messa in pressione da una centrale di produzione unica per tutta l'area portuale, la Centrale Idrodinamica appunto, dalla quale partivano le tubazioni di distribuzione.

## Sistema tecnologico

### Strutture portanti

Lo schema strutturale di gran parte degli edifici del Porto Vecchio, in particolare Magazzini e Capannoni, può essere considerato di tipo misto. Le pareti perimetrali, realizzate tramite setti murari costituiti da blocchi di pietra arenaria squadrata o in laterizi pieni, con alla base una fondazione di tipo lineare continua, vanno a formare uno schema portante di tipo scatolare.



All'interno degli edifici è invece evidente uno schema di tipo lineare: dai plinti di fondazione si elevano pilastri in blocchi di pietra calcarea (piano terra) e colonne in ghisa (piani superiori) che si intrecciano con un sistema di travi orizzontali che sorreggono i solai interpiano.

Le maglie strutturali presentano due soluzioni tipiche dell'epoca: maglia quadrata di 4,5 metri di lato e maglia rettangolare di 5x7,5 metri.

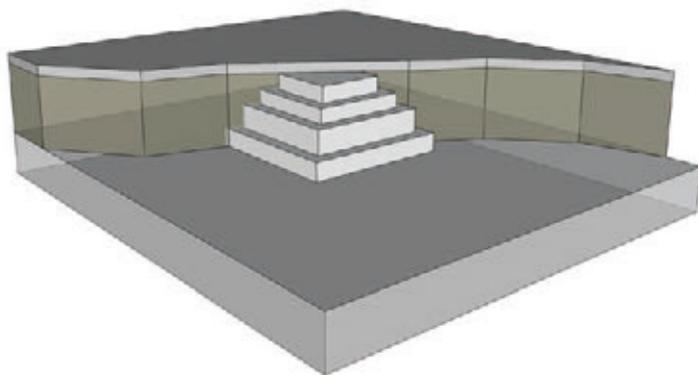
Le strutture in elevazione orizzontali di interpiano sono di tipo misto: la struttura a nervatura metallica, composta da una rete di travi a IPN accoppiate sostiene le voltine realizzate in calcestruzzo armato semipiene realizzate mediante la tecnica sperimentale Monier. Dalle prove di carico e analisi svolte durante il recupero del Magazzino 26, emerge che le portate caratteristiche sono variabili a seconda del piano e dello stato di conservazione dei solai, variando tra i 600 e i 1.800 kg per metro quadrato.

Da un'analisi delle tavole dei progetti originari e da ispezioni in loco è possibile ricostruire le soluzioni tecnologiche per ciascun nodo. Il materiale presentato di seguito riguarda principalmente il Magazzino 9, ma le soluzioni presentate possono venir estese, correggendo sostanzialmente gli elementi dimensionali, a tutti gli altri Magazzini e Capannoni del Porto.

### Strutture di fondazione

Lo strato di base dell'intera costruzione è composto da magrone, realizzato utilizzando la Terra di Santorini, di scarsa resistenza a compressione, avente altezza compresa tra gli 80 centimetri e il metro; solo in casi particolari furono utilizzati, affiancati al magrone, anche pali di fondazione.

La fondazione isolata degli elementi puntuali, che vanno a sorreggere i pilastri in pietra e ghisa, è realizzata mediante un plinto costituito da vari strati di calcestruzzo, aventi dimensioni minori al variare dell'altezza.



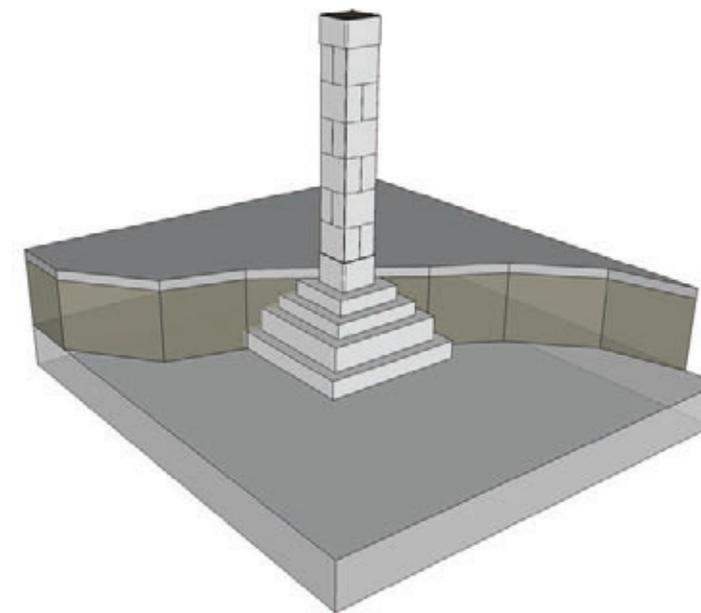
**Figura 62** - Fondazione isolata elemento puntuale realizzata tramite plinto in calcestruzzo che poggia su un magrone costituito dalla cosiddetta Terra di Santorini

Le pareti perimetrali portanti e alcuni setti portanti interni, presenti in particolare in corrispondenza agli avancorpi, poggiano su una fondazione continua, realizzata tramite un cordolo in calcestruzzo con profilo allargato rispetto alla parete superiore, anche questo adagiato sulla platea di fondazione realizzata in Terra di Santorini.

### Strutture puntuali in elevazione verticale

I pilastri del piano terra sono realizzati in blocchi di pietra calcarea squadrata di dimensione variabile. Il basamento è formato da un unico blocco in pietra, di dimensioni in genere pari a 75x75 cm e altezza di 56 cm, così

come la testata monoblocco con base di 75x75cm e altezza pari a 45 cm. La parte centrale della colonna, più snella, è formata invece da coppie di blocchi di dimensione 35x62x70 cm, collegati insieme a formare un unico blocco centrale di dimensione pari a 70x70 cm.



**Figura 63** - Elemento puntuale in elevazione realizzato in blocchi lapidei

Sulla testa di ciascun pilastro in materiale lapideo è posta una piastra in acciaio imbullonata, che funge da appoggio sia per la struttura in elevazione orizzontale, che per le colonne in ghisa dei piani superiori.

Le colonne dei piani superiori sono realizzate tramite dei profilati circolari in ghisa, composti da quarti di cerchio e collegati tra loro da piastre di irrigidimento imbullonate tra loro. Salendo di piano la sezione delle colonne diminuisce progressivamente.



**Figura 64** - Elemento puntuale in elevazione in ghisa, in evidenza il capitello superiore

In testa a ciascuna colonna sono posizionate delle flange piatte angolari imbullonate, a formare una sorta di capitello in ghisa con larghezza di circa 60cm. Il capitello in ghisa sorregge il peso trasmesso dalle travi che vanno a comporre la struttura in elevazione orizzontale.

Sebbene non sia stato possibile effettuare un'indagine approfondita sul collegamento dei pilastri in prossimità dei solai, viene ipotizzato questo tipo di collegamento a flange che consentirebbe di trasmettere lo sforzo assiale indotto dal pilastro sui piani inferiori.

Il collegamento si presume essere realizzato da quattro flange che, inserite tra i profili a forma di quarto di cerchio, riescono a collegare i due pilastri nonostante abbiano due diametri diversi, per esigenze di resistenza ai carichi verticali e ad instabilità.

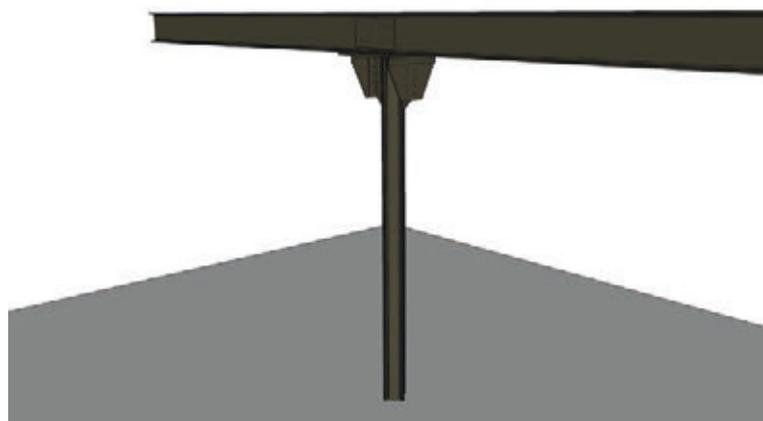
#### Strutture continue in elevazione verticale

Le strutture continue in elevazione verticale corrispondono all'involucro dell'edificio, e quindi con le chiusure verticali opache, e sono composte da pareti in elementi di pietra arenaria squadrata alternate da porzioni, o piani, realizzati mediante mattoni disposti, secondo uno schema a quattro teste. In genere gli avancorpi sono realizzati tramite la seconda soluzione, ovvero in laterizio, così da consentire una maggiore cura nella realizzazione delle decorazioni.

Lo spessore delle pareti così realizzate va dai 70/75 centimetri, ai piani inferiori, fino ai 55/60 centimetri, ai piani più elevati.

#### Strutture in elevazione orizzontale

Adagate su ciascun capitello in ghisa o sulla testa di ciascun pilastro in pietra, trova collocazione la struttura orizzontale primaria, composta da due travi IPN340 accoppiate, avente interasse 40 centimetri. Le travi IPN sono collegate tra loro attraverso un fazzoletto in acciaio imbullonato e sorreggono il peso trasmesso dalla struttura orizzontale secondaria.



**Figura 65** - Struttura orizzontale primaria poggiate su struttura in elevazione verticale

La struttura orizzontale secondaria è composta da voltine in calcestruzzo armato realizzate principalmente tramite il Sistema Monier, piuttosto che gli altri sistemi sperimentali citati in precedenza. Agli estremi di ciascuna voltina Monier si trovano annegate nel getto di Calcestruzzo due travi IPN340, le quali poggiano direttamente sulla struttura primaria.

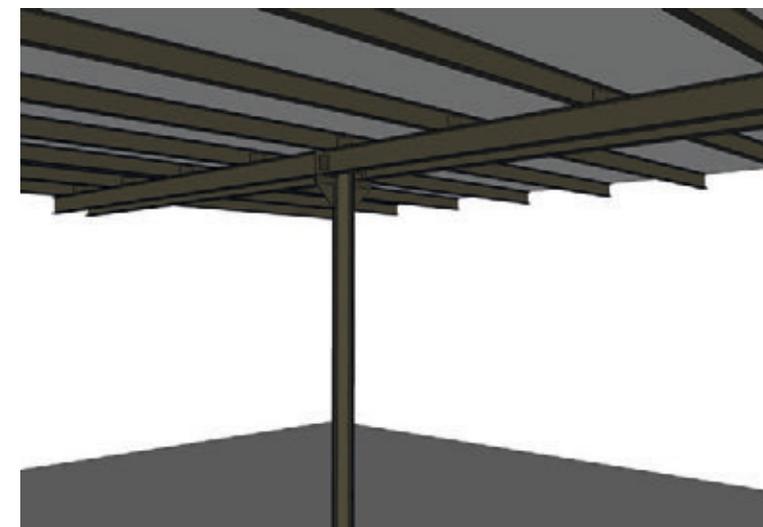
Le voltine Monier sono realizzate tramite un'armatura in acciaio costituita da barre di diametro 4 millimetri, posizionate ad un passo di circa 10 centimetri ciascuna. Era usanza diffusa, all'epoca, utilizzare un copriferro veramente esiguo, in quanto non si conoscevano ancora le problematiche legate al distacco del calcestruzzo dalle barre in acciaio. Difatti le voltine risultano costituite da due solette in calcestruzzo, una rettilinea all'estradosso e una curva all'intradosso, di uno spessore che varia dai 5 ai 6 centimetri.



**Figura 66** - Struttura orizzontale secondaria e solaio realizzato in voltine Monier

Il solaio di copertura è composto da un'orditura secondaria di arcarecci di tipo IPN160 con interassi pari a 125 cm, poggianti su un'orditura principale formata da travi di tipo IPN200, accoppiate e poggianti a loro volta su pilastri circolari in acciaio.

Le travi IPN200 vengono quindi appoggiate e fissate con ulteriori flange angolari, imbullonate sia all'anima delle travi che al piatto di sostegno in ghisa. Gli arcarecci IPN160 sono collegati tra loro attraverso un fazzoletto in acciaio e poggiano sulle travi IPN200 accoppiate.



**Figura 67** - Struttura orizzontale di copertura, in evidenza la struttura primaria e secondaria in travi di ghisa

## Chiusure

Il subsistema delle chiusure si confonde in parte con il subsistema delle strutture portanti, infatti le chiusure verticali opache corrispondono alla struttura continua in elevazione verticale.

Si può notare come l'esigenza principale del subsistema delle chiusure fosse quella proteggere le merci dalle intemperie, dando scarsa importanza ad un isolamento termico rispetto l'esterno, considerata la destinazione d'uso originaria degli edifici, tra tutti Magazzini e Capannoni.

### Chiusura orizzontale inferiore

La chiusura orizzontale inferiore vede una continuità, e parziale compresenza, con quelle che sono le strutture di fondazione. Superiormente allo strato basamentale realizzato in Terra di Santorini, uno strato di inerte ricopre le fondazioni, formando così lo strato di posa del lastricato in massegni di pietra arenaria che, all'epoca di realizzazione, costituiva il pavimento del piano terra dell'edificio.

Nel tempo, nella maggior parte degli edifici, i massegni sono stati sostituiti da uno strato di calcestruzzo, così da facilitare la movimentazione delle merci su pallet tramite mezzi meccanici. Gran parte dei massegni ricavati è stato utilizzato per realizzare la pavimentazione di alcune piazze e viali della Città di Trieste.

### Chiusure verticali opache

Come detto, le chiusure verticali opache corrispondono sostanzialmente alle strutture continue in elevazione verticale.

Come descritto in precedenza, le soluzioni costruttive utilizzate possono essere raggruppati in due categorie.

La prima soluzione, quella che caratterizza la gran parte degli edifici soprattutto ai piani inferiori, si identifica in pareti realizzate tramite blocchi quadrati di pietra arenaria, collegati tra loro da malta; a volte la pietra è stata lasciata a vista internamente o esternamente, in particolare al piano terra, mentre altre volte risulta rivestita da uno strato di finitura in intonaco.

La seconda soluzione presente, che caratterizza in particolare i piani più elevati e gli avancorpi, prevede invece l'utilizzo di mattoni in laterizio, spesso disposti secondo uno schema a quattro teste. Inizialmente, tutte le pareti così realizzate erano rivestite da uno strato di finitura in intonaco, che ad oggi risulta spesso danneggiato o completamente rimosso.

### Chiusura orizzontale superiore

Le coperture di Magazzini e Capannoni sono realizzate mediante la tecnologia costruttiva "Holzemett"<sup>23</sup>, al tempo molto diffusa anche nelle costruzioni cittadine, combinata allo strato portante sempre realizzato secondo il sistema costruttivo Monier.

Per quel che riguarda lo strato portante, questo è realizzato mediante una lastra piana in calcestruzzo armato realizzata secondo il metodo Monier, avente 4 centimetri di spessore, la quale poggia su un'orditura di travi in

23 A. Giglio (curato da), Il magazzino 26 di Trieste. Documenti di un restauro, Lint Editoriale, Trieste, 2011

ghisa distanziate di 1,25 metri ciascuna<sup>24</sup>. A loro volta, le travi a doppia T, sono sostenute da un sistema di pilastri in ghisa che trasferiscono i carichi ai pilastri realizzati in materiale lapideo ai piani inferiori.

Figura 68 - Strati funzionali della chiusura orizzontale superiore



La pendenza della copertura piana a due falde leggermente inclinate è pari all'8%, lo strato di collegamento è costituito da una gettata di cemento pozzolanico, ricoperto da uno strato di impermeabilizzazione costituito da una doppia guaina di materiale bituminoso. La finitura superficiale, che funge anche da strato di drenaggio per le acque meteoriche, è costituita da uno strato di ghiaia dalla pezzatura medio-fine, con la funzione di protezione superficiale dagli agenti atmosferici e dai raggi solari.

## Partizioni

Tra le partizioni interne, quelle che presentano maggior interesse sono sicuramente le partizioni interne orizzontali, realizzate mediante voltine di tipo Monier o similari, già parzialmente trattate in precedenza nell'analisi del subsistema delle strutture portanti.

Le partizioni interne verticali e inclinate (scale), al contrario, non presentano soluzioni particolari o innovative.

### Partizioni interne orizzontali

Le partizioni interne orizzontali corrispondono sostanzialmente alle strutture in elevazioni orizzontali. Sono costituite da voltine cave in calcestruzzo, la gran parte delle quali realizzate mediante il Sistema Monier, che costituiscono sia un elemento di separazione tra gli spazi, che un elemento portante per i carichi.

Le voltine sono costituite da due solette in calcestruzzo con uno spessore che va dai 4 ai 6 centimetri; la soletta inferiore forma la tipica conformazione a volta, mentre invece quella superiore risulta piana. Nello spazio cavo risultante tra le due solette, si trova un materiale di riempimento costituito da scorie di altoforno (loppa).

### Partizioni interne verticali

Le partizioni interne verticali non seguono degli schemi fissi, e risultano di scarso interesse in quanto, in un'ottica di recupero degli spazi per funzioni diverse da quelle specifiche di stoccaggio delle merci, risultano completamente da rivedere.

Per lo stoccaggio delle merci, secondo gli schemi dell'epoca, non era infatti necessaria una ripartizione specifica degli spazi.

24 Paul Christophe, Le béton armé et ses applications, Béranger, Paris, 1902

Spesso nei piani superiori, in Magazzini e Capannoni, sono presenti delle pareti in muratura divisorie, che fungevano anche da setti tagliafuoco, con la funzione principale di compartimentare gli spazi in modo da immagazzinare merci diverse in ambienti completamente distinti tra loro.

#### Partizioni interne inclinate (scale)

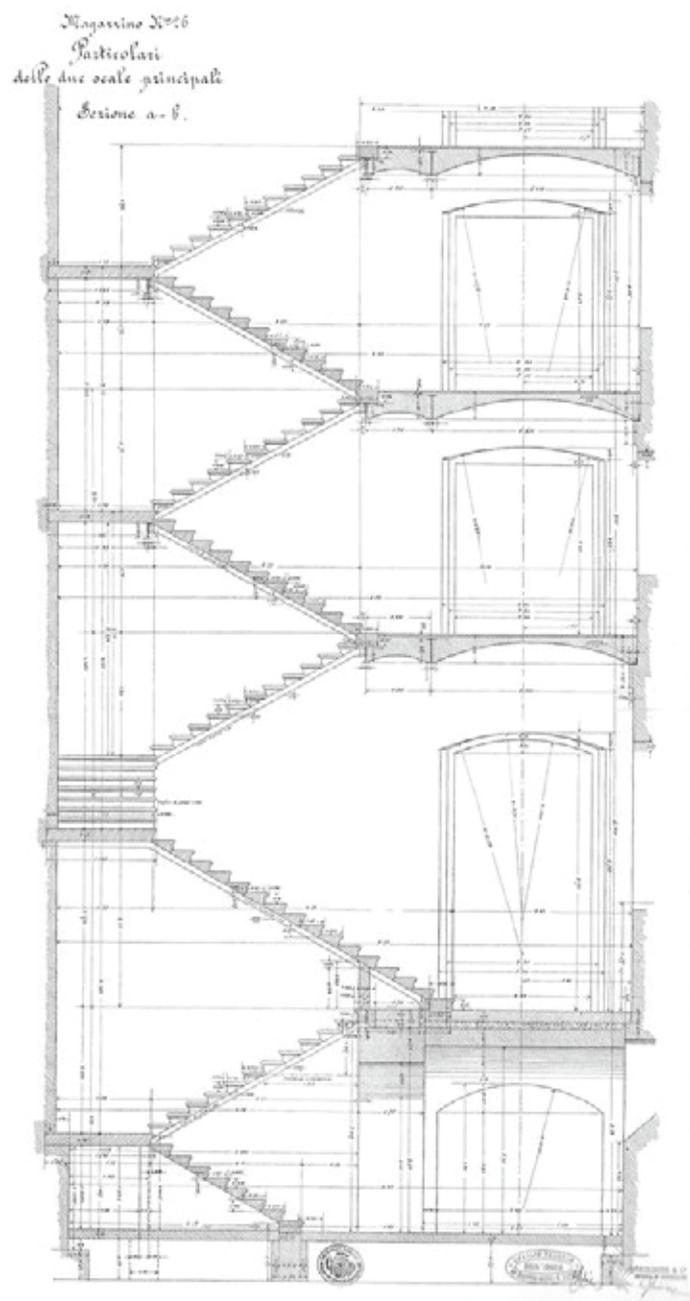
I progetti originari prevedevano collegamenti verticali disposti generalmente negli avancorpi e a servizio degli operatori, considerato che le merci entravano e uscivano direttamente dai ballatoi posti sulle facciate esterne.

I collegamenti sono costituiti da scale in pietra, in molti edifici risultano parzialmente o completamente danneggiate se non sostituite con materiali più moderni piuttosto che da montacarichi meccanici.

#### Partizioni esterne orizzontali (ballatoi)

Su gran parte delle facciate di Magazzini e Capannoni sono presenti dei ballatoi, che costituiscono le partizioni esterne orizzontali, la cui funzione era quella di agevolare la movimentazione delle merci dall'interno all'esterno degli edifici, per poi venir trasferite tramite mezzi di sollevamento ai vagoni ferroviari.

Gli orizzontamenti dei ballatoi sono realizzati mediante voltine in calcestruzzo spesso realizzate mediante il Sistema Monier, sostenute da colonne in ghisa, che seguono specifici schemi di decorazione già trattati nel relativo paragrafo.

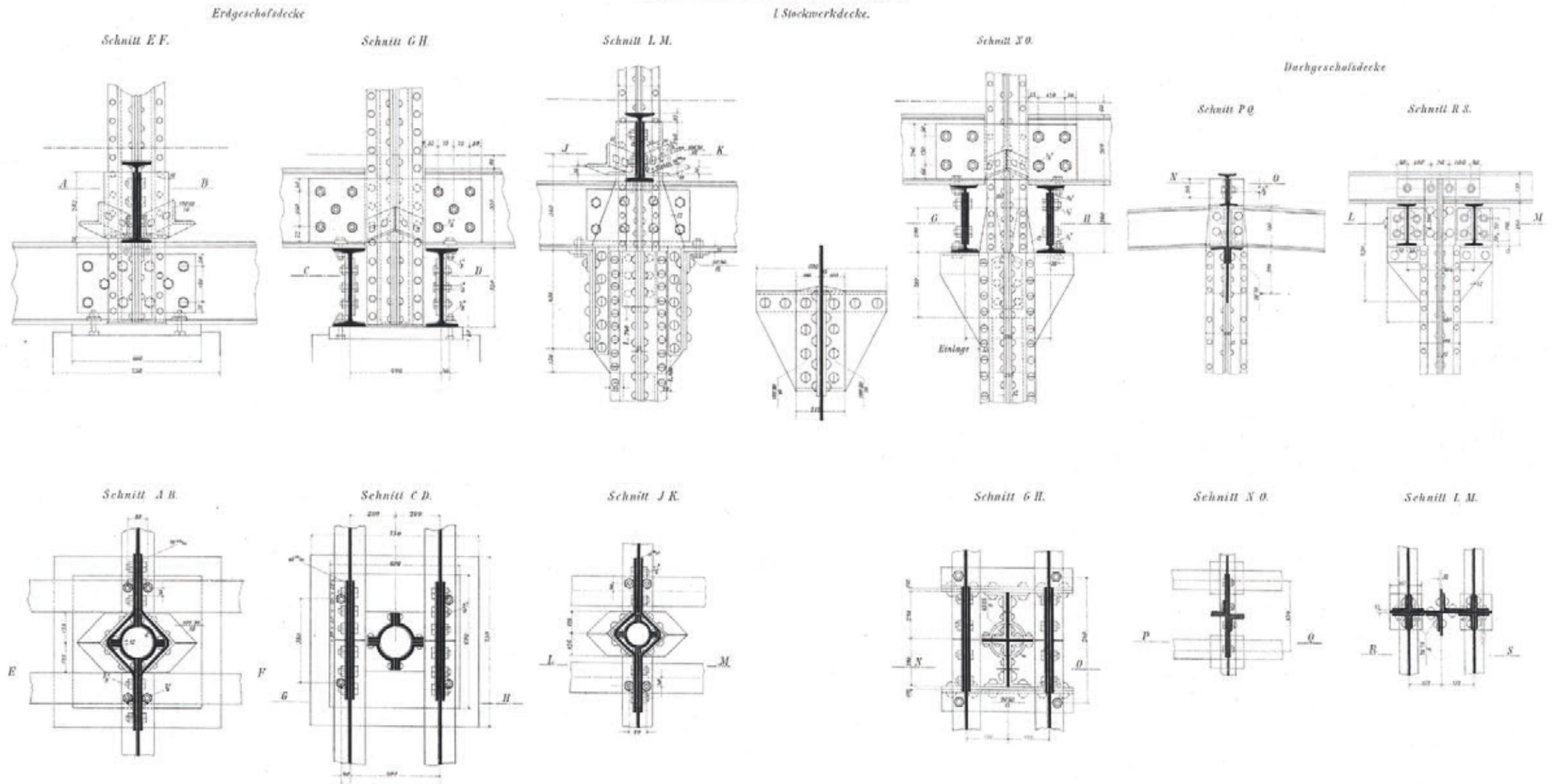


**Figura 69** - Sezione verticale del vano scale del Magazzino 26  
*Il Magazzino 26. Documenti di un Restauro, Edizioni Lint, Trieste, 2012*

# DIE NEUEN LAGERHÄUSER IN TRIEST

Mitgeteilt von Carl Muck.

Details der Quadranteisensäulen bei Hangars.



Allgem. Bauzeitung, 1891

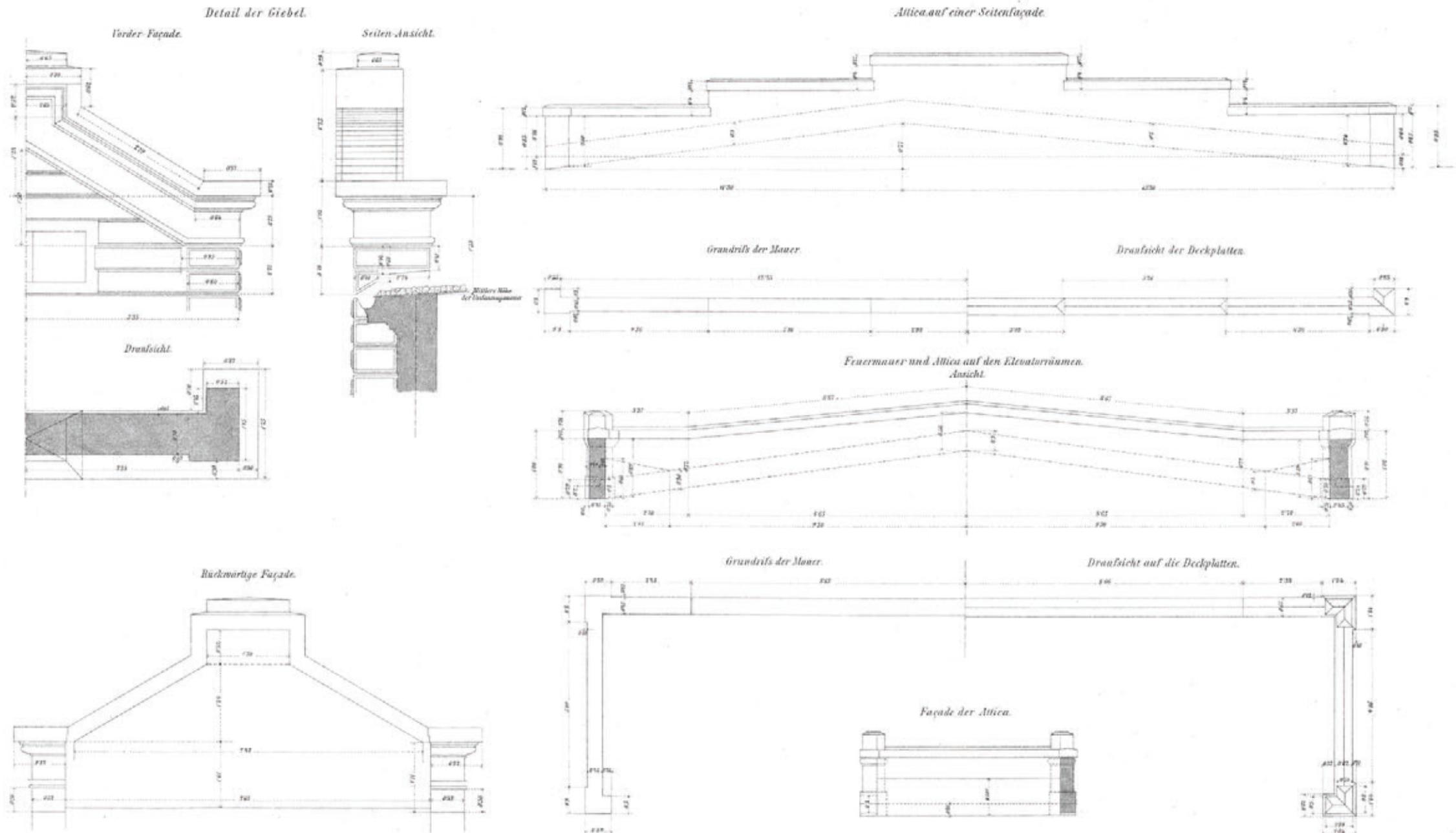
R. v. Widdemann arch. Inst. Wien.

Figura 70 - Dettagli costruttivi degli elementi della struttura in elevazione realizzati tramite profilati in ghisa  
Allgemeine Bauzeitung, Vienna, 1891

# DIE NEUEN LAGERHÄUSER IN TRIEST

Mitgetheilt von Carl Muck.

Bl. 39



Allgem. Bauzeitung 1891.

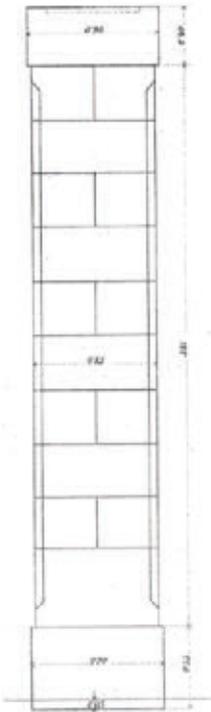
H. v. Waldheim arch. Aust. Wien

Figura 71 - Dettagli costruttivi della copertura e delle decorazioni di facciata  
Allgemeine Bauzeitung, Vienna, 1891

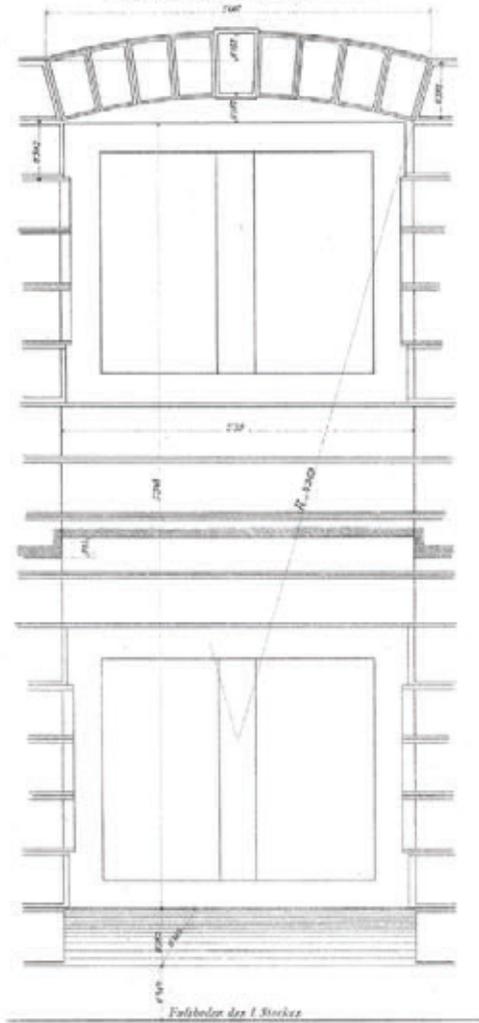
# DIE NEUEN LAGERHÄUSER IN TRIEST

Mitgetheilt von Carl Muck.

Isolierte Pfeiler im Erdgeschloß  
Aus Kalkstein.



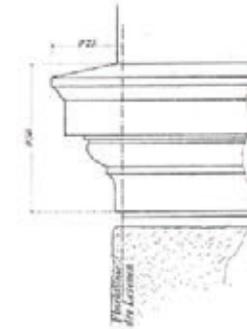
Nischen in den vortragenden Thronen



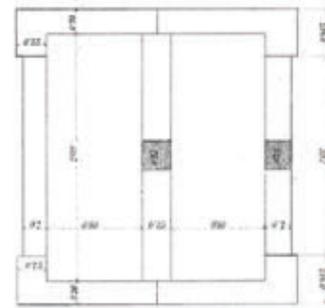
Thürgewände in den Feuerwerken aus Sandstein.



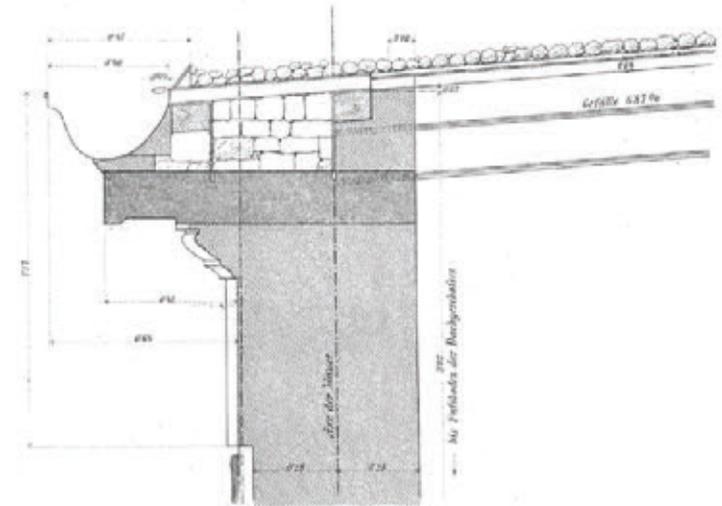
Architravgewände als Abschluss vom Erdgeschloß



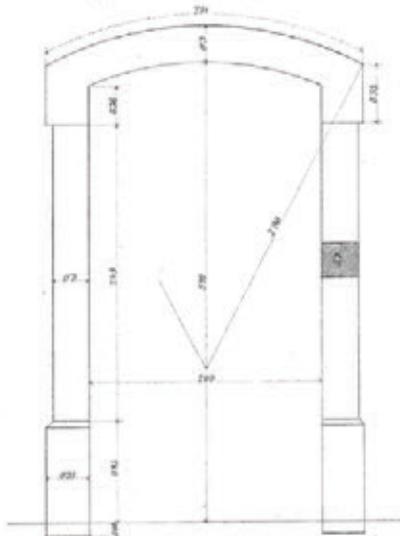
Fenster im Erdgeschloß  
Alle Fenster sind in Kalkstein.



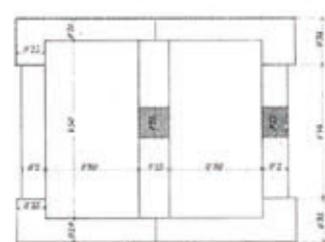
Haupt Gesims



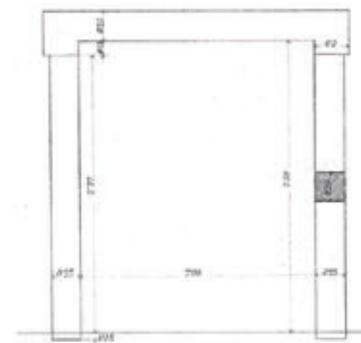
Thürgewände im Erdgeschloß aus Kalkstein.



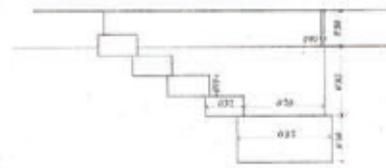
Fenster im 1. und 2. Stock



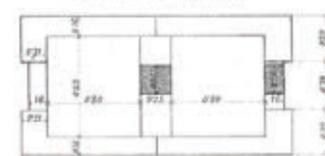
Thürgewände in den oberen Stockwerken  
Aus Kalkstein.



Perron Stiegen.



Fenster im Dachgeschloß



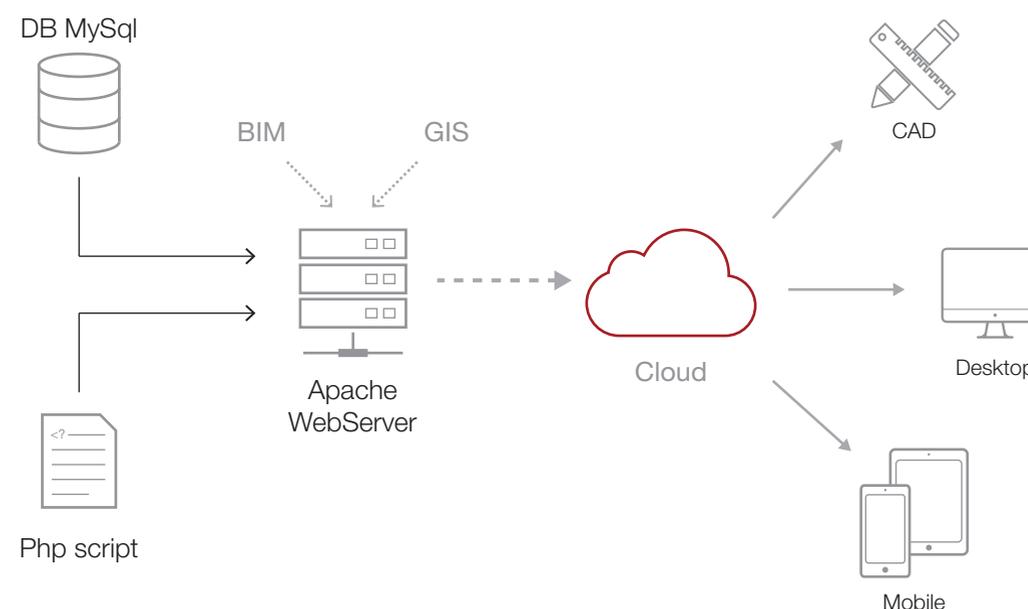
Alipon, Darstellung 1891

R. v. Waldhorn art. Inst. Wien

Figura 72 - Dettagli costruttivi delle aperture in facciata e del nodo chiusura verticale chiusura orizzontale superiore  
Allgemeine Bauzeitung, Vienna, 1891

# Sviluppo della Piattaforma Informativa

Considerate le dimensioni dell'area del Porto Vecchio, la pluralità di edifici ed infrastrutture presenti, la complessità degli strumenti urbanistici, dei vincoli architettonici e la numerosità di concessioni presenti, è stata definita un'azione volta a catalogare e riconoscere il patrimonio edilizio tramite la realizzazione di una piattaforma informativa su supporto informatico. Questo tipo di approccio ha l'obiettivo di permettere un'archiviazione strutturata della grande mole di dati e un semplice ed immediato reperimento delle informazioni, tramite l'utilizzo integrato di applicativi terzi, quali software BIM, GIS e CAD.



**Figura 1** - Schema rappresentate il concept della Piattaforma Informativa

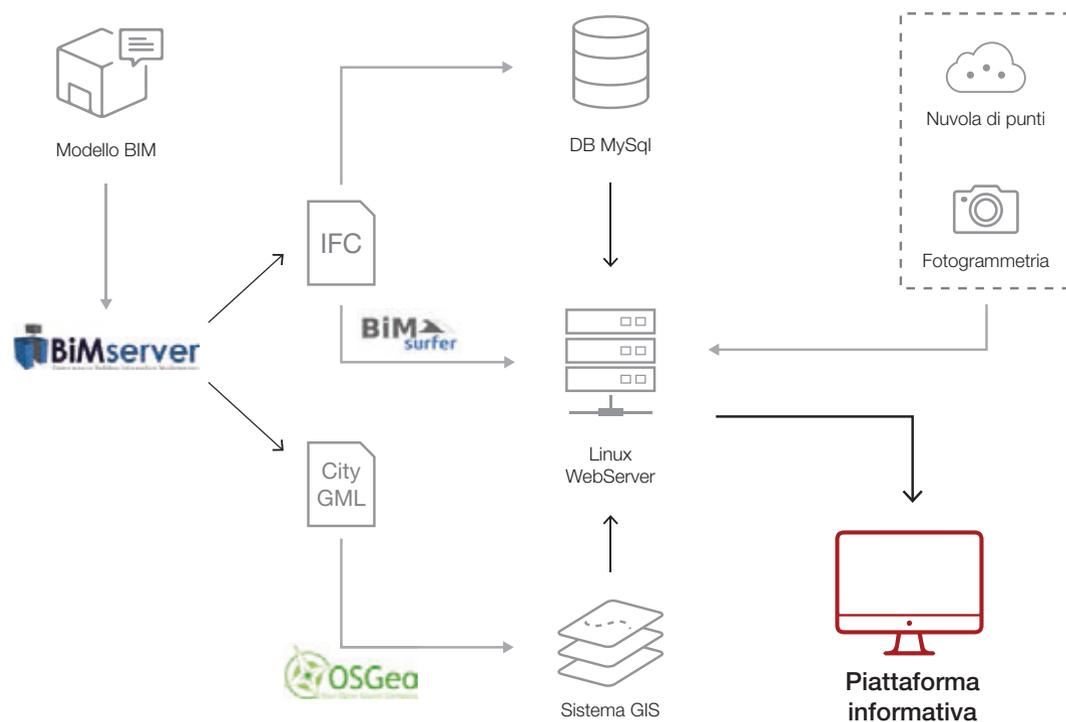
La costruzione della Piattaforma informativa parte da un inquadramento cartografico dell'area, impiegando in una prima fase la cartografia regionale in scala 1:5000 georeferenziata, corredata dalla cartografia storica disponibile, per ottenere un quadro più completo. La base dati è stata elaborata in modo da poter essere implementabile in futuro con l'impiego di strumentazione innovativa, quali laserscan e droni; l'obiettivo della fase conoscitiva è la realizzazione di un rilievo tridimensionale dell'area, tale da integrare dinamicamente le informazioni della cartografia esistente.

Scendendo alla scala del singolo organismo edilizio, la piattaforma è predisposta per raccogliere informazioni afferenti le caratteristiche spaziali, collocando gli edifici sulla cartografia, integrandola con piante, sezioni, prospetti e con il profilo storico, implementando i dati di costruzione dei manufatti, le specifiche dei precedenti interventi di recupero, restauro o modifica dell'edificio, infine lo stato di fatto e le possibili proposte per un futuro recupero.

Oltre alle caratteristiche distributive e funzionali, ogni organismo è analizzato nelle proprie tecniche costruttive, con particolare attenzione alle soluzioni di interesse storico e tecnologico, completando infine il quadro con i vincoli presenti, fornendo una guida per pianificatori, progettisti e decision makers.

## Tecnologie e strumenti utilizzati

La realizzazione tecnica della piattaforma è stata sviluppata con l'impiego di tecnologie il più possibile *open source*, tra le più diffuse nelle *web application*, quali il motore di database MySQL, i linguaggi di programmazione Php per webservices e Javascript per il *client*. Nello specifico, il *client* è realizzato attraverso una web application che lo rende compatibile con qualsiasi sistema operativo desktop e fruibile tramite qualsiasi dispositivo, anche mobile (smartphone e tablet).



**Figura 2** - Pannello di controllo e stato server virtuale installato su NAS Qnap tramite plugin Virtualization Station

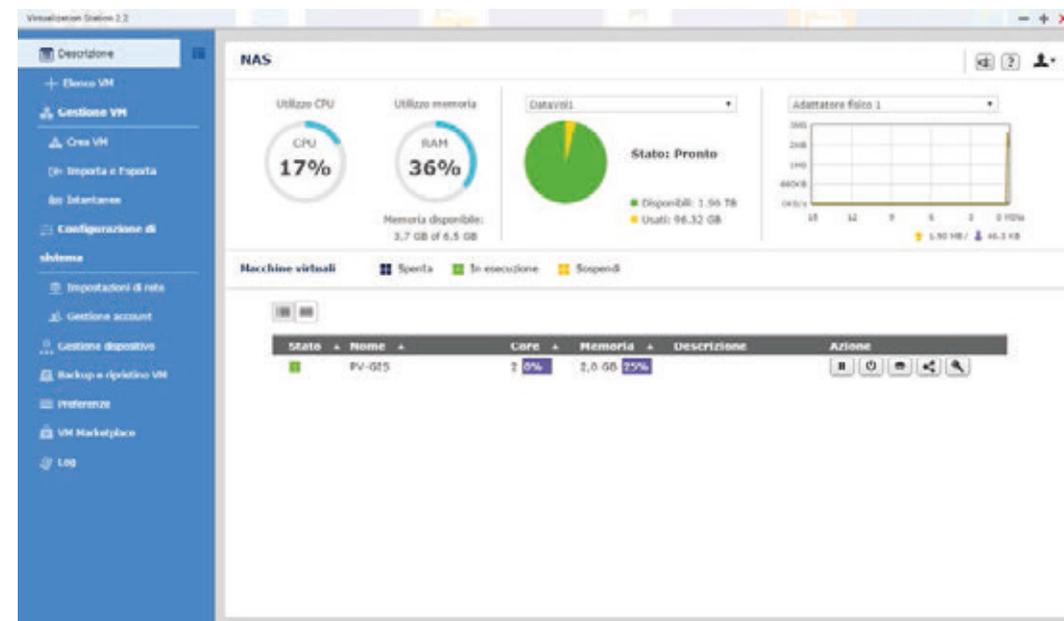
Oltre al *frontend*, vale a dire la controparte della piattaforma visibile a qualsiasi utente, è stato sviluppato anche un *backend*, che consente la gestione e il popolamento del database, così da permettere anche un futuro ampliamento della base dati.

### Server LAMP

Per la realizzazione dell'infrastruttura, necessaria ad ospitare la piattaforma informativa web, è stato utilizzato uno degli ambienti di sviluppo web *open source* più diffuso a livello internazionale, spesso conosciuto come LAMP, acronimo che sta per Linux, Apache, MySQL e Php. L'ambiente di lavoro si compone di un server Linux, più nello specifico un Ubuntu Server, sul quale si è installato il server web Apache2, il database MySQL e l'estensione Php.

Questo tipo di configurazione costituisce uno standard nelle infrastrutture web *open source*, di conseguenza garantisce una buona interoperabilità tra gli strumenti esistenti e dei costi, relativamente ridotti, di infrastrutturazione, in quanto non vi è alcun costo di licenza software.

In questa fase di sviluppo della piattaforma, l'infrastruttura è stata realizzata all'interno di un Server Virtuale su NAS Qnap installato all'interno dell'Università di Trieste, che successivamente potrà essere facilmente migrato su un server pubblico di produzione.



**Figura 3** - Schema riassuntivo dell'infrastruttura tecnologica a supporto della Piattaforma Informativa

### BiMserver

BiMserver è un software *open source* realizzato in Java, che consente di sviluppare strumenti integrati a supporto di modelli BIM. Tra le funzionalità core di BiMserver si ritrovano:

- Gestione revisioni modelli
- Versionamento dei modelli
- Differenziazione livelli autorizzativi
- Comparazione di modelli
- Possibilità di interrogare modelli
- Verifica di modelli
- Interoperabilità e interscambio dati.

BiMserver si basa sullo standard IFC, formato standard riconosciuto a livello internazionale che consente l'interscambio dati tra tutti i software BIM presenti sul mercato.

In merito allo sviluppo della piattaforma, BiMserver diventa lo strumento preposto a garantire l'archiviazione e il versionamento dei modelli BIM dei singoli edifici, garantendo, tramite il plugin BiMsurfer, la visualizzazione di una preview dei modelli direttamente da interfaccia web, oltre all'interscambio dati con altri software, come ad esempio software GIS e di analisi dei dati.

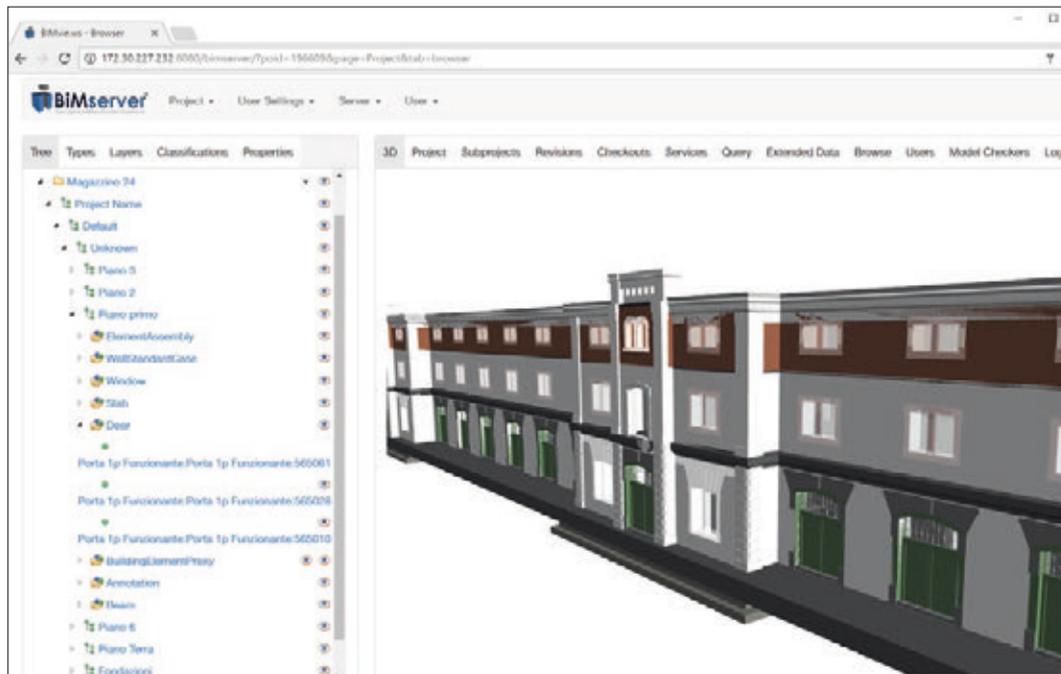


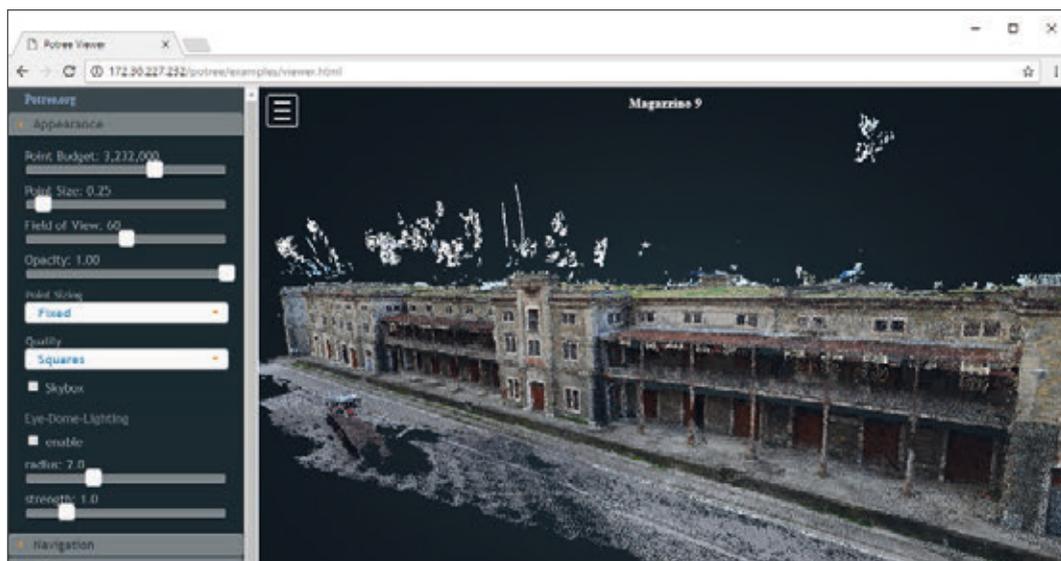
Figura 4 - Visualizzazione di un modello BIM tramite l'applicativo BIMserver all'interno della piattaforma BIMserver

## Potree

Potree è un viewer di nuvole di punti, basato su WebGL e distribuito tramite licenza *open source*. Potree consente la visualizzazione di nuvole di punti direttamente sui più recenti browser web che supportano le librerie Open Source WebGL. Il progetto è un'evoluzione di un viewer web based realizzato tramite Scanopy desktop point cloud renderer.<sup>1</sup>

Oltre alla funzionalità di mera visualizzazione, Potree consente anche un minimo di analisi del modello di nuvola di punti, tramite strumenti di misura e valutazione, disponibili da interfaccia web.

Figura 5 - Nuvola di punti risultante dal rilievo fotografico del Magazzino 10 tramite libreria Potree



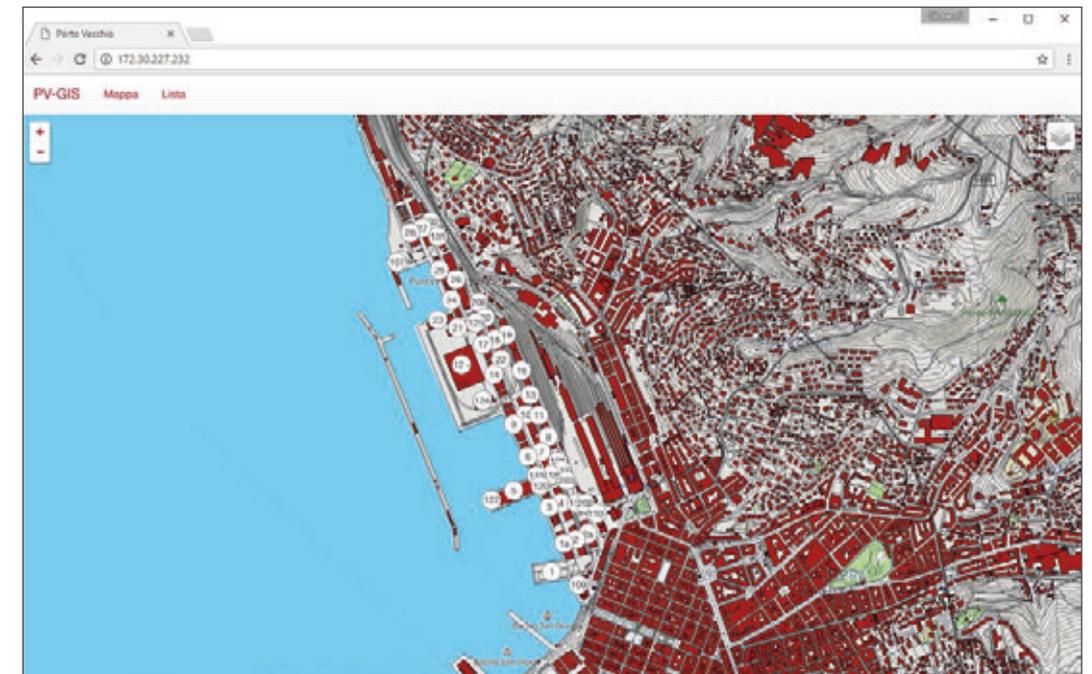
<sup>1</sup> [www.potree.org](http://www.potree.org)

Nella realizzazione della piattaforma informativa, Potree è stato implementato per consentire la visualizzazione delle nuvole di punti risultanti dalla campagna di rilievo fotografico, effettuata su alcuni degli edifici del Porto Vecchio.

## LeafletJS

LeafletJS è una libreria JavaScript *open source* per la realizzazione di mappe web interattive. LeafletJS è progettata con l'obiettivo di garantire semplicità, performance e usabilità, ed è compatibile con la maggior parte dei browser desktop e mobile. La libreria può essere estesa tramite plugin terzi, grazie anche alla folta *community* di sviluppatori che contribuiscono allo sviluppo di della stessa.<sup>2</sup>

Figura 6 - View principale della Piattaforma Informativa dove viene presentata la cartografia utilizzando la libreria LeafletJS



La libreria LeafletJS si è rilevata centrale in rapporto alla piattaforma informativa, soprattutto relativamente alla realizzazione dell'interfaccia di consultazione web. La libreria ha reso possibile, infatti, realizzare quella che è la view principale della piattaforma informativa. In questa view si presentano i vari layer cartografici disponibili, sovrapponendo ad essi i marker che identificano i singoli edifici tramite il proprio codice identificativo.

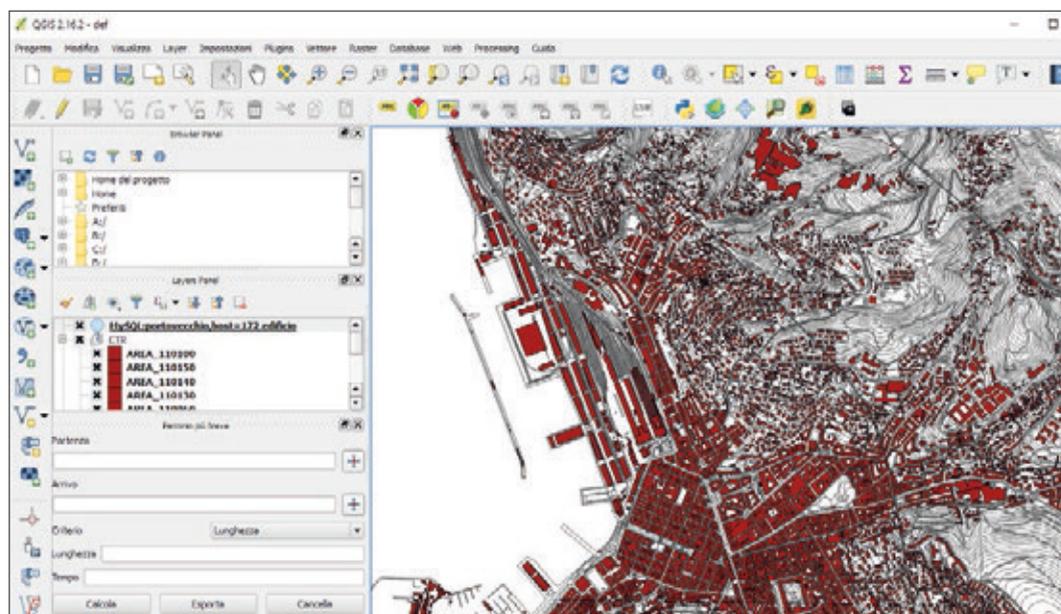
## Quantum GIS

Quantum GIS, o più brevemente QGIS, è un Sistema di Informazione Geografica Open Source rilasciato sotto la GNU General Public License. QGIS è un progetto ufficiale della Open Source Geospatial Foundation (OSGeo), compatibile con sistemi operativi Linux, Unix, Mac OSX, Windows e Android, che supporta numerosi formati vettoriali, raster, integrazione con database e funzionalità avanzate di analisi.

<sup>2</sup> <https://github.com/Leaflet/Leaflet>

QGIS è in grado di visualizzare e sovrapporre vettori e raster di diversi formati, utilizzando diversi sistemi di proiezione contemporaneamente, senza che sia necessaria alcuna conversione di formato. I formati supportati includono:

- Tabelle e viste spaziali PostGIS, SpatiaLite e MS SQL Spatial, Oracle Spatial e vettori supportati dalla libreria OGR come ESRI shapefile, MapInfo, SDTS, GML e altri;
- Raster e immagini supportati dalla libreria GDAL (Geospatial Data Abstraction Library), come GeoTIFF, ERDAS IMG, ArcInfo ASCII GRID, JPEG, PNG e altri;
- Raster e vettori GRASS dai relativi database (location/mapset);
- Dati spaziali accessibili da Web Services OGC, come WMS, WMTS, WCS, WFS, WFS-T, ....



Risulta possibile creare mappe ed esplorare i dati spaziali tramite un'interfaccia grafica che semplifica l'utilizzo del software e mette a disposizione svariati strumenti, fra cui:

- QGIS browser
- Riproiezione al volo
- DB Manager
- Compositore di stampe
- Pannello vista generale
- Segnalibri spaziali

**Figura 7** - View principale di QGIS interfacciato con i dati rilevati dalla Piattaforma Informativa di Porto Vecchio

- Funzioni di identificazione/selezione
- Modifica/visualizzazione/ricerca degli attributi
- Supporto per il salvataggio e il ripristino di progetti<sup>3</sup>

QGIS è stato utilizzato in fase di realizzazione della piattaforma informativa al fine di georeferenziare le informazioni relative agli edifici sulla cartografia regionale. In questa fase sono stati importati i vari quadri di unione in formato shape della CTR 1:5000 relativamente all'area interessata, quindi, tramite l'interfaccia grafica QGIS, si sono georeferenziati i singoli edifici, per poi esportare i risultati ottenuti tramite le funzionalità di esportazione offerte da QGIS. I dati esportati sono stati quindi importati come layer sulla piattaforma, utilizzando anche la libreria di visualizzazione LeafletJS

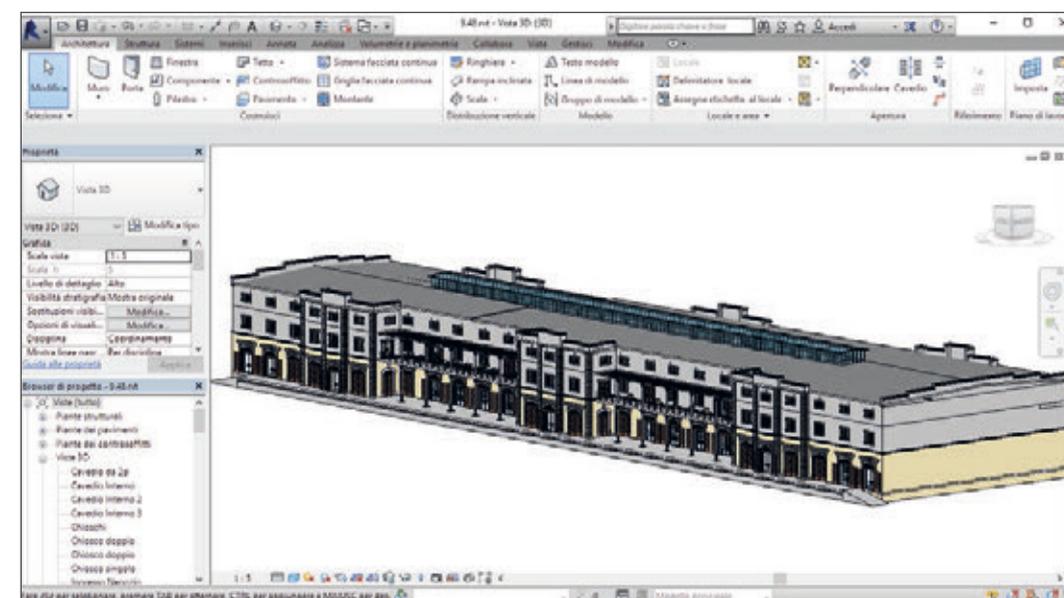
Inoltre, essendo QGIS in grado di interagire con database MySQL, si è sviluppato un modulo che consente lo scambio di dati tra la piattaforma ed il software, facendo sì che il database possa essere interrogato anche direttamente, tramite il software QGIS, al fine di ulteriori elaborazioni.

### Autodesk Revit

Autodesk Revit è uno dei software BIM più diffusi e conosciuti a livello internazionale. Autodesk Revit supporta un workflow BIM completo all'interno di un'unica applicazione, dalla fase concettuale alla realizzazione.

Autodesk Revit, in quanto software BIM, supporta la modellazione parametrica di tutti i componenti di un edificio, la condivisione in tempo reale del modello e un coordinamento completo del processo edilizio. Autodesk Revit garantisce la piena interoperabilità con altri software della famiglia Autodesk, come Autodesk Reacap o Autodesk Autocad, oltre a garantire l'esportazione dei dati in formato standard IFC.

**Figura 8** - Modello BIM del Magazzino 10 gestito tramite Autodesk Revit



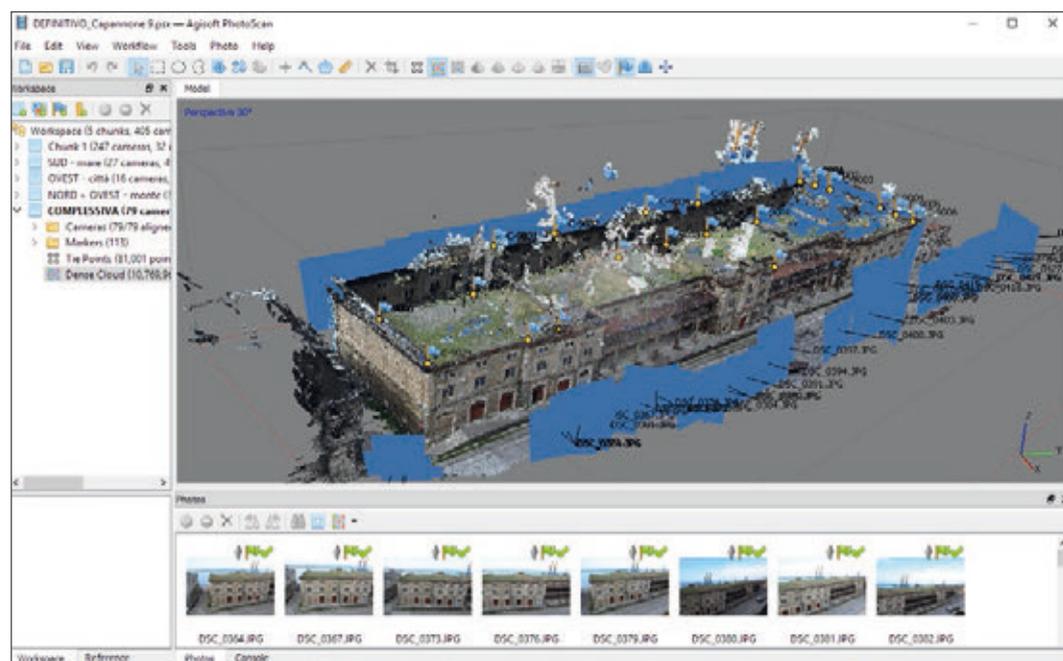
<sup>3</sup> Caratteristiche tecniche riportate da [www.qgis.org](http://www.qgis.org)

Tra i vari software BIM disponibili sul mercato, si è scelto Revit per due motivi principali: l'elevata diffusione e la disponibilità di licenze gratuite per studenti.

Autodesk Revit è stato utilizzato per la modellazione di alcuni edifici del Porto Vecchio. I modelli ottenuti sono stati quindi esportati nel formato di interscambio IFC e successivamente importati in BIMserver, rendendoli disponibili direttamente dalla piattaforma informativa.

## Agisoft Photoscan

Agisoft Photoscan è un software finalizzato all'elaborazione fotogrammetrica di immagini digitali e consente di generare visualizzazione di dati spaziali in tre dimensioni. Viene utilizzato in applicazioni GIS, documentazione di beni culturali e, più in generale, per la misurazione indiretta di oggetti di varia scala.



Il software utilizza come dati di input un elevato numero di fotografie dell'oggetto; tramite successive analisi ed elaborazioni dei dati di input, Photoscan raddrizza e collega tutte le fotografie inserite, per poi generare una nuvola di punti tridimensionale.

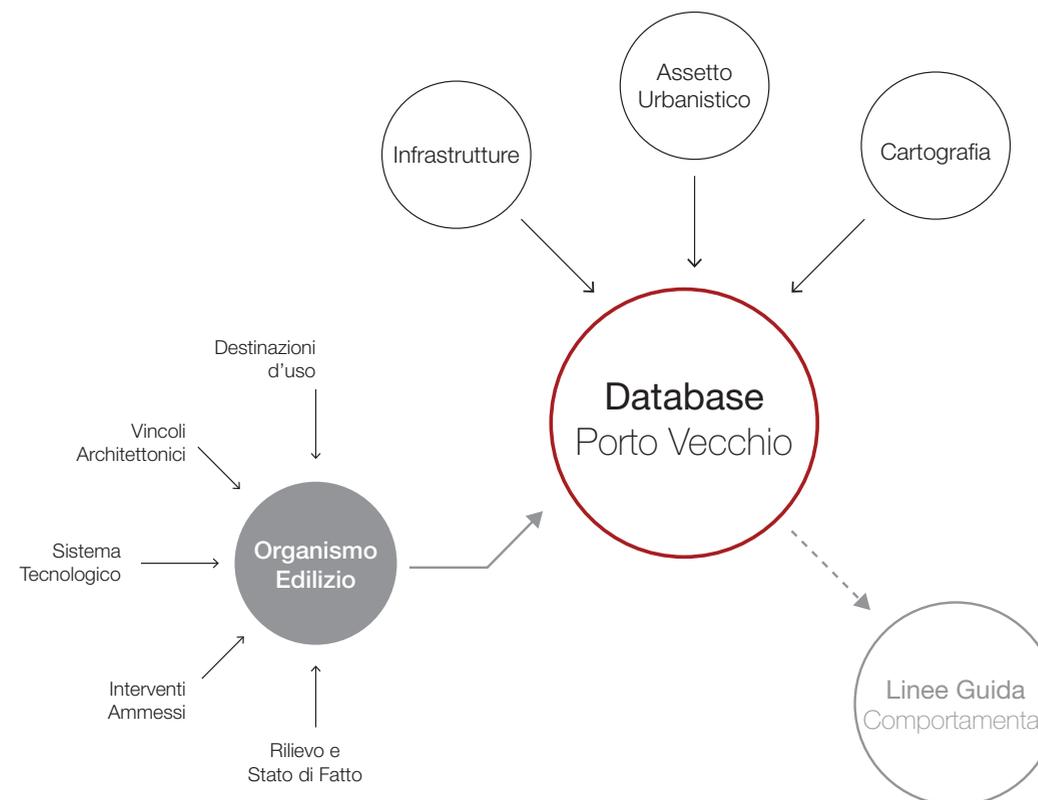
Trattandosi di un'interpolazione, il risultato non ha chiaramente la medesima definizione di una nuvola di punti generata mediante l'utilizzo di un laser scan, ma consente comunque una precisione sufficiente, ai fini architettonici, su edifici di grandi dimensioni.

## Strutturazione del database

Il database atto a supportare la piattaforma informativa a finalizzata al recupero del Porto Vecchio di Trieste è stato oggetto di attenta progettazione e sviluppo, in quanto risulta il componente chiave per il funzionamento del sistema.

**Figura 9** - Schermata principale di Agisoft Photoscan con i risultati di elaborazione del Magazzino 10

È stata posta particolare attenzione alle tematiche proprie dell'architettura tecnica, ragionando quindi con attenzione sulla caratterizzazione dell'organismo edilizio, che occupa una posizione centrale, tenendo in dovuta considerazione tutte le sue caratteristiche intrinseche, in particolare le tecniche costruttive da valorizzare e recuperare, ed estrinseche quali vincoli architettonici e destinazioni d'uso previsti dalla pianificazione urbanistica vigente.



**Figura 10** - Schema rappresentante il concept del database della Piattaforma Informativa

Tematiche quali l'assetto urbanistico globale e le infrastrutture tecnologiche d'area trovano comunque uno spazio all'interno del database progettato, ma occupano una posizione secondaria, in quanto esulano dall'ambito di ricerca specifico.

Parallelamente allo sviluppo della piattaforma informativa, si è portata avanti un'operazione di definizione, seppur per sommi capi, di alcune linee guida comportamentali per il recupero degli edifici del Porto: anch'esse trovano posto all'interno della struttura del database.

## Caratterizzazione dell'organismo edilizio

Ciascun organismo edilizio è stato esploso per le sue componenti, cercando di combinare l'organizzazione prevista dalla Normativa Italiana <sup>4</sup>, concentrando l'attenzione sul sistema tecnologico, e quella prevista dal BIM Forum <sup>5</sup>, sia a livello di modello BIM che poi nel database stesso, identificando degli elementi tecnici di maggior interesse.

<sup>4</sup> Norma UNI 8290

<sup>5</sup> Level of Development Specifications, BIM Forum, 2015

SISTEMA	SUBSISTEMA / UNITÀ TECNOLOGICA	UNITÀ TECNOLOGICA									
	Strutture portanti	Strutture di fondazione	Strutture in elevazione	Strutture di contenim.	Strutture in elevazione						
	Chiusure	Chiusure verticali	Chiusure orizzontali inferiori	Chiusure orizz. spazi esterni	Chiusure orizzontali superiori						
	Partizioni interne	Partizioni interne verticali	Partizioni interne orizzontali	Partizioni interne inclinate							
	Partizioni esterne	Partizioni esterne verticali	Partizioni esterne orizzontali	Partizioni esterne inclinate							
	Impianti fornit. servizi	Impianti climatizz.	Impianti idro sanitario	Impianto smaltim. liquidi	Impianto smaltim. aeriformi	Impianto smaltim. solidi	Impianto distribuz. gas	Impianto elettrico	Impianto telecom.	Impianto fisso trasporto	
	Impianti di sicurezza	Impianto antincendio	Impianto messa a terra	Impianto parafulmini	Impianto antifurto / antintrus.						
	Attrezzatura interna	Arredo domestico	Blocco servizi								
	Attrezzatura esterna	Arredo esterno collettivo	Allestim. esterno								

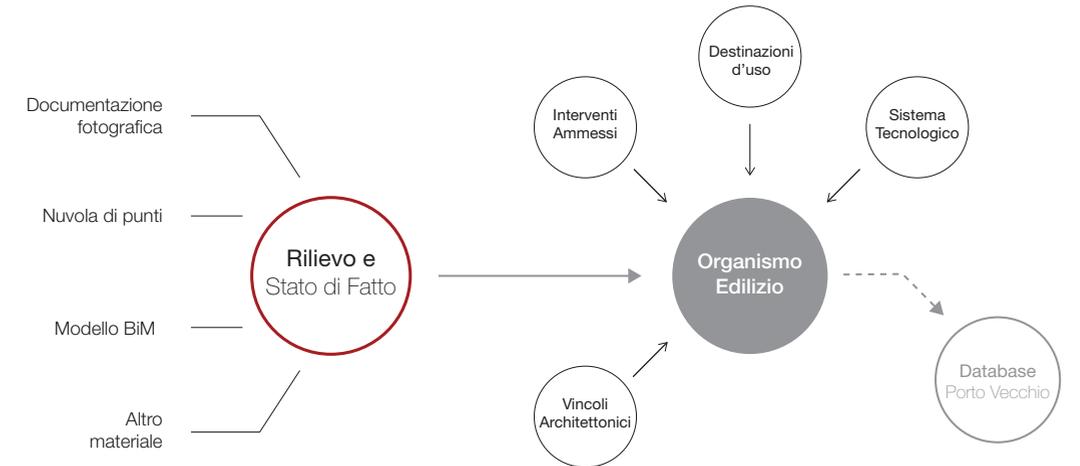
Ciascun elemento tecnico è stato quindi scomposto negli strati che lo formano, identificando, per ciascuno di essi, le caratteristiche dei materiali costituenti.

Il database è stato progettato in modo da poter recepire questo tipo di informazioni secondo una logica di insieme: gran parte degli edifici che si ritrovano nel Porto Vecchio di Trieste presentano soluzioni tecnologiche analoghe, il database cerca di razionalizzare questa condizione, anche alla luce di una possibile ripetibilità degli interventi.

All'interno del database si è previsto di inserire un abaco di elementi tecnici e relative soluzioni tecnologiche, sia a livello di stato di fatto che a livello di ipotesi di intervento su ciascun elemento tecnico. La piattaforma informativa, grazie ai dati raccolti, sarà in grado di effettuare delle analisi puntuali di miglioramento su ciascun elemento tecnico schedato.

**Figura 11** - Classificazione Sistema Tecnologico secondo la Normativa Tecnica UNI-8290

**Figura 12** - Schema concettuale relazioni tra Organismo Edilizio e Sistema Tecnologico



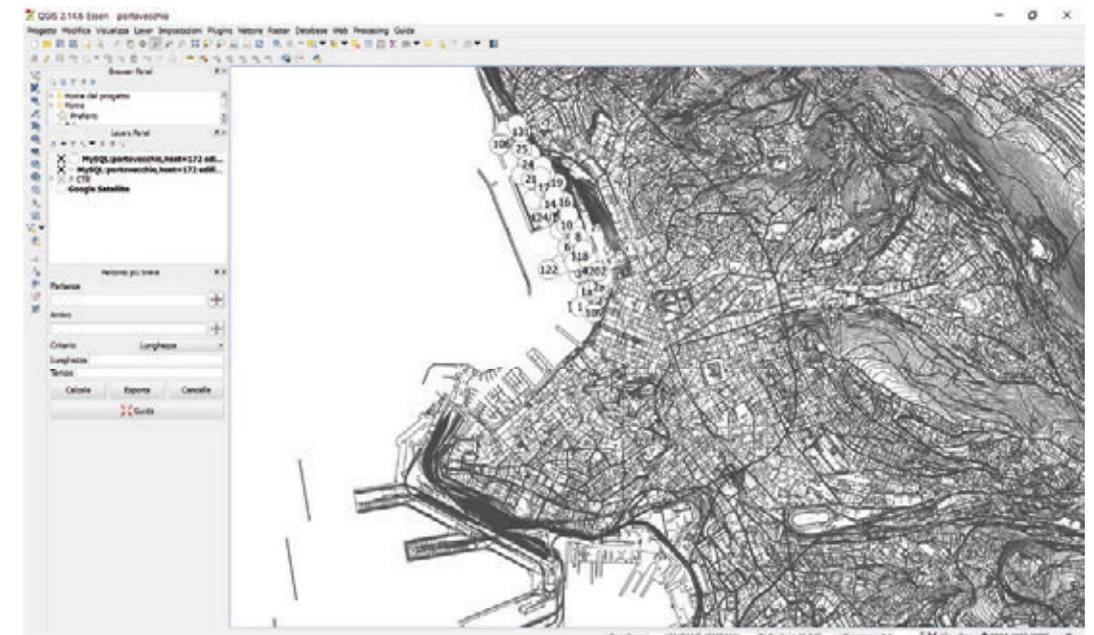
**Figura 13** - Schema concettuale relazioni tra Organismo Edilizio e informazioni relative a rilievo e allo stato di fatto

Ogni organismo edilizio all'interno del database, inoltre, è stato caratterizzato da una scheda che ne riporti tutti gli altri dati attualmente disponibili, quali destinazioni d'uso previste, vincoli della soprintendenza, eventi storici principali e documentazione fotografica. Infine il singolo organismo edilizio è collegabile al modello BIM tramite BIMserver e alla nuvola di punti conseguente al rilievo, se presenti.

Si ottiene, quindi, una struttura relazionale relativamente complessa, che risulta dal quadro di unione delle strutture precedentemente descritte.

### Collegamento a QGIS

Il database è stato sviluppato anche in modo che sia pienamente utilizzabile tramite QGIS, che integra già un modulo MySQL. Per far sì che le informazioni siano utilizzabili anche su QGIS, è stato necessario implementare il tipo di dato POINT, che consente la gestione di coordinate geografiche.



Allo stesso modo è stata preparata una configurazione di QGIS che vede pre-caricato un layer di tipo vettoriale, contenente le informazioni recuperate della Carta Tecnica Regionale, implementato grazie ai file SHP (Shape) forniti dall'IRDAT – Regione Friuli Venezia Giulia.

Tramite il modulo di collegamento MySQL si è quindi collegata la sorgente dati della piattaforma informativa contenente tutte le informazioni relative ai singoli edifici, informazioni che diventano quindi direttamente interrogabili tramite l'interfaccia di QGIS.

Tutte queste operazioni di unificazione di dati in un'unica configurazione di QGIS si sono rilevate complesse, in quanto ogni singola base dati utilizza diversi sistemi di riferimento:

- MySQL: WGS84
- CTR (Shape): ETRS89 / ETRS-TM33
- GM / OSM / BM: WGS84

Si è quindi reso necessario un attento lavoro di importazioni dei dati e normalizzazione dei sistemi di riferimento, reso relativamente semplice grazie agli strumenti offerti da QGIS.

### Collegamento a BIMserver

La Piattaforma Informativa integra, all'interno della propria infrastruttura, anche un'istanza configurata di BIMServer.

La maggioranza dei software BIM attuali consente l'esportazione dei modelli dal formato proprietario al formato standard di interscambio dati IFC<sup>6</sup>, pienamente supportato anche da BIMServer.

I modelli degli edifici sviluppati sono stati esportati in questo specifico formato, e quindi importati all'interno della piattaforma BIMServer. Da ciascuna scheda di edificio è possibile collegare direttamente il corrispondente modello BIM, consultabile direttamente all'interno del browser web, grazie all'estensione BIMSURFER.

Inoltre rimangono a disposizione tutte le altre funzionalità previste da BIMServer, come ad esempio l'esportazione dei dati in formato CityGML<sup>7</sup>, per l'integrazione degli stessi all'interno di piattaforme GIS.

### Risultati ottenuti

La Piattaforma Informativa, ottenuta da quanto descritto in precedenza, è consultabile principalmente tramite l'interfaccia grafica web.

### Vista mappa

Accedendo alla piattaforma tramite browser si presenta la view principale dell'interfaccia di navigazione: la visualizzazione in modalità cartografica, dove è possibile abilitare o disabilitare uno o più layer disponibili, oltre che identificare gli edifici principali, sempre presenti tramite marker circolare contenente il codice di identificazione assegnato.



Figura 14 - Screenshot della visualizzazione mappa Piattaforma Informativa

Ogni singolo marker risulta attivabile al click del mouse. Agendo sul singolo marker, si ottiene una prima interrogazione del database: tramite una scheda in sovrapposizione vengono riportati i dati principali dell'edificio, quali fotografie dello stato di fatto, descrizione generale, dati spaziali e volumetrici.

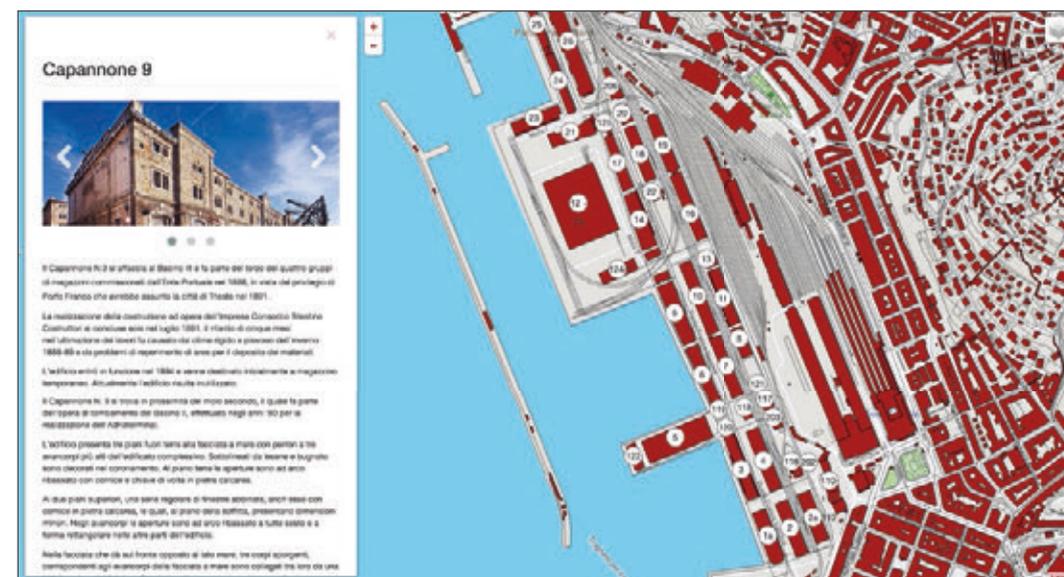


Figura 15 - Screenshot della selezione di un edificio dalla mappa Piattaforma Informativa

Al termine di ciascuna scheda sintetica, riportata in sovrapposizione alla cartografia, si trova un pulsante che consente di accedere alla scheda completa dell'edificio.

6 Industry Foundation Classes, [www.ifcwiki.org](http://www.ifcwiki.org)

7 Geography Markup Language, [www.opengeospatial.org/standards/CityGML](http://www.opengeospatial.org/standards/CityGML).

## Vista lista

Parallelamente alla visualizzazione mappa, è possibile accedere alle schede dettagliate di ciascun fabbricato anche mediante la visualizzazione lista. La visualizzazione lista non consente di posizionare gli edifici geograficamente ma consente una rapida identificazione degli stessi tramite identificativo completo oltre che un'immediata analisi su dati di tipo spaziale (superficie coperta, volume, altezza, ...)

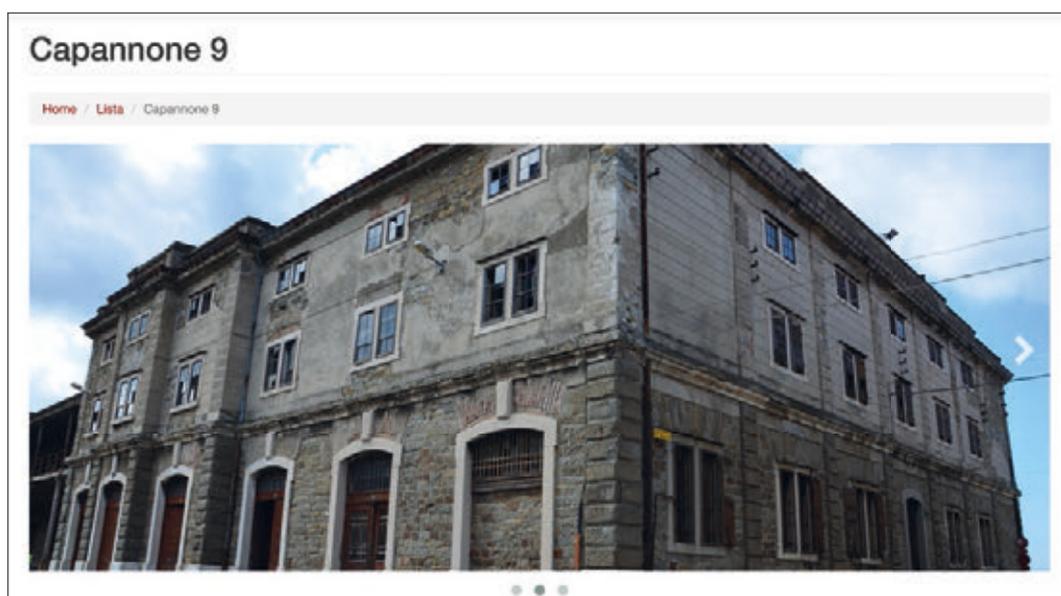
Figura 16 - Screenshot della visualizzazione lista Piattaforma Informativa

Cod.	Denominazione	U.M.I.	Anno costruz.	N.piani	H (m)	Se (mq)	St (mq)	V (mc)
1	Capannone 1			1	6.30	3886.00	3886.00	25570.00
2	Magazzino 2			6	19.20	3200.00	18238.00	61730.00
3	Capannone 3			2	9.90	3542.00	5081.00	29105.00
4	Magazzino 4			6	20.00	3717.00	20189.00	70338.00
5	Capannone 5			1	8.10	7026.00	7026.00	54319.00
6	Capannone 6			3	12.00	3075.00	8898.00	33063.00
7	Magazzino 7			4	14.90	2958.00	11331.00	40620.00
8	Magazzino 8							
9	Capannone 9			3	13.00	3856.00	11505.00	42162.00
10	Magazzino 10			4	16.30	3499.00	13437.00	48628.00
11	Magazzino 11			1	3.05	3162.00	3162.00	8325.00
14	Capannone 14			1	12.00	3642.00	3642.00	38241.00
16	Magazzino 16			1	7.00	2510.00	25510.00	8137.00

## Scheda organismo edilizio

La scheda completa dell'organismo edilizio riporta inizialmente l'identificativo dell'edificio, quindi una breve documentazione fotografica al fine di identificare immediatamente la fisicità dell'oggetto in esame. A seguito della documentazione fotografica introduttiva è riportata una descrizione generale dell'edificio.

Figura 17 - Screenshot della scheda di un edificio Piattaforma Informativa



Proseguendo nella lettura della scheda dell'edificio si ritrovano i dati principali dell'edificio, riportanti numero di piani fuori terra, altezza, superficie coperta, superficie totale e volume. Affianco ai dati principali dell'edificio, si ritrova una sintetica rassegna storica, che aiuta ad identificare gli eventi principali caratterizzanti la storia di quel fabbricato: progettazione, costruzione, eventuali crolli, superfetazioni e cambi di destinazione d'uso. Successivamente viene riportata una descrizione dello stato di consistenza attuale dell'edificio, così come è risultato durante la campagna di rilievo.

Figura 18 - Dati principali dell'edificio visualizzati Piattaforma Informativa

Dati principali		Storia dell'edificio	
Piani fuori terra	3	1889	Realizzazione commissionata dall'Ente Portuale
Altezza	13.00 m <sup>2</sup>	1891	Consegna in ritardo di 5 mesi da parte dell'Impresa Consorzio Triestino Costruttori
Superficie coperta	3856.00 m <sup>2</sup>	1894	Il magazzino entra in funzione
Superficie totale	11505.00 m <sup>2</sup>		
Volume	42162.00 m <sup>3</sup>		

Stato di consistenza	
La struttura si compone di due piani fuori terra e una soffitta.	
Il prospetto verso il mare è caratterizzata da tre corpi aggettanti, uno centrale e due alle estremità, uniti da una pensilina e da un ballatoio disposti rispettivamente al piano terra e al piano superiore.	
La facciata interna è preceduta da una banchina con gradini e rampe utilizzate per lo spostamento delle merci. Il prospetto presenta un pianoterra articolato in una serie di aperture ad arco a tutto sesto, con cornice in chiave di volta, affiancate da pensiline in struttura metallica.	
I piani superiori sono caratterizzati da finestre binate di forma rettangolare, arricchite da cornice in calcare.	
I fori finestra dell'ultimo piano si presentano di dimensioni minori.	
La superficie orizzontale della facciata è ribattata da tre avancorpi inseriti entro lesene a bugnato, e arricchiti da archetti ciechi.	
La pianta dell'edificio è ripartita da colonne e pilastri e alcuni muri di spina; corridoi passanti si trovano tra il lato verso il mare e quello interno. Le scale principali sono collocate al centro della struttura.	

In seguito vengono riassunte le disposizioni del piano regolatore vigente, quindi vincoli della soprintendenza e eventuali deroghe previste. Per ciascun intervento ammesso e ciascuna destinazione d'uso è possibile approfondire semplicemente cliccando sulla voce relativa.

Figura 19 - Dati urbanistici dell'edificio visualizzati Piattaforma Informativa

Disposizione PRG vigente	
<b>Interventi ammessi</b>	
A	Manutenzione ordinaria
B	Manutenzione straordinaria
E	Risanamento conservativo
<b>Destinazioni d'uso</b>	
Nautica da diporto	
Attività produttive legate alla nautica	
Commerciale al minuto	
Espositiva	
Ricettiva	
Servizi al diporto	
<b>Parametri urbanistici</b>	
Altezza massima	esistente
Volume massimo	esistente
Parcheggi pertinenziali	Il calcolo dei posti macchina utilizza, in funzione della destinazione funzionale dell'U.M.I., le prescrizioni della normativa vigente rapportate al Volume equivalente dell'edificio di pertinenza. I posti macchina vanno individuati nel parcheggio di servizio U.M.I.8 (Pe 8) previsto nell'elaborato grafico allegato 2.6.1 - Spazi, aree di servizio ed attrezzature di uso collettivo - Sistema della sosta.
Prescrizioni particolari	La funzione direzionale non può occupare, in tutto l'edificio, più del 20% della superficie del piano terra. La funzione commerciale al minuto può occupare, in tutto l'edificio, più del 80% della superficie del piano terra.
<b>Vincoli e prescrizioni</b>	
Vincolo diretto D.Lgs. 42/04	

Nella scheda di ciascun fabbricato viene data molta importanza al sistema tecnologico: una tabella riporta gli elementi tecnici classificati secondo la normativa UNI 8290, per ciascuno dei quali vengono riportati la soluzione tecnologica e le caratteristiche tecniche principali.

**Figura 20** - Sezione dedicata al sistema tecnologico dell'edificio  
Piattaforma Informativa

Sistema tecnologico					
Subsistema	Unità tecnologica	Elemento tecnico	Soluzione tecnologica	Spessore	Trasmittanza
Chiusure	Chiusure verticali	Pareti perimetrali verticali	Parete in pietra arenaria	0,700 m	1,516 W/m <sup>2</sup> K
Partizioni intono	Partizioni interne orizzontali	Solai	Solaio tipo Mohrner	0,000 m	0,000 W/m <sup>2</sup> K
Chiusure	Chiusure orizzontali superiori	Coperture	Copertura tipo Holzmatt	0,190 m	2,703 W/m <sup>2</sup> K

Cliccando su ciascun record della tabella si accede ad un dettaglio dell'elemento tecnico selezionato, dove vengono esaminati i singoli strati costituenti la soluzione tecnologica con i relativi dati caratterizzanti.

Sistema tecnologico					
Subsistema	Unità tecnologica	Elemento tecnico	Soluzione tecnologica	Spessore	Trasmittanza
Chiusure	Chiusure verticali	Pareti perimetrali verticali	Parete in pietra arenaria	0,700 m	1,516 W/m <sup>2</sup> K

Materiale	Spessore	Conducibilità
1 Intonaco di calce e gesso	0,015 m	0,700 W/mK
2 Pietra arenaria (marna)	0,670 m	1,500 W/mK
3 Intonaco di calce e gesso	0,015 m	0,700 W/mK

Questa soluzione tecnologica caratterizza gran parte delle pareti perimetrali verticali degli edifici del Porto Vecchio. Generalmente sullo strato interno ed esterno della parete è presente uno strato di intonaco. La finitura esterna del piano terra e rialzato - in caso di presenza di periron - di tutti i Magazzini e Capannoni, risultano con finitura esterna priva di intonaco, quindi a pietra a vista, per motivi architettonici. Non essendo presente l'intonaco a formare uno strato protettivo è presente un avanzato stato di degrado: i blocchi di pietra arenaria risultano in parte consumati e a volte danneggiati dall'azione della Bora, oltre ad essere ricoperti da fuliggine e smog, quasi certamente originata dal fumo delle locomotive a carbone che movimentavano materiali e merci all'interno del Porto Vecchio.

Come evidenziato in fase di ristrutturazione del Magazzino 26, questo strato di inquinamento ha portato alla creazione di una patina molto coesa e di difficile rimozione tramite l'ausilio di strumenti meccanici manuali.

Subsistema	Unità tecnologica	Elemento tecnico	Soluzione tecnologica	Spessore	Trasmittanza
Partizioni interna	Partizioni interne orizzontali	Solai	Solaio tipo Mohrner	0,000 m	0,000 W/m <sup>2</sup> K
Chiusure	Chiusure orizzontali superiori	Coperture	Copertura tipo Holzmatt	0,190 m	2,703 W/m <sup>2</sup> K

Nel caso si tratti di elementi tecnici relativi particolari subsistemi, ovvero chiusure e partizioni, è possibile dettagliare ulteriormente l'analisi, accedendo ad una scheda che riporta i vari interventi migliorativi previsti. Cliccando sul pulsante "interventi di miglioramento" viene riportata in sovrapposizione una scheda di confronto, sulla sinistra è sempre presente la soluzione tecnologica di partenza, mentre sulla destra viene visualizzato l'intervento di miglioramento, selezionato dalla tendina presente superiormente. Per ciascun intervento di miglioramento viene riportata la stratigrafia relativa, oltre a tre indicatori, due di tipo empirico che ne delineano la compatibilità rispetto ai vincoli e la reversibilità, mentre il terzo indicatore aiuta a valutare la qualità dell'intervento in modo preciso rispetto al miglioramento del comportamento energetico (trasmittanza).

**Figura 21** - Dettaglio di un singolo elemento tecnico  
Piattaforma Informativa

**Parete in pietra arenaria**

Intervento di miglioramento: Intonaco esterno termoisolante, strato termoisolante interno e controparete

Materiale	Spessore	Conducibilità
1 Intonaco di calce e gesso	0,015 m	0,700 W/mK
2 Pietra arenaria (marna)	0,670 m	1,500 W/mK
3 Intonaco di calce e gesso	0,015 m	0,700 W/mK
<b>Trasmittanza</b> 1,516 W/m <sup>2</sup> K		

Materiale	Spessore	Conducibilità
1 Intonaco termoisolante	0,015 m	0,080 W/mK
2 Pietra arenaria (marna)	0,670 m	1,500 W/mK
3 EPS	0,120 m	0,040 W/mK
4 Cartongesso	0,030 m	0,200 W/mK
<b>Trasmittanza</b> 0,254 W/m <sup>2</sup> K		

Competibilità: Media | Reversibilità: Media | Miglioramento: +496%

**Figura 22** - Visualizzazione di confronto e valutazione proposte di intervento su elemento tecnico  
Piattaforma Informativa

In chiusura alla scheda dettagliata dell'edificio vengono riportati la documentazione fotografica completa, il collegamento all'eventuale modello BIM e nuvola di punti, quindi, concludendo, la lista degli allegati che possono comprendere planimetrie ed altri elaborati grafici, documentazione relativa ai vincoli architettonici e, più in generale, altra documentazione non contenuta nella scheda stessa.

**Documentazione fotografica**

**Modello BIM**

<http://172.30.227.232:8080/bimserver/?page=Project&pid=196609&tab=3dview>

**Allegati**

- magazzino-9-catastale (pdf)
- magazzino-9-decreto (pdf)

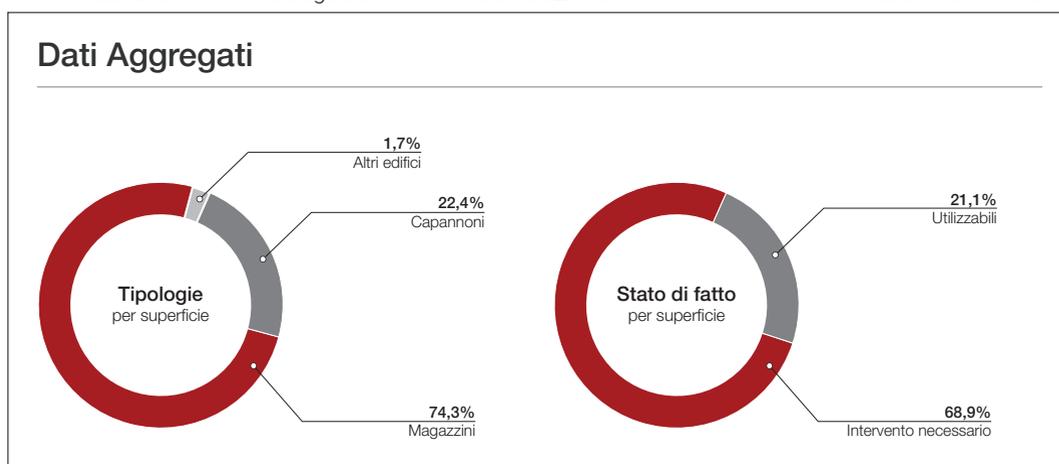
**Figura 23** - Foto, modello BIM e allegati dell'edificio  
Piattaforma Informativa

## Vista dati aggregati

Tramite questa vista si accede ad una panoramica complessiva dei fabbricati presenti in Porto Vecchio. In questa vista della Piattaforma Informativa è possibile accedere facilmente a dati aggregati quali:

- Distribuzione delle tipologie di edifici (Magazzini, Capannoni, Altro...)
- Percentuale di edifici da ristrutturare rispetto ai ristrutturati
- Utilizzo degli edifici
- Distribuzione delle concessioni
- Quadro generale zonizzazione e destinazioni d'uso
- Distribuzione del sistema di vincoli presente
- Modalità di intervento sugli edifici e loro distribuzione

Figura 24 - Visualizzazione dati aggregati Piattaforma Informativa

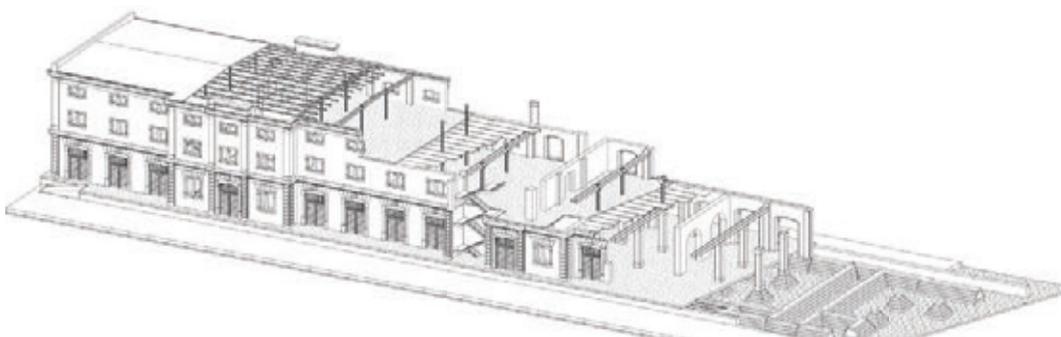


## Modello BIM

Dalla scheda di ogni singolo edificio, ove disponibile, è possibile accedere alla consultazione del modello BIM del fabbricato.

Il modello BIM viene restituito direttamente su browser web grazie all'uso della libreria BIMSurfer, integrata all'interno delle piattaforma BIMServer. Inoltre, tramite BIMServer, è anche possibile consultare eventuali revisioni del modello stesso, caricarne di nuove ed esportare i dati nei vari formati di interscambio, come IFC o CityGML.

Figura 25 - Spaccato assonometrico estratto dal modello BIM Magazzino 10



Interrogando direttamente il modello tramite BIMSurfer è anche possibile identificare quelli che sono gli elementi costruttivi componenti l'edificio, così da poter immediatamente incrociare i dati con quelli contenuti all'interno della Piattaforma Informativa.

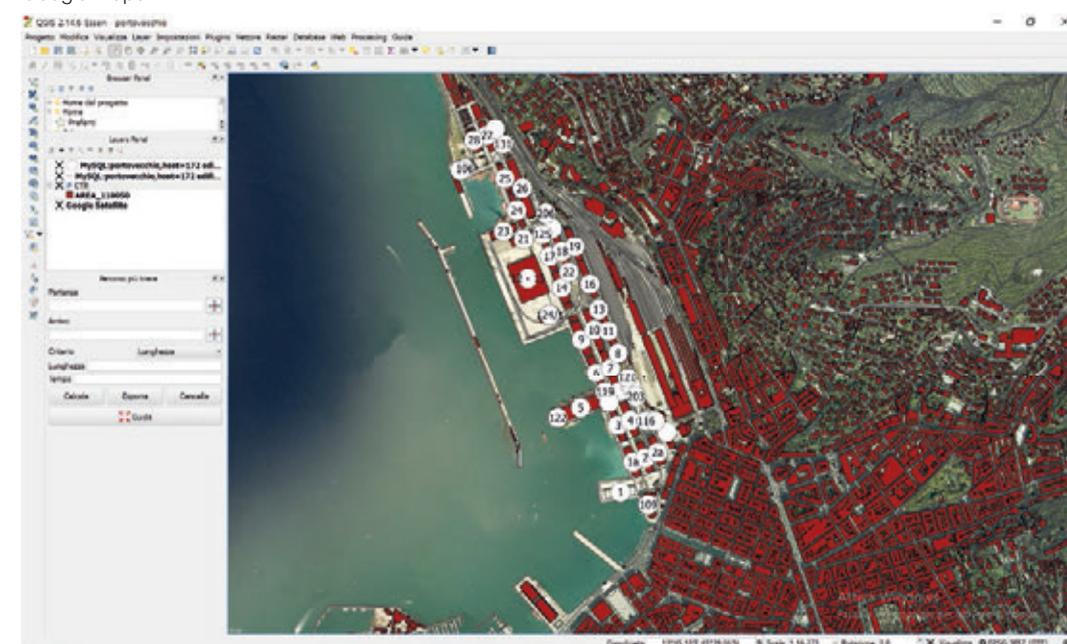
## Nuvola di punti

Se esistente, direttamente dalla scheda dell'edificio è anche possibile accedere alla visualizzazione della nuvola di punti, grazie all'integrazione della libreria Potree. Sulla nuvola di punti di ciascun fabbricato rilevato è possibile effettuare delle misurazioni direttamente da browser, oltre che valutare a grandi linee lo stato conservativo dell'edificio.

## Integrazione con QGIS

L'integrazione sviluppata con QGIS permette di interrogare in qualsiasi momento il database direttamente, tramite l'interfaccia del software che, tramite il modulo di interfacciamento MySQL, garantisce l'integrità dei dati tra piattaforma informativa e applicativo GIS.

Figura 26 - Implementazione dei dati piattaforma informativa su base CTR e Google Maps



Grazie a questo tipo di configurazione, risulta relativamente semplice aggiungere ulteriori layer alla cartografia così ottenuta, tra tutti si citano i vari layer di tipo raster resi disponibili (Google Maps, Open Street Maps e Bing Maps), oltre che altre eventuali carte tematiche anche in formato vettoriale.

L'integrazione sviluppata si presta a elaborazioni a livello cartografico, utili a chi affronta il tema anche da un punto di vista, ad esempio, dello sviluppo delle infrastrutture tecnologiche dell'area, permettendo operazioni come la misura di distanze o il calcolo di percorsi più brevi, previsti tra gli strumenti standard di QGIS.

Inoltre, essendo QGIS un applicativo Open Source, le possibilità di integrazione e sviluppo risultano potenzialmente illimitate.

## Esempio di utilizzo

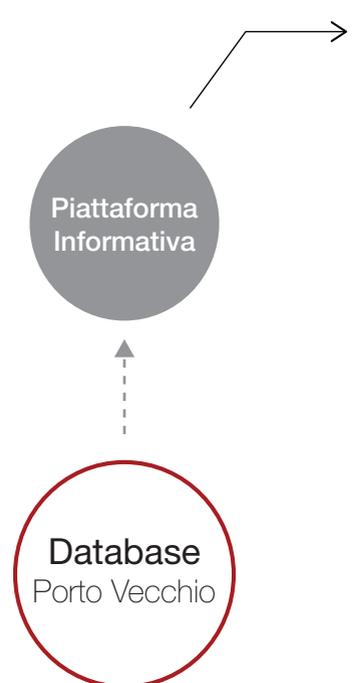
Questa breve appendice alla trattazione propone un esempio pratico di interrogazione della banca dati realizzata, così da facilitare la comprensione del funzionamento della Piattaforma Informativa.

L'esempio di utilizzo prevede di adoperare la Piattaforma Informativa al fine di valutare la superficie a disposizione nel Porto Vecchio, ovvero sulle coperture degli edifici, per l'installazione di coperture a verde.

L'analisi proposta considera di partire con l'identificazione delle tipologie di edifici più adeguate all'installazione di coperture a verde, ovvero quelle che prevedono una copertura piana o simile, per poi estrapolare la superficie coperta degli stessi. Sulla superficie ottenuta, si andrà quindi ad applicare un coefficiente di riduzione così da identificare la superficie effettivamente utilizzabile della copertura.

## Interrogazione del Database

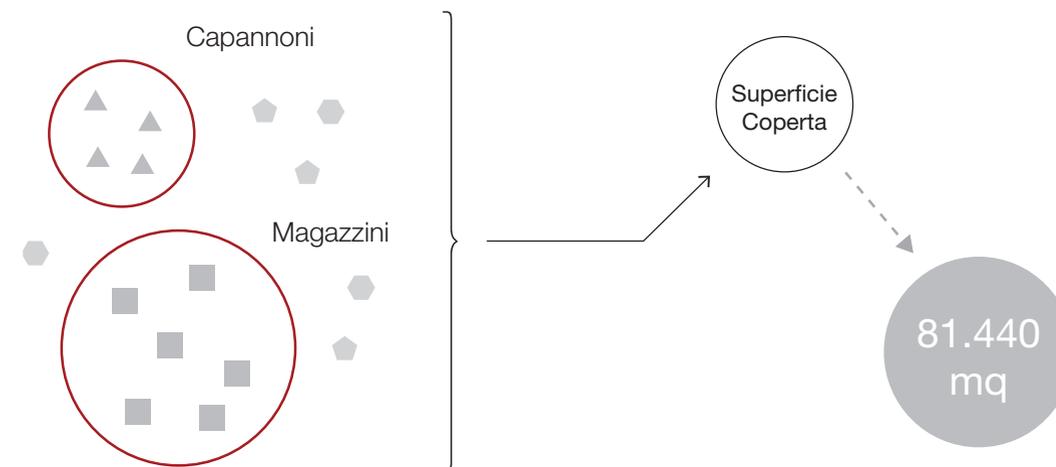
Con l'obiettivo di estrapolare la superficie di copertura degli edifici, si procede immediatamente con l'interrogazione del database, andando a estrapolare i dati di ciascun edificio. Tra i dati di maggior interesse ai fini dell'analisi si evidenziano l'identificativo dell'edificio stesso, la superficie coperta e la tipologia di edificio.



ID	Edificio	Tipologia	Superficie Coperta
1	Capannone 1	Capannone	3.866 m <sup>2</sup>
132	Sottostazione Elettrica	Altro	481 m <sup>2</sup>
1A	Capannone 1A	Capannone	3.463 m <sup>2</sup>
2	Capannone 2	Magazzino	3.200 m <sup>2</sup>
2A	Magazzino 2A	Magazzino	2.877 m <sup>2</sup>
118	Amministrazione	Altro	538 m <sup>2</sup>
3	Capannone 3	Capannone	3.542 m <sup>2</sup>
131	Centrale Idrodinamica	Altro	1.623 m <sup>2</sup>
4	Magazzino 4	Magazzino	3.717 m <sup>2</sup>
5	Capannone 5 (*)	Capannone	7.026 m <sup>2</sup>
6	Capannone 6	Capannone	3.075 m <sup>2</sup>
7	Magazzino 7	Magazzino	2.958 m <sup>2</sup>
9	Capannone 9	Capannone	3.856 m <sup>2</sup>

Sui risultati ottenuti si vanno a identificare gli edifici che meglio potrebbero ospitare una copertura a verde, ovvero quelli che presentano una copertura piana o semi-piana. Considerato che Magazzini e Capannoni presentano tali caratteristiche, è ipotizzabile prendere in considerazione solo tali edifici, andando quindi a filtrare i risultati ottenuti.

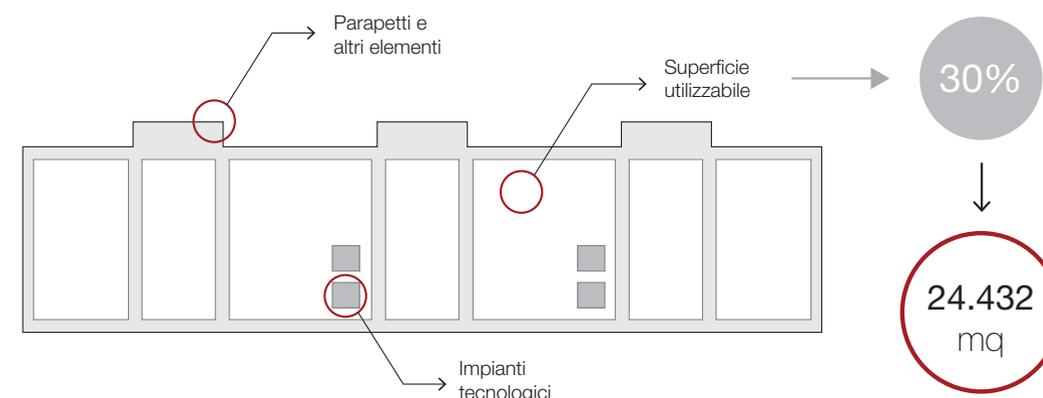
**Figura 27** - Rappresentazione schematica del processo di interrogazione del database per l'estrapolazione dei dati richiesti sugli edifici.



**Figura 29** - Schematizzazione del processo di selezione delle tipologie di edifici per determinare la superficie coperta totale.

## Elaborazione dati

Per identificare la superficie potenzialmente utilizzabile per l'implementazione di coperture verdi su Magazzini e Capannoni, risulta necessario considerare l'effettiva porzione di area utilizzabile, ovvero quella non coperta da elementi tecnici già presenti, come parapetti e elementi di decoro, oltre che eventuali impianti tecnologici che verrebbero installati a seguito di opere di recupero degli edifici.



**Figura 28** - Schema rappresentante la copertura tipo di un Capannone/Magazzino, con l'evidenza della superficie effettivamente utilizzabile ai fini dell'installazione di una copertura verde.

Ad una prima analisi, con buona approssimazione, si può considerare tale porzione pari al 30% della superficie di copertura. Si procede quindi con l'applicare tale riduzione ai dati ottenuti in precedenza, ottenendo quindi il dato per ciascun edificio e il dato aggregato, che rappresenta la potenziale superficie a destinazione copertura verde nel Porto Vecchio di Trieste.

## Analisi dei risultati

Sul dato aggregato ottenuto si potrebbero svolgere quindi ulteriori analisi, nel tentativo di identificare le esternalità positive generate da un intervento di questo tipo, come ad esempio l'effetto del volano idraulico, piuttosto che la riduzione dell'isola di calore urbana.

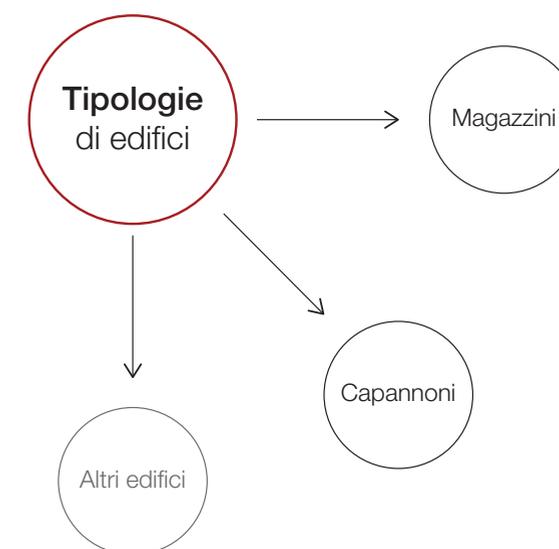
Tali argomenti saranno trattati più nel dettaglio nel penultimo paragrafo del capitolo conclusivo del testo.

# Linee Guida per il recupero degli edifici

## Classificazione degli edifici

La maggior parte degli edifici del Porto Vecchio di Trieste furono realizzati al fine di gestire lo stoccaggio e la movimentazione delle merci in transito. Considerata la dimensione del Porto, fu necessario realizzare tutti i fabbricati destinati ad ospitare le attività di contorno, quali uffici doganali, mense, circoli dopolavoro, trasformazione e produzione energia.

Considerata la dimensione dell'area in esame e la rispettiva numerosità di immobili, prima di affrontare la stesura della proposta per le Linee Guida finalizzate al recupero del Porto, è risultato importante identificare degli elementi tipologici di base degli edifici, per poi poter procedere con una classificazione tipologica dei fabbricati, al fine di identificare delle azioni comuni di recupero ad elevata ripetibilità.



La maggior parte degli edifici presenti nell'area del Porto Vecchio afferrisce alla tipologia Magazzino e Capannone. Si contano, infatti, 38 fabbricati che, secondo Antonella Caroli <sup>1</sup>, possono essere suddivisi in tre categorie omogenee:

- a un solo piano fuori terra, ovvero la costruzione prototipo più antica (1, 1a, 3 e 11);
- a due o tre piani fuori terra con cantina e soffitta, con ballatoi tra gli avancorpi sostenuti, sui fronti strada interni, da colonnine in ghisa (6, 7, 9, 10, 17, 18, 19, 20, 21, 24, 25, 26);
- a quattro piani fuori terra (poggianti su basamenti storici) con cantina, pianoterra e 4 piani superiori con ballatoi, di costruzione più recente (2, 2a, 4).

I numeri mancanti corrispondono ad edifici che sono stati demoliti, soprattutto in occasione della costruzione dell'Adria Terminal.

<sup>1</sup> Antonella Caroli, I Lagerhäuser di Trieste in L'evoluzione delle strutture portuali

Edificio	Anno	Altezza	Numero di Piani	Superficie Coperta	Volume
Capannone 1	1904	6,30 m	1	3.866 m <sup>2</sup>	25.570 m <sup>3</sup>
Capannone 1A	1897	6,00 m	1	3.463 m <sup>2</sup>	19.800 m <sup>3</sup>
Magazzino 2	1899	19,20 m	6	3.200 m <sup>2</sup>	61.730 m <sup>3</sup>
Magazzino 2A	1893	17,86 m	6	2.877 m <sup>2</sup>	54.808 m <sup>3</sup>
Capannone 3	1897	9,90 m	2	3.542 m <sup>2</sup>	29.105 m <sup>3</sup>
Magazzino 4	1906	20,00 m	6	3.717 m <sup>2</sup>	70.335 m <sup>3</sup>
Capannone 5 (*)	1976	8,10 m	1	7.026 m <sup>2</sup>	54.319 m <sup>3</sup>
Capannone 6	1888	12,00 m	3	3.075 m <sup>2</sup>	33.063 m <sup>3</sup>
Magazzino 7	1888	14,90 m	4	2.958 m <sup>2</sup>	4.062 m <sup>3</sup>
Capannone 9	1890	13,00 m	3	3.856 m <sup>2</sup>	42.162 m <sup>3</sup>
Magazzino 10	1889	16,30 m	4	3.499 m <sup>2</sup>	48.628 m <sup>3</sup>
Magazzino 11 (*)	1861	3,05 m	1	3.182 m <sup>2</sup>	3.182 m <sup>3</sup>
Magazzino 12-13 (*)	1990	9,20 m	1	16.000 m <sup>2</sup>	147.200 m <sup>3</sup>
Capannone 14 (*)	1950	12,00 m	1	3.642 m <sup>2</sup>	38.241 m <sup>3</sup>
Magazzino 16 (*)	1984	7,00 m	1	2.510 m <sup>2</sup>	8.137 m <sup>3</sup>
Magazzino 17	1888	12,00 m	3	2.165 m <sup>2</sup>	25.309 m <sup>3</sup>
Magazzino 18	1893	15,50 m	4	2.579 m <sup>2</sup>	34.582 m <sup>3</sup>
Magazzino 19	1938	17,00 m	4	2.772 m <sup>2</sup>	40.667 m <sup>3</sup>
Magazzino 20	1938	15,60 m	4	930 m <sup>2</sup>	12.258 m <sup>3</sup>
Magazzino 21	1889	9,00 m	3	3.100 m <sup>2</sup>	24.000 m <sup>3</sup>
Capannone 23 (*)	1951	9,00 m	1	2.980 m <sup>2</sup>	24.000 m <sup>3</sup>
Capannone 24	1890	12,00 m	3	2.099 m <sup>2</sup>	19.216 m <sup>3</sup>
Magazzino 25	1890	12,00 m	3	1.676 m <sup>2</sup>	19.000 m <sup>3</sup>
Magazzino 26 (**)	1890	16,60 m	5	6.187 m <sup>2</sup>	112.069 m <sup>3</sup>
Magazzino 27 (*)	1970	7,50 m	1	3.525 m <sup>2</sup>	24.600 m <sup>3</sup>
Magazzino 28 (*)	1980	7,00 m	1	2.994 m <sup>2</sup>	20.950 m <sup>3</sup>

(\*) Edifici demoliti e ricostruiti di recente o comunque irrimediabilmente modificati rispetto agli originali

(\*\*) Il Magazzino 26 è stato di recente riqualificato tramite un'opera di restauro conservativo

## Magazzini e Capannoni

Si ritiene che la suddivisione nelle tre categorie proposte dalla Caroli risulti interessante, soprattutto perché colloca i manufatti secondo un orizzonte temporale di realizzazione. Parallelamente alla classificazione proposta, diventa importante evidenziare quelli che sono i tratti distintivi che differenziano i Capannoni dai Magazzini.

Tabella 1 - Dati principali di Magazzini e Capannoni

La differenza tra queste due tipologie di edifici non è chiara, ma si è giunti alla conclusione che i Magazzini, come dice anche la parola stessa, siano stati progettati principalmente per lo stoccaggio delle merci; questi, infatti, risultano caratterizzati da almeno tre o quattro piani fuori terra e dalla presenza di un piano di accesso rialzato rispetto al piano stradale (il cosiddetto *Perron*) necessario alla movimentazione delle merci direttamente dai vagoni ferroviari.

Al contrario, i Capannoni, risultano caratterizzati da un accesso raso strada, da due o tre piani fuori terra e spazi interni in genere maggiormente ampi e flessibili, il che li rendeva più adatti ad attività di vario genere, siano esse di stoccaggio merci o di lavorazione delle stesse. Ad ogni modo, queste due tipologie di edifici, presentano caratteristiche formali e tecnologiche molto simili tra loro, questo consente una certa ripetibilità degli interventi proposti nelle Linee Guida; per questo motivo, Magazzini e Capannoni, costituiscono il tema principale del presente lavoro. Per tutti gli altri edifici, più eterogenei in termini formali e di destinazioni d'uso originaria, va invece svolta un'analisi puntuale, caso per caso.



Figura 1 - Differenze principali tra magazzini e capannoni

La gran parte dei Magazzini e dei Capannoni mantiene ancora le caratteristiche tecnico costruttive e formali della fine del XIX Secolo, ad esclusione di eventuali interventi di manutenzione o superfetazione. Alcuni, invece, sono stati demoliti per essere sostituiti con manufatti più recenti, spesso di scarso interesse architettonico e tecnico costruttivo, o irrimediabilmente modificati, come nel caso del Magazzino 28 che, di originale, mantiene solo una porzione di facciata.

## Varchi doganali

Arrivando dalla Stazione ferroviaria, all'ingresso si incontrano i varchi doganali, un grande complesso monumentale in pietra bianca.

La struttura, sorta per separare gli spazi portuali, in regime di Punto Franco, da quelli urbani, ha segnato il confine che ha generato per più di un secolo la separazione della Città dal Porto.

La quinta architettonica, ideata da Giorgio Zaninovich, architetto attivo a Trieste fra il 1902 e il 1923 e direttore presso l'Ufficio Tecnico del Governo marittimo dal 1910 al 1914, conferma la ricerca progettista che, per conferire un'immagine monumentale, utilizza elementi classici come le paraste ed archi a tutto sesto, rievocando la morfologia degli archi di trionfo a tre fornici con balaustre di coronamento a motivi circolari e stella raggiata con arco a tutto sesto al centro, e lateralmente ad arco ribassato.

**Figura 2** - Varchi doganali, ingresso lato Stazione Ferroviaria  
*Il Porto Vecchio di Trieste, Autorità Portuale di Trieste*



Nella parte alta, sulle balaustre dei portali centrali, si nota il motivo stellare che viene replicato nella struttura decorativa delle porte di ferro e vetro e che si ritrova in diverse altre costruzioni portuali progettate dall'architetto Zaninovich.

La parete poggia su uno zoccolo di pietra bianca calcarea. Coppie di lesene, leggermente sporgenti nei corpi centrali delle aperture, scandiscono le ripartizioni geometriche del lungo fronte che presenta solo quattro varchi: mancherebbe, infatti, il quinto varco a due porte, nella parte terminale sinistra, che rispetterebbe l'impostazione simmetrica progettuale. Il varco collocato all'estrema destra si differenzia dagli altri per l'inclinazione di circa quarantacinque gradi rispetto all'asse.

Tra i varchi, immediatamente dietro la recinzione, si trova l'edificio della Dogana, originariamente destinata in parte ad uffici per gli spedizionieri, costruita nel secondo decennio del Novecento secondo elementi decorativi classici: l'edificio a piano unico, pianta rettangolare, presenta l'unica facciata visibile a mare con un ampio avancorpo centrale, mentre la facciata posteriore è completamente nascosta dal muro di cinta.

Immediatamente dopo i varchi di ingresso si incontrano alcuni locali che, negli anni più recenti, sono stati utilizzati come uffici postali portuali.



**Figura 3** - Edificio ex-mensa, Casa degli operai  
*Il Porto Vecchio di Trieste, Autorità Portuale di Trieste*

## Edificio ex-mensa, Casa degli operai

L'edificio risulta a pianta rettangolare, con chiare note stilistiche che richiamano caratteri tipici del Liberty, l'edificio presenta un solo piano fuori terra, con un corpo centrale, più alto, che dal lato mare caratterizza la facciata principale con un porticato. Ai lati, due corpi più bassi, disposti intorno a due chiostre che consentono l'illuminazione e la ventilazione degli ambienti, furono destinati per lungo tempo, nella sala centrale, al ristoro dei dipendenti e degli operatori portuali, ad uffici dell'amministrazione e ad uffici di spedizione. Nel corpo a destra si trovano sale di riposo, docce e spogliatoi per i lavoratori portuali, e a sinistra un ambulatorio medico.

La struttura in calcestruzzo armato presenta, tra gli elementi di notevole pregio, nervature armate di irrigidimento della copertura del salone centrale, che danno origine ad un elegante soffitto cassettonato.

Anche la progettazione di questo edificio può essere ricondotta all'architetto Zaninovich, non con certezza assoluta dato che l'attività presso la direzione tecnica del porto non è sempre ben documentata e in quanto i disegni non portano la sua firma. L'opera di Zaninovich è comunque riconoscibile, in base alle testimonianze raccolte nel corso degli anni e all'analisi dei contenuti stilistici che gli sono attribuite con certezza.

## Edificio ex-locanda

La costruzione dell'ex Locanda, allora detta Nuovo refettorio, si rese necessaria per ampliare i servizi di ristoro a supporto delle maestranze portuali.

L'edificio dell'ex-locanda si trova lungo la strada principale, all'altezza del Molo I, dietro al Magazzino 26, e accanto ad altre costruzioni minori adibite a ricovero per automezzi.



Anch'essa fu costruita su progetti dell'architetto Giorgio Zaninovich nel primo ventennio del Novecento, per essere poi ampliata nel 1928 su progetto dell'ingegner Suppani, direttore generale dei Magazzini Generali di Trieste, con la realizzazione del locale mensa, di quattro locali da sei letti adibiti a dormitorio, e di un locale per servizi.

La struttura perimetrale presenta uno zoccolo in mattoni che corre lungo i fronti, mentre gli spigoli, che presentano un'intonacatura a fasce, mettono in risalto i diversi volumi.

La facciata presenta un corpo centrale a due piani, con tetto a falde, e due ali laterali a un solo piano fuori terra, leggermente arretrate rispetto al corpo centrale, precedute da una pensilina sostenuta da colonnine in legno.

La porta d'ingresso è sottolineata da una doppia cornice, di cui una in bugnato, mentre le finestre del corpo centrale hanno una cornice superiore e grate in ferro, con le estremità piegate a spirale.

All'interno, al pianoterra, si apre un atrio rettangolare che collega la cucina e le sale da pranzo, mentre al primo piano trovano posto il dormitorio e i servizi.

### La casa dell'amministrazione

Edificata alla fine dell'Ottocento, la Nuova casa dell'amministrazione fu eseguita dal Consorzio triestino costruttori tra il 1889 e il 1892, con funzioni logistico - amministrative per le operazioni portuali.

Secondo il progetto originario, l'edificio si presentava con due piani fuori terra e un sottotetto, ma, non appena iniziati i lavori per le fondazioni la direzione decise un ampliamento con l'aggiunta di un ulteriore piano per accogliere gli uffici ferroviari.

Il nuovo edificio fu consegnato il 24 marzo 1891, dopo ulteriori varianti in corso d'opera, in quanto la nuova organizzazione amministrativa della neo-istituita Azienda dei Magazzini Generali richiese alcuni nuovi uffici e, considerata anche la sua destinazione a sede della presidenza, fu necessario dare decoro alle sale interne.

Nel 1926 il progetto di restauro e ampliamento dell'edificio contemplava la parziale sopraelevazione di un piano nella parte centrale del fabbricato.

Attualmente, il fabbricato conserva l'impianto originario e le opere di sopraelevazione insieme ad arredi, infissi di legno a tre intelaiature, porte, pavimentazioni e altri dettagli decorativi dell'epoca.

**Figura 5** - Edificio dell'amministrazione  
*Il Porto Vecchio di Trieste,  
Autorità Portuale di Trieste*



L'edificio è a pianta rettangolare, con la scala di accesso che si affaccia su ogni piano a un corridoio centrale dal quale si accede alle singole stanze.

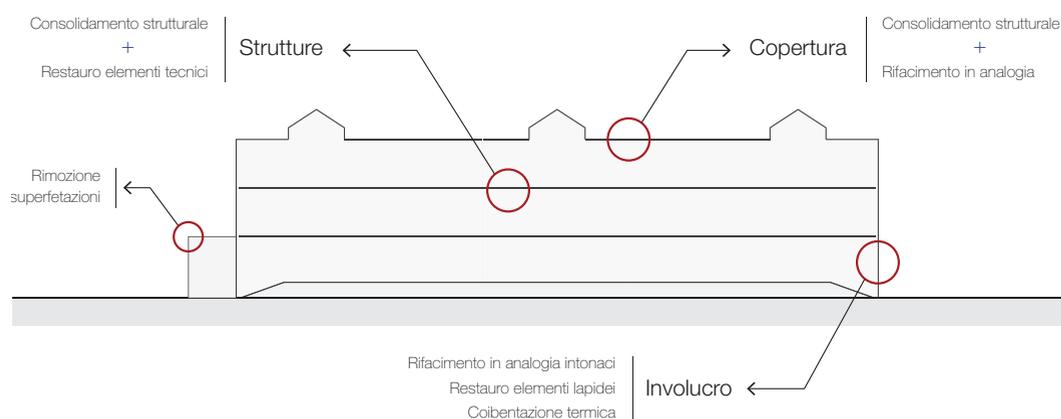
I due prospetti, verso mare e verso città, si differenziano notevolmente e mostrano in modo evidente le aggiunte e le trasformazioni avvenute nel tempo.

## Proposte di intervento sugli edifici

Nel rispetto dei valori storico - architettonici, e con l'obiettivo di integrare sistemi tecnologici infrastrutturati, il lavoro di ricerca si prefigge l'individuazione di indirizzi generali per gli interventi di recupero. Le azioni future devono prevedere, in linea di principio, il recupero di gran parte delle parti storiche, siano esse architettoniche, che impiantistiche e strutturali, e l'adeguamento delle volumetrie alle vigenti normative tecniche.

Le azioni che compongono gli interventi previsti possono essere sinteticamente suddivise in:

- eliminazione di tutti gli elementi incongrui costituenti superfetazioni, come tamponamenti ed elementi edilizi di epoca successiva;
- consolidamento strutturale della copertura e ripristino strutturale delle parti lignee;
- rifacimento, in analogia all'esistente, dei manti di copertura;
- rifacimento, in analogia all'esistente, degli intonaci esterni e restauro conservativo degli elementi lapidei esterni.



Al fine di redarre delle Linee Guida per un recupero sostenibile dell'edificio ad alta valenza storico architettonica del Porto Vecchio di Trieste, spesso è stato preso come riferimento l'intervento già portato a termine sul Magazzino 26. L'intervento di restauro dell'imponente fabbricato, sviluppato nell'ambito di Porto Città, ha seguito un approccio filologico e, di fatto, costituisce un progetto pilota nell'ambito del recupero e riuso degli altri edifici del Porto Vecchio di Trieste.

### Strutture portanti

Le proposte di intervento avanzate per le strutture portanti sono da intendersi come preliminari. Nelle successive fasi progettuali sarà quindi necessario sviluppare una precisa indagine geologica e, conseguentemente, le scelte di carattere geotecnico e di definizione e ruoli (nelle varie fasi di progetto) degli elementi tecnici concorrenti alla stabilità strutturale complessiva dell'edificio.

**Figura 6** - Schema riassuntivo degli interventi principali proposti sugli edifici

### Strutture di fondazione

Per quel che riguarda gli interventi sulle strutture di fondazione, si rimanda alla necessità di un'analisi approfondita dello stato di fatto tramite indagini specifiche caso per caso, in particolare per quel che riguarda la natura del terreno.

Riguardo la fondazione di tipo continuo, si può, sin d'ora, prevedere la necessità di procedere con delle opere di consolidamento e allargamento della base, così da migliorare il complessivo comportamento statico.

Riguardo, invece, le fondazioni di tipo puntuale, si richiama l'importanza di procedere con la realizzazione di cordoli di collegamento in calcestruzzo, che consentano di garantire una collaborazione strutturale tra l'insieme degli elementi del sistema.

Si rimanda, comunque, ad una valutazione più precisa, l'eventuale possibilità di utilizzare pali o micropali al fine di consentire il trasferimento delle sollecitazioni su strati profondi, anche in relazione alle citate indagini di carattere geologico.

### Strutture puntuali in elevazione verticale

Relativamente alle strutture puntuali in elevazione verticale, risulta importante distinguere le strutture del piano terra degli edifici, costituite da pilastri realizzati in blocchi di pietra arenaria o calcarea, e quelle dei piani superiori, costituite da colonne a profilo circolare o a doppia T in ghisa.

**Figura 7** - Sistema di pilastri al piano terra di un Magazzino, sulla sinistra si osservano gli elementi realizzati in blocchi di pietra arenaria mentre sulla destra quelli in pietra calcarea



I pilastri in blocchi di pietra del piano terra risultano l'elemento più problematico da trattare; infatti, di difficile valutazione risulta il grado di coesione tra i blocchi lapidei, sia per la scarsa qualità del legante utilizzato, che a causa dei danneggiamenti subiti nel tempo.

Soprattutto i blocchi inferiori presentano un avanzato stato di erosione, dovuto principalmente all'azione dell'ambiente salino. In alcuni casi si evidenzia la riduzione del volume lapideo, a causa della mancanza di porzioni di blocchi lapidei. Risulterà pertanto necessario intervenire su questi elementi tramite interventi ricostruttivi (ricollocazione del materiale lapideo mancante e ripristino di materiale legante) o di carattere invasivo, quali la cerchiatura tramite profili metallici, piuttosto che l'incamiciatura utilizzando materiali polimerici resistenti a trazione.

Le operazioni descritte dovranno essere attentamente valutate sia dal punto di vista del comportamento strutturale, che in termini di compatibilità con i vincoli architettonici, mantenendo tuttavia un'attenzione particolare a quella che è l'esperienza relativa all'innovazione tecnologica nel settore del restauro architettonico.

**Figura 8** - Pilastro in blocchi di pietra arenaria in cui si evidenziano i blocchi danneggiati dall'azione dell'ambiente salino e la mancanza di blocchi



Le strutture in ghisa si presentano genericamente in un buono stato di conservazione, non sembrano necessitare pertanto di particolari interventi di restauro. Le azioni suggerite sono limitate alla manutenzione ordinaria e di pulizia e verniciatura.

Considerato che le strutture sono state progettate per sopportare i carichi relativi allo stoccaggio di merci, e prendendo come punto di riferimento le verifiche strutturali eseguite durante le operazioni di restauro del Magazzino 26<sup>2</sup>, che hanno fornito confortanti esiti, si può ipotizzare che le strutture puntali in elevazione risultino ampiamente compatibili con carichi di esercizio caratterizzanti le destinazioni d'uso previste dallo strumento urbanistico attualmente in vigore.

Si ribadisce, in ogni caso, l'importanza di svolgere indagini approfondite e le conseguenti attività di manutenzione, quali la pulizia delle parti ossidate, sostituzione di parti danneggiate, pulitura e verniciatura.

<sup>2</sup> Autorità Portuale, Recupero funzionale del Magazzino 26, Relazione Tecnica di verifica degli elementi strutturali, 2009

Il tema della sicurezza antincendio necessita di un'adeguata attenzione in relazione alle specifiche future destinazioni d'uso previste. Gli interventi progettuali in programma dovranno garantire un'adeguata prestazione in caso di incendio dei singoli elementi, tenendo conto dei vincoli architettonici ai quali ciascun edificio è sottoposto.

Le strutture in ghisa risultano essere le più problematiche rispetto alla resistenza al fuoco. In tale ambito, visto il recente Codice di Prevenzione Incendi D.M. 3/8/2015 e la Circolare del Ministero degli Interni 3181/2016, si evidenzia che la sicurezza in caso di incendio può essere assicurata ricorrendo a strategie finalizzate a compensare tale problematicità, ad esempio limitando le quantità di materiale combustibile presente in tali ambienti e prevedendo opportuni sistemi di rilevazione e allarme.

Queste strategie rientrano nell'istituto della deroga previsto dall'art. 7 del D.M. 7/8/2012.

**Figura 9** - Colonna in ghisa al secondo piano di un Magazzino, si evidenzia il discreto stato di conservazione



#### **Strutture continue in elevazione verticale**

Costituite da setti realizzati in blocchi di pietra arenaria o mattoni pieni in laterizio, sulle strutture continue in elevazione verticale sono presenti lesioni di taglio, disomogeneità e mancanza di materiali. Ciò si evidenzia in particolare sul lato interno degli stessi, in ragione ai numerosi traumi d'urto dovuti alla movimentazione delle merci.

Lo stato delle strutture soggette a questo tipo di lesioni risulta recuperabile tramite canonici interventi di ripristino di tipo *cuci scuci*, oltre che iniezione di leganti (malte cementizie), caratterizzati da migliori caratteristiche meccaniche.

Con riferimento alle verifiche strutturali eseguite in sede di recupero funzionale del Magazzino 26<sup>3</sup>, si può affermare che le strutture verticali, in termini generali, non necessitano particolari interventi di miglioramento del comportamento statico.

Sulle strutture verticali continue del Magazzino 26 è stata condotta, infatti, una verifica alla resistenza ai carichi verticali secondo il metodo delle tensioni ammissibili. Le verifiche sul modello tridimensionale sono state affiancate da prove di carico con martinetti piatti, singoli e doppi, al fine di ottenere dei valori di confronto in termini di tensioni di esercizio, rottura e moduli elastici della sezione resistente. I valori di tensione raggiunti nel modello di calcolo sono risultati abbondantemente inferiori ai valori di tensione di rottura ricavati dalle prove in sito con martinetti.<sup>3</sup>



Più rilevanti risultano le lesioni delle strutture continue in elevazione verticale negli edifici caratterizzati da cedimenti differenziali. Nel caso siano presenti lesioni di questo tipo, si rimanda ad un'analisi approfondita caso per caso, così da determinare la problematicità dello stato della struttura e, conseguentemente, identificare gli interventi da mettere in atto.

#### Strutture in elevazione orizzontali

Le strutture in elevazione orizzontali si presentano, in generale, in discreto stato di conservazione. In particolare, le partizioni di interpiano, ma anche la copertura, non risultano eccessivamente compromesse dal punto di vista strutturale.

**Figura 10** - Erosione e distacco di blocchi da un setto portante del piano terra

<sup>3</sup> Autorità Portuale, Recupero funzionale del Magazzino 26, Relazione Tecnica di verifica degli elementi strutturali, 2009

Le solette di tipo Monier, caratterizzanti gli orizzontamenti all'interno dell'involucro degli edifici, hanno resistito relativamente bene all'usura: la volta inferiore presenta ridotti fenomeni di distacco del copriferro che non vanno, in genere, a comprometterne il comportamento strutturale. Si possono quindi ipotizzare interventi puntuali volti al ripristino del copriferro, al fine di realizzare uno strato di protezione per la struttura in ghisa oltre che per fini meramente estetici.



**Figura 11** - Lesioni longitudinali presenti sulla soletta superiore degli orizzontamenti interni

Risulta maggiormente danneggiata, invece, la soletta piana superiore, che spesso presenta lesioni longitudinali in particolare in corrispondenza dell'alloggiamento dei travetti in ghisa. In questo caso, si propone la rimozione della soletta esistente e conseguente ripristino mediante materiali compatibili: posizionamento di una rete elettro-saldata e getto in calcestruzzo per formare una nuova soletta in calcestruzzo armato.

Va comunque ricordato che gli orizzontamenti furono progettati per sopportare i carichi conseguenti allo stoccaggio delle merci. Oggi si ipotizzano destinazioni d'uso diverse, come ad esempio il terziario o strutture alberghiere, che, in generale, prevedono carichi d'esercizio ben minori rispetto a quelli previsti dalla destinazione d'uso originaria.

Più nello specifico, gli orizzontamenti sono stati oggetto di verifica, supportata da prove di carico, durante il restauro del Magazzino 26<sup>4</sup>. Precisamente, durante le prove di carico statico si è raggiunto il valore di 1.400 kg/m<sup>2</sup>, con una risultante freccia massima pari a 2,49 mm. Essendo il sovraccarico di progetto dei solai verificati pari a 1.200 kg/m<sup>2</sup> e considerando che, in generale, le destinazioni d'uso ammesse prevedono dei carichi di esercizio pari a 600 kg/m<sup>2</sup>, risultano elementi di ragionevole sicurezza che, quantomeno, la genericità dei solai di tipo Monier, siano compatibili con le destinazioni d'uso previste.

La chiusura orizzontale superiore, il cui elemento strutturale è realizzato mediante una soletta in calcestruzzo armato che poggia su un'orditura di travetti in ghisa IPN 200, posti ad un'interasse di 120 centimetri ciascuno, risulta anch'essa in buono stato di conservazione dal punto di vista strutturale. Anche in questo caso si rimanda ad indagini caso per caso, anche al fine di valutare eventuali infiltrazioni dovute a lesioni superficiali.

<sup>4</sup> Autorità Portuale, Recupero funzionale del Magazzino 26, Relazione Tecnica di verifica degli elementi strutturali, 2009



## Chiusure

Gli elementi tecnici costituenti il subsistema delle chiusure, corrispondono, in parte, con quelli costituenti il subsistema delle strutture. Se per la realizzazione delle strutture puntuali in elevazione furono usati materiali e tecnologie innovativi, per le chiusure, ad esclusione della chiusura orizzontale superiore, furono impiegate soluzioni più tradizionali, che prevedevano l'utilizzo di materiali consueti per l'epoca, quali la pietra e il laterizio.

### Chiusura orizzontale inferiore

La chiusura orizzontale inferiore è composta da un massetto in calcestruzzo che poggia su uno strato di materiale di riporto che, a sua volta, grava direttamente su uno strato di spessore pari a circa un metro di Terra di Santorini.

Lo strato di finitura superiore della chiusura orizzontale inferiore originaria, composto da uno strato di finitura realizzato mediante *massegni* di pietra arenaria, è stato ormai quasi completamente sostituito negli anni tramite da soluzione composta da un massetto in calcestruzzo liscio, più congeniale alla movimentazione delle merci tramite l'utilizzo dei mezzi gommati moderni.

La chiusura orizzontale inferiore non risulta particolarmente compromessa, ma si ipotizza eventualmente comunque la necessità di intervenire realizzando un nuovo massetto piuttosto che ripristinando i *massegni* originari, come fatto nel caso del restauro del Magazzino 26.

### Chiusure verticali opache

Le chiusure verticali opache corrispondono alle strutture verticali continue precedentemente descritte.

**Figura 12** - Struttura elevazione orizzontale di copertura, in evidenza la struttura primaria composta dalle travi IPN340 e secondaria dall'orditura di travetti IPN200

**Figura 13** - Capannoni del Porto Vecchio in cui il distacco dell'intonaco lascia a vista le pareti realizzate in blocchi di pietra arenaria



Esse presentano due soluzioni costruttive:

- parete in pietra arenaria (marna) squadrata;
- parete in mattoni di laterizio pieno.

In entrambi i casi, spesso, sono presenti due strati di intonaci con funzione, il primo, di regolarizzazione della parete e, il secondo, di finitura superficiale. In particolare, lo strato esterno, di maggiore spessore, doveva garantire anche una maggiore prestazione rispetto all'azione disgregativa degli agenti atmosferici particolarmente aggressivi (bora, ambiente salino, accentuati salti termici) e necessaria funzione estetica.

Tutti gli edifici presentano pareti in pietra arenaria al piano terra, salendo di piano, negli edifici realizzati alla fine dell'Ottocento, questa soluzione tecnologica arriva al livello della copertura, mentre in quelli realizzati in epoca successiva, si evidenzia il passaggio all'utilizzo di blocchi in laterizio.

In generale, le facciate del piano terra o del piano rialzato di tutti i Magazzini e Capannoni sono lasciate con la muratura a faccia a vista principalmente per motivi architettonici.

Non essendo presente lo strato superficiale protettivo (intonaco a due o tre strati), queste murature *faccia a vista* si presentano in avanzato stato di degrado: i blocchi di pietra arenaria risultano in parte deteriorati dall'azione della Bora, oltre ad essere presenti incrostazioni organiche e non in gran parte originate dai gas di combustione delle numerose macchine a carbone utilizzate all'epoca.

Come evidenziato in fase di ristrutturazione del Magazzino 26, questo strato di incrostazioni superficiali ha portato alla creazione di una patina molto coesa e di difficile rimozione tramite l'ausilio di strumenti meccanici; su tale metodica è stato sviluppato infatti uno studio, in stretto colle-

gamento con la *Soprintendenza*, al fine di identificare una tecnica idonea all'eliminazione di tale patina, che ha previsto una lunga serie di prove e campionature, a vari livelli d'intensità e profondità, eseguite con diverse qualità di prodotti e metodologie<sup>5</sup>.

**Figura 14** - Procedura di lavaggio acqua in pressione  
*Documenti di un Restauro,  
Il Magazzino 26 del Porto  
Vecchio di Trieste*



Tra le varie tecniche prese in considerazione, è prevalsa la scelta del non utilizzo di sostanze chimiche aggressive, e si è optato quindi per un lavaggio ad acqua in pressione additivata con bicarbonato, integrando, eventualmente, con una spazzolatura meccanica limitata ai punti più critici. Il trattamento è stato combinato ad con azioni di impermeabilizzazione mediante l'uso di silicato di etile e prodotti silossanici.

Considerato che queste lavorazioni sono state sviluppate in accordo con la *Soprintendenza*, si può ragionevolmente prevedere l'estensione di questa metodica anche agli altri edifici del Porto Vecchio.

La conservazione nel tempo degli strati superficiali esterni (intonaco multistrato) deriva dalla qualità dei materiali utilizzati, dall'adesione alla sottostante muratura. Quindi, le porzioni risultanti integre ad una azione di verifica potranno essere oggetto di un'eventuale protezione consolidante e impermeabilizzante e, preventivamente, ad un'integrazione delle parti meno coese.

Nell'epoca in cui sono stati edificati i fabbricati principali e di maggior interesse del Porto Vecchio, i trattamenti protettivi non erano ancora disponibili e la durabilità degli stessi era sostanzialmente riferita all'affidabilità tecnica dei materiali e della relativa buona messa in opera. Tuttavia, il clima salino e aggressivo dovuto alla prossimità al mare e l'azione del vento dominante nella città di Trieste, la Bora, non hanno rappresentato le condizioni ideali per una buona conservazione dei materiali esposti.

<sup>5</sup> Il Magazzino 26 di Trieste. Documenti di un Restauro, Lint Editore, Trieste, 2011

Laddove lo stato di conservazione dello strato superficiale risulti compromesso (in gran parte degli edifici sono presenti ampie superfici di intonaco distaccate e incoerenti) e con parziale e precario stato di adesione al sottostante supporto murario in pietra o in laterizio, tutto ciò fa ipotizzare la necessità di larghe azioni di rimozione e successivo ripristino.



**Figura 15** - Distacco degli intonaci sull'avancorpo di una facciata di un Magazzino

Anche in questo caso risultano importanti le analisi nel merito sviluppate durante l'intervento di restauro del Magazzino 26. In questo caso, le stesse, hanno portato alla rimozione totale degli intonaci esterni e alla riproposizione degli stessi, secondo gli schemi decorativi originali, ripristinando quindi: superfici piane, cornici, modanature e marcapiani, in analogia ai progetti dell'edificio. Sembra legittimo, quindi, proporre procedure e metodiche analoghe anche negli altri edifici del Porto Vecchio, recuperando, ove possibile, gli schemi decorativi originari dell'epoca, in congruenza con le linee guida generali oggetto di proposta.

Gli interventi in questo caso risultano:

1. rimozione intonaci originali (per la parte ammalorata);
2. lavaggio tramite acqua in pressione additivata con bicarbonato;
3. spazzolatura meccanica limitata ai punti più critici;
4. impermeabilizzazione mediante uso di prodotti in accordo con la *Soprintendenza*;
5. ripristino intonaci secondo schemi decorativi originari.

Gli interventi sull'involucro opaco, volti a ridurre il carico termico nella stagione invernale, risultano soggetti a vincoli di carattere architettonico, che limitano le opzioni possibili, se sviluppati sulla superficie esterna. Pur evidenziando la necessità di differenziare l'entità di queste azioni per

ogni singolo organismo edilizio, è possibile affermare che l'apposizione di elementi tecnici termoisolanti possa essere effettuata esclusivamente intervenendo sulle superfici interne, nei casi dove possibile, dell'involucro opaco, oppure mediante l'uso di intonaci termoisolanti sulla superficie esterna e/o interna, dove previsto.

Compatibilmente con quanto previsto dai vincoli architettonici gravanti sulla maggioranza degli edifici del Porto Vecchio, si ritiene opportuno portare all'attenzione la necessità di procedere con un miglioramento del comportamento energetico dell'involucro degli edifici, difficilmente raggiungibile se non con l'apposizione di uno strato di isolamento termico.

Si propone, quindi, di procedere ad un'attenta analisi delle performance energetiche desiderate, con la realizzazione di contropareti interne in pannelli leggeri (cartongesso o fibrogesso) facilmente rimovibili, così da poter inserire uno strato coibente di spessore adeguato.

Dovranno essere presi in considerazione prodotti a bassissima conducibilità termica e spessore estremamente ridotto, ad esempio quelli basati sulla tecnologia degli *aerogel* e *nanogel*, caratterizzati da una conducibilità termica inferiore a  $0,015 \text{ W/m}^1\text{K}^1$ .

#### Chiusura orizzontale superiore

Le coperture a falde leggermente inclinate del tipo *Holzmett*, precedentemente descritte, caratterizzanti la maggioranza degli edifici del Porto Vecchio, si presentano in stato di avanzato degrado, soprattutto in relazione agli strati superficiali. Spesso lo strato di protezione (ghiaia a bassa granulometria) è stato in gran parte rimosso, soprattutto a causa dell'azione del vento. L'assenza di questo strato di protezione con funzione drenante, ha causato l'esposizione agli agenti atmosferici dello strato con funzione di impermeabilizzazione, costituito da guaine bituminose sottostanti, causandone il progressivo degrado prestazionale.



**Figura 16** - Copertura di un Magazzino: a sinistra in evidenza lo strato in bitume, mentre sulla destra in evidenza lo strato di scorrimento in sabbia

Nei magazzini dove lo strato di protezione e drenaggio non è stato scalzato dall'azione del vento, si evidenzia un fenomeno di progressiva naturalizzazione dovuta, al deposito di particelle organiche e fogliame movimentati dal vento stesso, che, con il tempo, hanno portato alla formazione di uno strato culturale favorevole alla proliferazione di specie arboree, fino a formare una vera e propria copertura verde "spontanea".



**Figura 17** - Copertura di un Magazzino in stato di avanzato degrado con accrescimento spontaneo di specie arboree

Le operazioni proposte per il recupero funzionale della copertura e conseguente miglioramento del comportamento energetico possono essere definite dalla seguente sequenza:

1. rimozione strati superficiali fino al raggiungimento dello strato portante in calcestruzzo armato;
2. posa in opera di una membrana con funzione di barriera al vapore;
3. posa in opera di strato coibente sulla copertura, realizzato con materiale e spessore determinati in base alle prestazioni richieste;
4. fissaggio del pacchetto;
5. apposizione strato di impermeabilizzazione (guaina bituminosa);
6. ripristino dello strato di drenaggio e protezione (ghiaia);
7. realizzazione della struttura di contenimento del massetto (profilo ad L in materiale metallico o altro).

È da sottolineare come la struttura portante, realizzata mediante soletta piana Monier, sia stata progettata secondo le specifiche dell'epoca, presumibilmente senza considerare combinazioni di carichi accidentali previste, viceversa, dalle più recenti metodologie di progettazione<sup>6</sup>. Di conseguenza si presume necessaria una verifica strutturale dei solai esistenti, soprattutto in zone di evidente degrado e, conseguentemente, l'eventuale integrazione delle prestazioni strutturali qualora risultassero insufficienti.

<sup>6</sup> NTC08, *Norme tecniche per le costruzioni*, 14 gennaio 2008



**Figura 18** - Copertura tipo Hoelzmett del Magazzino 10

## Partizioni

Gli elementi tecnici di maggior interesse, costituenti il subsistema delle partizioni, risultano quelle orizzontali, che coincidono con gli elementi tecnici costituenti i subsistemi delle strutture e chiusure.

### Partizioni interne orizzontali

Come già introdotto, le partizioni interne orizzontali corrispondono, sostanzialmente, alle strutture in elevazione orizzontale. Gli elementi tecnici corrispondono alle stesse voltine in calcestruzzo armato Monier trattate in precedenza e, come già detto in fase di analisi del subsistema delle strutture, risultano in buono stato di conservazione.

**Figura 19** - Partizione interna verticale realizzata in blocchi di pietra arenaria



La soluzione tecnologica individuata originariamente corrispondeva, sostanzialmente, alle elevate esigenze di carattere strutturale, necessarie allo stazionamento di carichi notevoli (costituiti da materiali di varia tipologia). Ai fini di un recupero funzionale e un riuso degli ambienti con diverse destinazioni d'uso dei fabbricati, risulta necessario valutare l'implementazione di strati funzionali che possano garantire le prestazioni corrispondenti alle nuove funzionalità.

L'implementazione di nuovi strati funzionali è credibilmente realizzabile sul lato superiore della partizione interna orizzontale stessa. La parte inferiore, come noto, presenta caratteristiche morfologiche di notevole suggestione e di diretta corrispondenza alla tecnologia caratterizzante la voltina Monier, e quindi non potrà essere sostanzialmente modificata.

Gli strati funzionali da implementare sul lato superiore dovranno garantire la possibilità di alloggiamento impiantistico, ora non previsto e il necessario grado di isolamento termico e acustico, di finitura superficiale.

Qualora sul lato inferiore sia comunque necessario installare determinate reti di distribuzione impiantistica, esse dovranno essere collocate in modo tale da non modificare sostanzialmente la morfologia della voltina precedentemente citata. Si possono prevedere finora interventi di carattere non invasivo, collocati esternamente alle voltine stesse, e con materiali contemporanei, che garantiscano la differenziazione immediata tra originale e superfetazione.

### Partizioni interne verticali

Le partizioni interne verticali non presentano schemi spaziali e tipologici ben delineati e, nel caso di recupero con cambio di destinazione d'uso, potranno prevedere, presumibilmente, una completa revisione.



**Figura 21** - Partizione interna al piano inferiore

La logistica di gestione delle merci dell'epoca non richiedeva particolari schemi nella progettazione dei locali interni, privilegiando la disponibilità di ampi spazi aperti privi di impedimenti particolari. Nella gran parte degli edifici, non sembrano essere presenti elementi architettonici tali da condizionare eccessivamente le successive ridistribuzioni spaziali interne.

Considerando a parte gli elementi tecnici corrispondenti alle strutture in elevazione, quelli caratterizzati da funzione esclusivamente divisoria dovranno essere presi in considerazione caso per caso, in base alle prestazioni richieste.

#### Partizioni interne inclinate (scale)



Figura 22 - Vano scale di un Magazzino del Porto

I collegamenti interni sono realizzati tramite scale in blocchi di pietra. In molti edifici, le partizioni interne inclinate risultano parzialmente compromesse, soprattutto da un punto di vista strutturale, ad esclusione del caso in cui le stesse siano state sostituite con elementi tecnici di maggiore attualità strutturale/funzionale o da montacarichi meccanici.

Nel caso in cui risulti possibile, dovrà costituire buona norma quella di procedere con un recupero delle rampe scale originarie, mediante un consolidamento strutturale tramite la posa in opera di profili metallici che dovranno presentare una sostanziale evidenza tra struttura originale e nuova integrazione.

#### Partizioni esterne orizzontali (ballatoi)

Le partizioni esterne orizzontali corrispondono con i ballatoi destinati, originariamente, alla movimentazione delle merci dall'interno all'esterno dei Magazzini e dei Capannoni. In analogia con quanto accade per le partizioni interne orizzontali, sono realizzati mediante volte Monier, sostenute da colonne in ghisa.

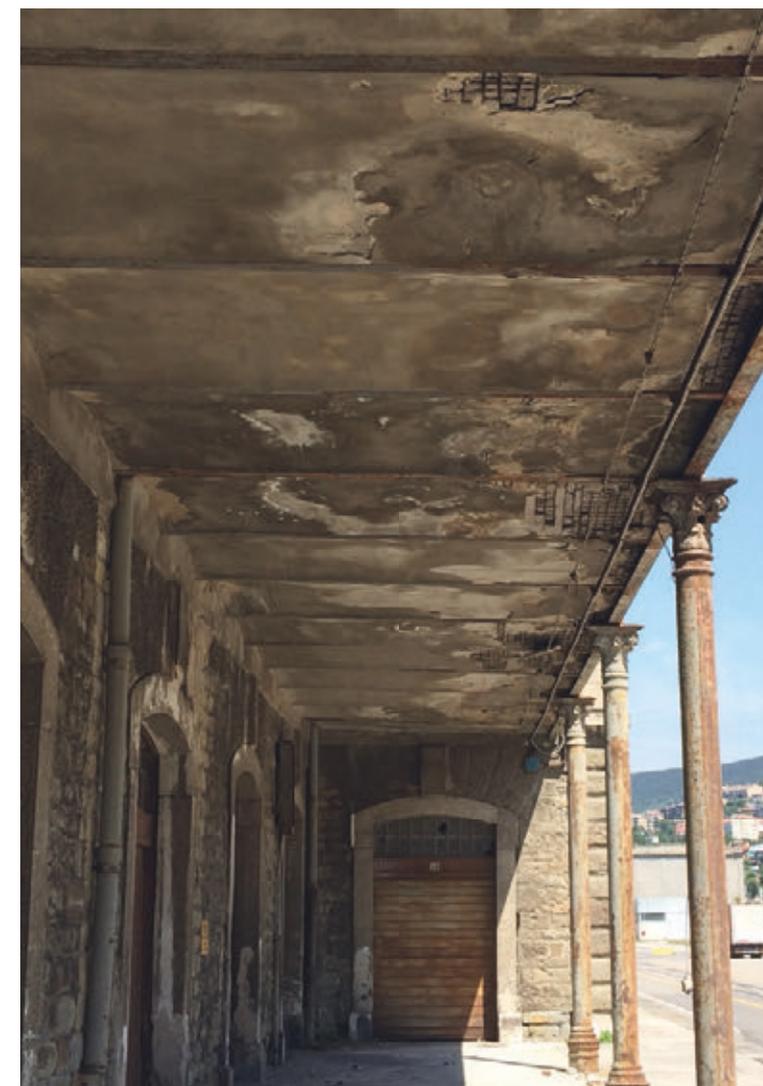


Figura 23 - Avanzato stato di degrado delle solette Monier dei ballatoi esterni: si evidenzia il distacco del copriferro con conseguente esposizione agli agenti atmosferici delle barre

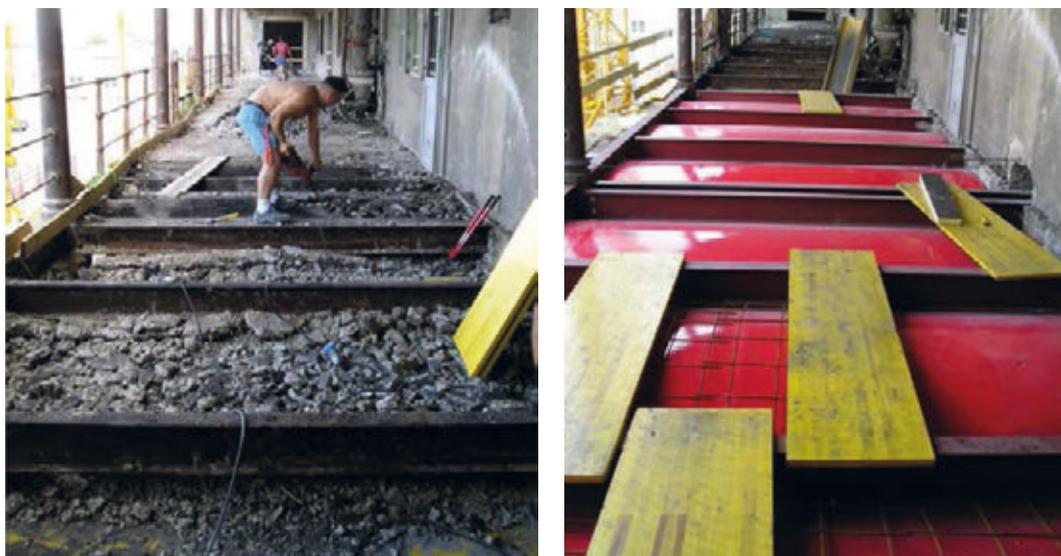
Rispetto alle partizioni interne orizzontali, questi elementi tecnici presentano un avanzato stato di degrado, soprattutto a causa del danneggiamento dello strato superficiale di calcestruzzo, che ha generato il distacco del copriferro, portando a contatto con gli agenti atmosferici le barre in acciaio e compromettendo, quindi, la struttura nel suo complesso.

Per il ripristino di questi elementi si propone di operare similmente a quanto fatto per il Magazzino 26:

1. demolizione delle solette Monier compromesse;
2. apposizione di casseforme per formare la voltina;
3. inserimento di una rete elettrosaldata nella soletta inferiore;
4. getto della soletta in calcestruzzo inferiore;
5. apposizione della rete elettrosaldata superiore;
6. getto della soletta in calcestruzzo superiore.

È utile ricordare che tale *modus operandi* risulta condiviso dagli uffici della Soprintendenza.

**Figura 24** - Processo di ripristino dei ballatoi esterni del Magazzino 26. Documenti di un restauro



## Infissi

Gli infissi originali rappresentano uno degli elementi più caratterizzanti delle facciate degli edifici del Porto Vecchio. Gli infissi risultano di varie tipologie e strettamente relazionati alla forometria complessiva che caratterizza la chiusura verticale degli edifici. Tali elementi corrispondono ai

portali al piano terra, utilizzati per la movimentazione delle merci, alle finestre a doppia anta di dimensione variabile in altezza, caratteristiche dei piani superiori, alle ultime fasce di finestre, caratterizzanti l'ultimo piano di minore altezza rispetto alle precedenti, in relazione ad un'altezza interna più ridotta.

Serramenti e sistemi oscuranti degli infissi sono realizzati in legno di larice. Seppur il materiale originario risultasse di ottima qualità e lavorazione, il tempo e la mancata manutenzione hanno prodotto ammaloramenti generalizzati e, molte volte, irreversibili.



**Figura 25** - Stato di fatto di infissi vari di Magazzini e Capannoni del Porto Vecchio

Ogni infisso è inserito all'interno di una cornice lapidea, a seconda dell'edificio queste cornici risultano di varia fattura. Anche le cornici risultano ricoperte da una patina di materiale organico; sembra plausibile prevedere, pertanto, un'azione di pulizia e ripristino analoga a quella prevista precedentemente per chiusure verticali opache, che prevede un lavaggio con acqua a pressione e bicarbonato, seguito da eventuale spazzolamento meccanico e ripristino dei materiali incoerenti.



## Altre proposte

A corredo della proposta di Linee Guida per il recupero degli edifici precedentemente sviluppata, si avanza la riflessione su due ulteriori opzioni operative, che possono costituire un interessante *plus* in termini di sostenibilità complessiva delle azioni di recupero in precedenza descritte.

### Implementazione coperture verdi

Dall'analisi dello stato di fatto del Porto Vecchio risulta che gran parte degli edifici presentino delle coperture di tipo piano o, meglio, leggermente inclinato (inclinazione massima pari al 10%). Come visto in precedenza parte delle coperture di Magazzini e Capannoni risulta, tra l'altro, già oggetto di un inverdimento spontaneo dovuto al depositarsi di particelle di terreno e sementi grazie all'azione di trasporto da parte del vento.

In fase di valutazione dell'applicabilità di tali soluzioni tecnologiche per le coperture, si è certi che quest'ultima considerazione sia in grado di rafforzare una presa di posizione anche rispetto a vincoli architettonici e monumentali, che attualmente prevederebbero soluzioni maggiormente conservative rispetto ai corpi di fabbrica esistenti.

Altra considerazione che potrebbe aumentare il consenso nei confronti di soluzioni di inverdimento delle coperture degli edifici è che gran parte dell'area del Porto Vecchio risulta pavimentata e, di conseguenza, l'implementazione delle più recenti tecnologie utilizzate nelle soluzioni di verde pensile potrebbe consentire di recuperare una certa percentuale di superficie inverdita.

### Verde pensile

La tecnologia nota come "verde pensile" fa riferimento ad una superficie vegetale che non presenta continuità con il suolo naturale inverdito. La principale applicazione si concretizza nell'involucro di edifici o volumi architettonici o tecnici fuori terra. Il contenuto tecnologico delle coperture verdi risulta quindi in parte arricchito dai benefici usualmente associati al suolo naturale vegetato.



**Figura 26** - Copertura verde dell'edificio principale della Nanyang Technological University School of Art Design and Media Building Science di Singapore  
*Adila Zaas, Nanyang Technological University School of Art Design and Media Building Science report, Slideshare, Maggio 2014*

Le diverse tecnologie afferenti al "verde pensile", applicabili all'intero involucro edilizio, si differenziano dalle altre tipologie di involucro in quanto le finiture sono costituite da individui appartenenti a specifiche specie vegetali. Le tecnologie sono riconducibili alle seguenti famiglie, caratterizzate da diversi contenuti, differenziatesi nel tempo in seguito all'evoluzione della tecnica<sup>7</sup>:

- **verde verticale**: porzioni di involucro edilizio a giacitura verticale o sub-verticale, coltivate con essenze vegetali specifiche, capaci di svilupparsi, in questo contesto, con differenti livelli di manutenzione;
- **giardini pensili**: consistenti in giardini realizzati in quota rispetto al livello del suolo naturale e caratterizzati da vegetazione di tipo ornamentale;
- **coperture verdi**: installazioni vegetali differenti per tipologia, caratteristiche botaniche ed ecologiche, praticate su uno strato strutturale piano o inclinato, a copertura di un elemento tecnico appositamente progettato o modificato nella sua soluzione tecnologica.

**Figura 27** - Giardino pensile realizzato sulla copertura del Municipio di Chicago  
*Marilyn Novy, Green Roofs, Maggio 2003*



<sup>7</sup> R.Berto, G.Cechet, R.Paolo, C.A. Stival, E. Valcovich, Le coperture verdi. Implicazioni tecnologiche, strutturali, energetiche ed economico-sociali, EUT, Trieste, 2015

Si presume che, nel caso specifico del Porto Vecchio di Trieste, la soluzione più adeguata da proporre, perlomeno nelle azioni di recupero degli edifici esistenti ad elevato valore storico e architettonico, sia quella afferente alle coperture verdi. Si lascia quindi ad interventi su edifici di più recenti e quindi di minor interesse conservativo, l'eventuale utilizzo di soluzioni di verde verticale piuttosto che di giardini pensili.

#### Criteria di classificazione

I criteri di classificazione delle coperture verdi si riferiscono alla classe di elementi tecnici chiusure orizzontali superiori: in quanto tali, le coperture verdi assolvono alla funzione di separazione tra gli ambienti interni e spazio esterno, caratterizzato da specifiche condizioni climatiche ed agenti atmosferici, permettendo le condizioni necessarie allo svolgimento delle attività previste per l'utenza<sup>8</sup>.



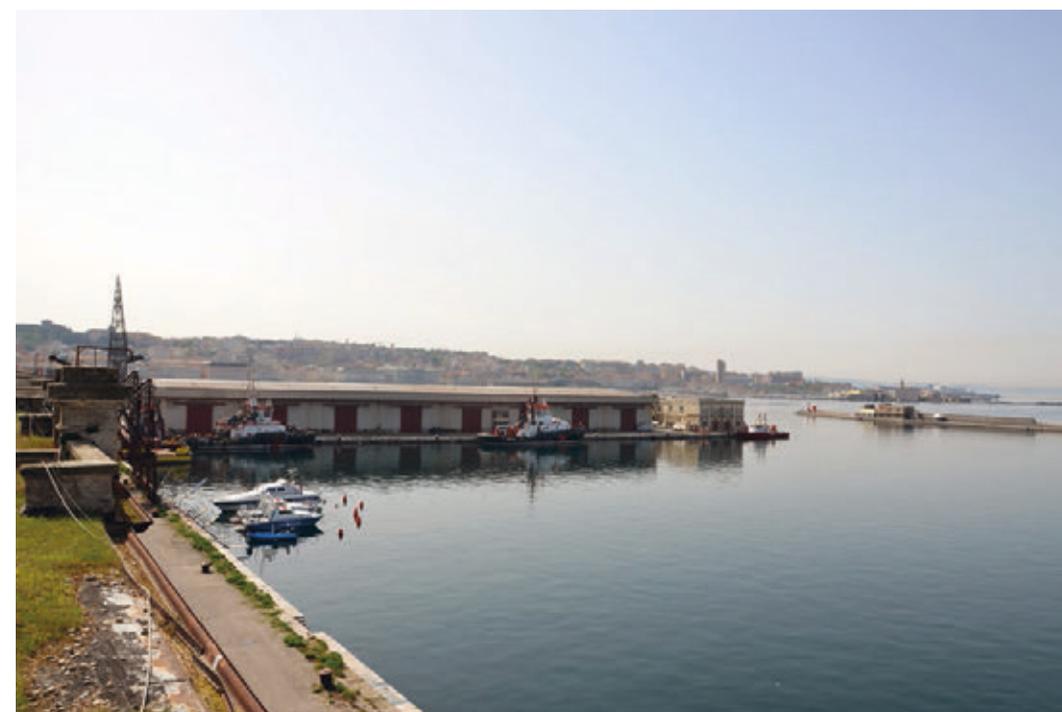
Il criterio di classificazione più diffuso e di maggior interesse nel caso specifico risulta quello per tipologia, che distingue sostanzialmente le coperture verdi in tre famiglie:

- **verde estensivo:** caratterizzato da spessori ridotti, pesi contenuti e ridotta manutenzione, fruibilità diretta ridotta e che risulta un sistema particolarmente adatto alle coperture di grandi dimensioni; questo sistema è maggiormente utilizzato laddove è importante valutare la migliorata energetica apportata all'edificio grazie ai suoi elementi che creano uno strato di protezione ed isolamento termico all'edificio;

<sup>8</sup> R.Berto, G.Cechet, R.Paolo, C.A. Stival, E. Valcovich, Le coperture verdi. Implicazioni tecnologiche, strutturali, energetiche ed economico-sociali, EUT, Trieste, 2015

**Figura 28** - Tipica soluzione a verde estensivo implementata tramite l'utilizzo di specie arboree xerofile (sedum)  
[www.greenroofers.co.uk](http://www.greenroofers.co.uk)

**Figura 29** - Vista dalla copertura dalla copertura del Magazzino 9, prospiciente il Bacino 1



- **verde intensivo leggero:** rispetto alla soluzione estensiva risulta avere spessori e pesi leggermente superiori, ma consente di realizzare una finitura calpestabile, e quindi direttamente fruibile, garantendo al contempo una prestazione energetica migliore; rispetto alla soluzione estensiva richiede un elevato carico manutentivo;
- **verde intensivo pesante:** richiede spessori e carichi molto elevati, oltre che un importante carico manutentivo, viene utilizzato più spesso per la copertura di porzioni di edificio interrati, piuttosto che per la realizzazione di coperture fuori terra.

Nel caso si desideri proporre soluzioni di copertura a verde del Porto Vecchio, si può immediatamente escludere quelle che afferiscono alla famiglia del verde intensivo pesante e considerare invece la tecnologia del verde estensivo e, se implementabile da un punto di vista statico, anche la soluzione intensivo leggero.

La soluzione intensiva leggera permetterebbe, tra l'altro, la fruibilità della copertura, con interessanti ripercussioni sul valore degli edifici, considerata anche la posizione prospiciente al mare di alcuni di essi.

#### Esigenze e requisiti

In termini di classi di esigenza, le coperture verdi contribuiscono al soddisfacimento di diverse esigenze, riferibili alle classi di aspetto, fruibilità, benessere, salvaguardia ambientale e utilizzo razionale delle risorse.<sup>9</sup>

<sup>9</sup> UNI11235:2015, Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione, il controllo e la manutenzione di coperture a verde

Prendendo come punto di partenza le classi di esigenza, è possibile identificare i requisiti connotanti una copertura verde, che fanno innanzi tutto riferimento a quelli di una qualsiasi copertura, ma presentano anche dei requisiti più specifici.

Tra i requisiti specifici, si identifica innanzitutto il controllo della capacità agronomica, cioè all'attitudine di un sistema a mantenere nel tempo le condizioni per un corretto sviluppo della vegetazione in funzione del contesto.

Il controllo della capacità drenante è requisito richiesto alla copertura verde, specialmente nelle porzioni perimetrali, in cui il carico idrico è maggiore. La successione degli strati funzionali, da quello vegetale a quello con specifica funzione drenante, deve prevedere caratteristiche di permeabilità crescenti, al fine di permettere a quest'ultimo strato l'espletamento della propria funzione.

### Strati funzionali

Per la realizzazione di una copertura verde è necessario porre particolare attenzione alla scelta ed al posizionamento degli strati funzionali che caratterizzano le diverse soluzioni tecnologiche.

La sola scelta relativa allo strato colturale non assicura il corretto funzionamento della copertura verde; al fine di evitare processi successivi di saturazione e siccità, che porterebbero a condizioni di vita non accettabili per la vegetazione, è necessario che l'elemento tecnico di copertura disponga di acqua ed elementi nutritivi in quantità sufficienti, prevedendo l'allontanamento delle quantità eccedenti.

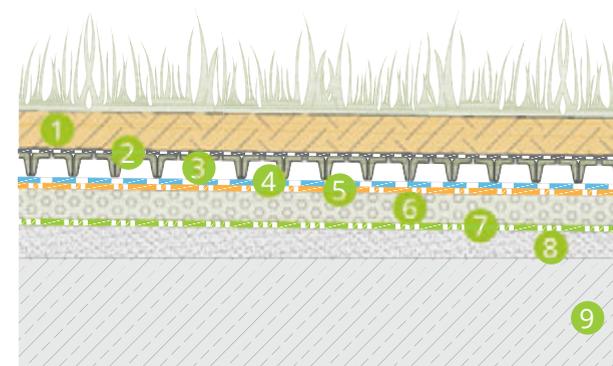
Inoltre sono richieste precise prestazioni meccaniche, quali la stabilità sotto l'azione del vento, il controllo dei carichi statici e la protezione dall'azione delle radici sugli strati sottostanti.

Gli strati funzionali caratterizzanti sono qualificati da alcuni parametri tecnici derivanti dai requisiti connotanti individuati:

1. spessore dello strato colturale in base all'impianto vegetale previsto;
2. peso totale dell'elemento tecnico di copertura, da valutarsi nelle condizioni di carico maggiormente penalizzanti (come ad esempio la completa saturazione dello strato colturale);
3. deflusso superficiale garantito dalla copertura verde al carico derivante dalle acque meteoriche;
4. fabbisogno idrico dell'impianto vegetale, funzione delle essenze e del microclima del sito d'installazione, eventualmente integrato da un impianto di irrigazione.

### Soluzioni tecnologiche

Tra le diverse soluzioni tecnologiche che implementano i differenti sistemi di copertura a verde, nel caso di installazione di tecnologie di questo tipo sulle coperture di Magazzini e Capannoni del Porto Vecchio di Trieste, si identificano essenzialmente due possibilità, la prima che prevede una soluzione a verde estensivo su copertura piana leggermente inclinata, mentre la seconda prevede una soluzione a verde intensivo sempre su copertura piana leggermente inclinata.



- 1 Strato colturale
- 2 Strato filtrante
- 3 Strato drenante
- 4 Strato di sep. antiradice
- 5 Strato impermeabilizzazione
- 6 Strato isolante ad alta densità
- 7 Strato di barriera al vapore
- 8 Strato di pendenza
- 9 Strato portante

**Figura 30** - Soluzione tecnologica tipo per un sistema di verde estensivo su copertura piana con presenza di strato di isolamento termico e strato di drenaggio in materiale artificiale

La soluzione a verde estensivo su copertura leggermente inclinata è caratterizzata da spessori ridotti, pesi contenuti e ridotta manutenzione. La vegetazione è composta da una miscela di varietà di "sedum" ed ha la capacità di adattarsi alle condizioni climatiche del luogo, di resistere ai periodi di siccità, di propagarsi e rigenerarsi in maniera autonoma senza la necessità dell'intervento umano. È adatta a coperture di grandi dimensioni e a tutti i casi in cui sia richiesto un sistema che non necessiti di impianto di irrigazione.

Spessore	16÷20 cm
Peso (a secco)	75÷95 kg/m <sup>2</sup>
Peso (saturo)	115÷145 kg/m <sup>2</sup>
Pendenza massima supporto	fino al 25%
Accumulo idrico	24 l/m <sup>2</sup> (pendenza 3%)
Manutenzione	minima
Impianto di irrigazione	non necessario
Calpestabilità	solo per manutenzione
Coefficiente di deflusso medio annuo	0,2

**Tabella 2** - Caratteristiche tecniche del sistema verde estensivo piano  
[www.daku.it](http://www.daku.it)

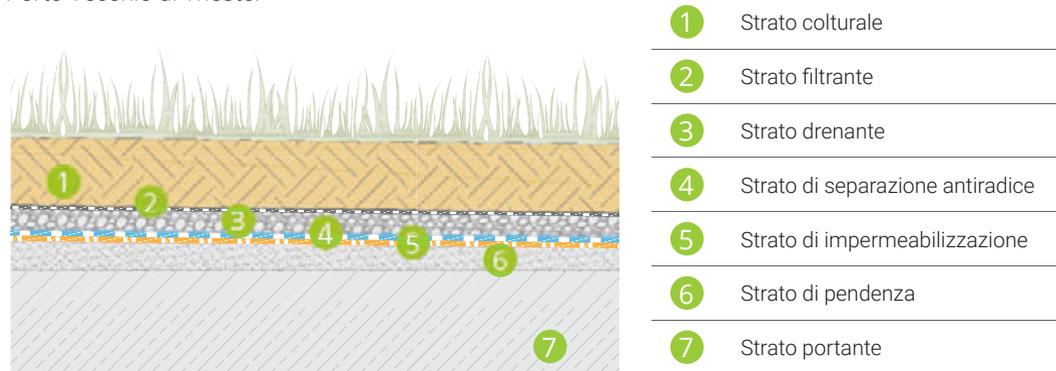
Il metodo di posa di questa soluzione di copertura a verde si può riassumere nei seguenti passaggi:

1. verifica dell'integrità e della tenuta all'acqua della stratigrafia termo-impermeabile,
2. posa dell'elemento di drenaggio e accumulo;
3. posa del filtro di stabilizzazione sopra l'elemento di accumulo e drenaggio, con sovrapposizione di circa 10 cm, e risvoltato in verticale per altezza pari allo spessore del substrato;
4. realizzazione di protezione della stratigrafia impermeabile perimetrale mediante posa di ghiaia;

5. posa dello strato colturale dello spessore previsto e livellamento;
6. concimazione;
7. semina di miscela di sedum mediante spaglio delle talee e successivo interrimento manuale.

La soluzione a verde intensivo leggero su copertura leggermente inclinata può essere realizzata mediante strato di drenaggio composto sia da materiale naturale che artificiale. In questo caso si preferisce proporre lo strato di drenaggio naturale, anche perché prevede l'utilizzo di materiali già ipotizzati dalla soluzione tecnologica originaria delle coperture del Porto Vecchio di Trieste.

**Figura 31** - Soluzione tecnologica tipo per un sistema di verde intensivo leggero su copertura piana con presenza di strato di isolamento termico e strato di drenaggio in materiale naturale



Questi sistemi sono caratterizzati da una resa estetica nettamente superiore alle tipologie estensive, ma richiedono interventi di manutenzione frequenti e costante irrigazione. Inoltre, offrono elevate prestazioni in termini di accessibilità e fruibilità, al costo di spessori e peso complessivo più elevati rispetto alle soluzioni precedentemente viste. La vegetazione è composta da una miscela di graminacee, ma, per spessori di substrato sempre maggiori, queste soluzioni sono in grado di ospitare anche arbusti e alberature, permettendo così un'integrazione paesaggistica molto efficace.

Spessore	24 cm per tappeto erboso
34 cm per arbusti a basso sviluppo	75÷95 kg/m <sup>2</sup>
Peso (a secco)	170÷240 kg/m <sup>2</sup>
Peso (saturo)	215÷305 kg/m <sup>2</sup>
Pendenza massima supporto	fino al 10%
Accumulo idrico	18 l/m <sup>2</sup> (pendenza 3%)
Manutenzione	dipendente dalla vegetazione
Impianto di irrigazione	necessario
Calpestabilità	ottima

#### Prestazioni

Le prestazioni complessive offerte da una soluzione di copertura verde risultano tutt'ora oggetto di discussione sia in ambito accademico e scientifico, sia in ambito normativo e commerciale.

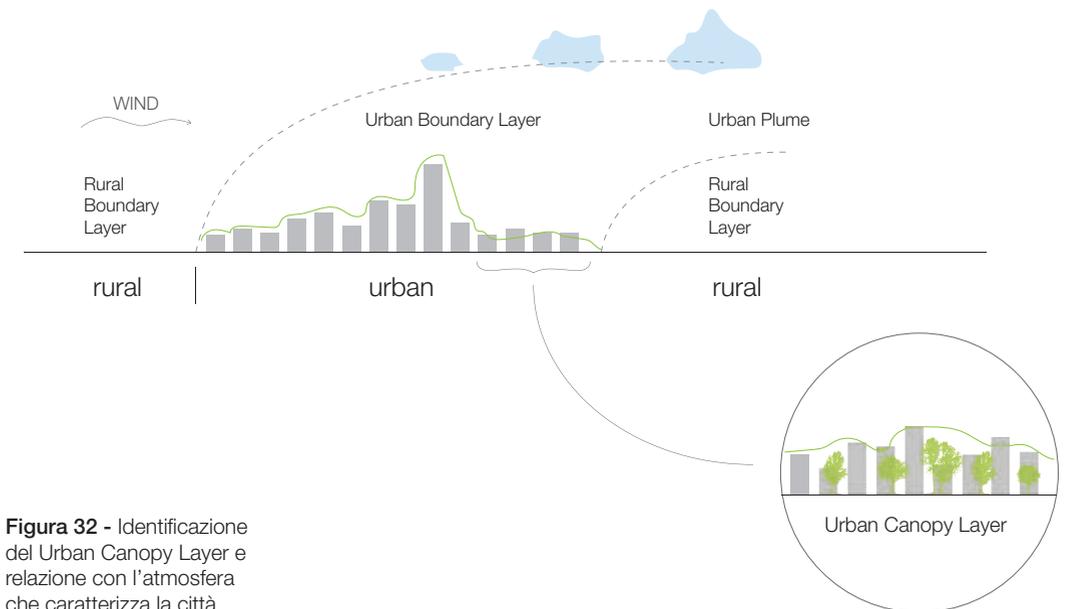
**Tabella 3** - Caratteristiche tecniche del sistema verde intensivo leggero piano  
[www.daku.it](http://www.daku.it)

La molteplicità degli effetti portati dall'inverdimento delle coperture in diversi ambiti prestazionali e la difficile dimostrazione scientifica di tali effetti, rendono complessa la misurazione di questi effetti al fine di dimostrarne i vantaggi ambientali, sociali ed economici. Ciononostante, nell'ambito della ricerca scientifica è convinzione diffusa che le tecnologie a verde pensile rendano possibile un notevole incremento del benessere percepito dall'utenza, se non altro perché è considerata efficace la compensazione tra la copertura verde e il terreno naturale sostituito dall'edificazione.

Tra le prestazioni delle coperture verdi oggetto di discussione, di maggiore interesse risultano quelle di mitigazione del microclima nei contesti urbanizzati.

L'inverdimento delle coperture risulta infatti in grado di garantire la continuità del complesso sistema ecologico dei contesti urbani, costituito da flussi di energia, materiali e di informazioni correlati alla componente antropica e naturale, pur con sensibili trasformazioni sia alla scala del singolo edificio che a quella più ampia di insediamento.

Alla scala di edificio, durante la stagione estiva la temperatura superficiale di una copertura esposta al sole può superare i 70 °C in presenza di manti impermeabili di colore scuro (es. guaine nere in bitume o ardesia).



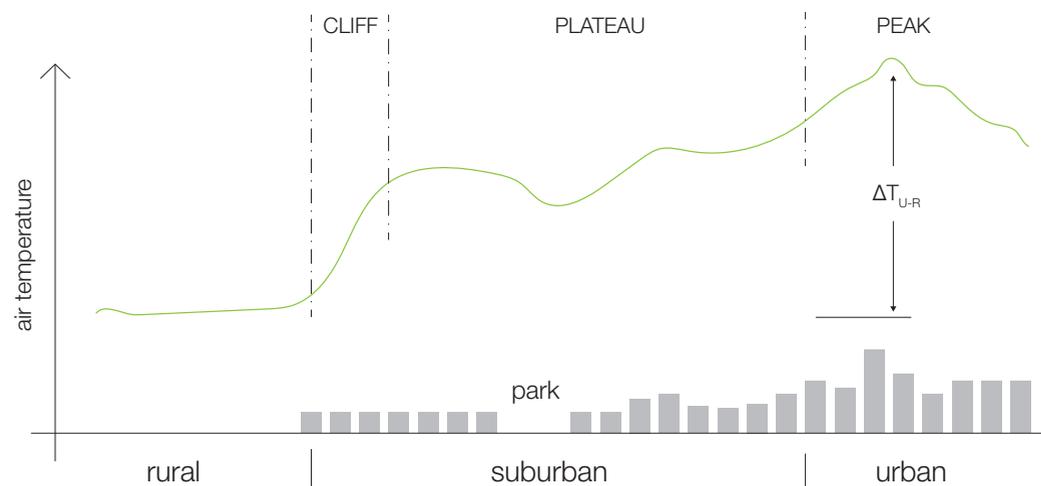
**Figura 32** - Identificazione del Urban Canopy Layer e relazione con l'atmosfera che caratterizza la città

All'interno del dibattito tema del *global warming*, il fenomeno cosiddetto dell'isola di calore, ossia l'incremento sensibile della temperatura dell'aria al di sopra di insediamenti di medie e grandi dimensioni, rappresenta una problematica tipica dei contesti fortemente antropizzati che comporta, alla scala di microclima, un incremento della temperatura percepibile.

In prossimità di un insediamento urbano di rilevanti dimensioni, è possibile riscontrare una discontinuità nello strato atmosferico a diretto contatto con la superficie terrestre definita Urban Boundary Layer: al suo interno, lo strato che inviluppa i volumi edificati si definisce Urban Canopy Layer.

L'incremento di temperatura nell'Urban Canopy Layer viene definito isola di calore: esso può assumere valori di 3÷4 °C nelle ore diurne ed accentuarsi fino a 8÷10 °C durante la notte<sup>10</sup>.

All'interno dell'Urban Canopy Layer la presenza di una zona verde porta ad una riduzione sensibile della temperatura dell'aria: l'efficacia di superfici trattate a verde, comprese quelle poste in copertura agli edifici, e realizzate a scala di edificio, è comunque maggiore nel contenimento dei consumi energetici che non nel contrasto all'isola di calore urbana.



Anche a seguito dell'analisi di tali prestazioni di riduzione dell'isola di calore a livello urbano dell'area, si ritiene necessario prendere in considerazione, in fase di sviluppo di iniziative di recupero del Porto Vecchio di Trieste, la possibilità di implementare soluzioni di copertura verde sugli edifici, in particolare su Magazzini e Capannoni, dove la superficie di copertura risulta importante.

Chiaramente, prima di procedere con questo tipo di soluzioni risulta necessaria una fase di analisi dei carichi statici generati sulle strutture di copertura, soprattutto nel caso in cui si opti per soluzioni di tipo intensivo leggero fruibile dal pubblico.

### Energie rinnovabili: energia termica dal mare

In una visione di sostenibilità complessiva degli interventi, risulta necessario trattare anche il tema delle energie rinnovabili. Affianco a soluzioni assodate, quali l'installazione di pannelli fotovoltaici per la generazione di energia elettrica, e pannelli solari per la produzione di energia termica, si propone l'implementazione di un sistema di teleriscaldamento che utilizzi come fonte l'energia termica contenuta nel mare: energia idrotermica.

Il ricorso alla soluzione progettuale di sfruttamento dell'energia idrotermica da fonte marina nell'area di Porto Vecchio nasce dalla disponibilità della risorsa nell'immediata adiacenza alla zona urbana e dalla necessità di implementare l'utilizzo di fonti rinnovabili in edifici sul fronte mare.

**Figura 33** - Distribuzione delle temperature nell'isola di calore urbana. Si noti la locale riduzione della temperatura in corrispondenza di un'area verde inserita nel tessuto urbano

**Figura 34** - Centrale di produzione di energia termica tramite lo scambio di energia con il mare a Drammen (Norvegia)  
[www.prweb.com/releases/2014/05/prweb11861133.htm](http://www.prweb.com/releases/2014/05/prweb11861133.htm)



Questa soluzione progettuale, peraltro non nuova e già utilizzata in diversi contesti, è aderente alle linee-guida della politica energetica nazionale e comunitaria, che mira a razionalizzare il sistema energetico, puntando sul comparto termico e riducendone drasticamente i consumi e le emissioni, nei settori del riscaldamento e raffrescamento degli edifici.

L'analisi progettuale si fonda sull'obiettivo di suggerire la tipologia di riqualificazione tecnologica ed energetica di impianti per la produzione di calore, in funzione delle risorse energetiche disponibili sul territorio; essa è la base su cui si fonda l'utilizzo dell'energia idrotermica e la sua integrazione con altre fonti rinnovabili.

### Energia idrotermica

L'energia idrotermica può essere definita come il calore presente nell'acqua del mare, lago, fiume e falda acquifera superficiale, la cui temperatura è principalmente modulata dall'irraggiamento solare e, per gli acquiferi sotterranei, in parte anche dal calore geotermico.

La risorsa disponibile in un determinato luogo dipenderà, pertanto, da diversi fattori, quali, ad esempio, la latitudine, la quota, la tipologia ed estensione dei bacini di ricarica e la presenza o meno del mare nelle vicinanze.

L'energia termica fornita dal Sole si accumula nel bacino inziale che costituisce la sorgente di calore a bassa temperatura e che ha il potenziale per alimentare impianti di riscaldamento e/o raffrescamento, opportunamente progettati e sostenuti da pompe di calore.

Ai fini di un utilizzo diretto di questa energia primaria è auspicabile che la quantità di risorsa disponibile e la sua temperatura media si mantengano su valori pressoché costanti per tutto l'anno. L'energia della risorsa acqua può essere trasferita tramite pozzi di derivazione, e/o reti di adduzione, agli scambiatori di una opportuna pompa di calore, che fornisce calore alle utenze per le specifiche esigenze di riscaldamento e raffrescamento.

<sup>10</sup> T.R. Oke, Boundary layer climates, Taylor & Francis, 2002

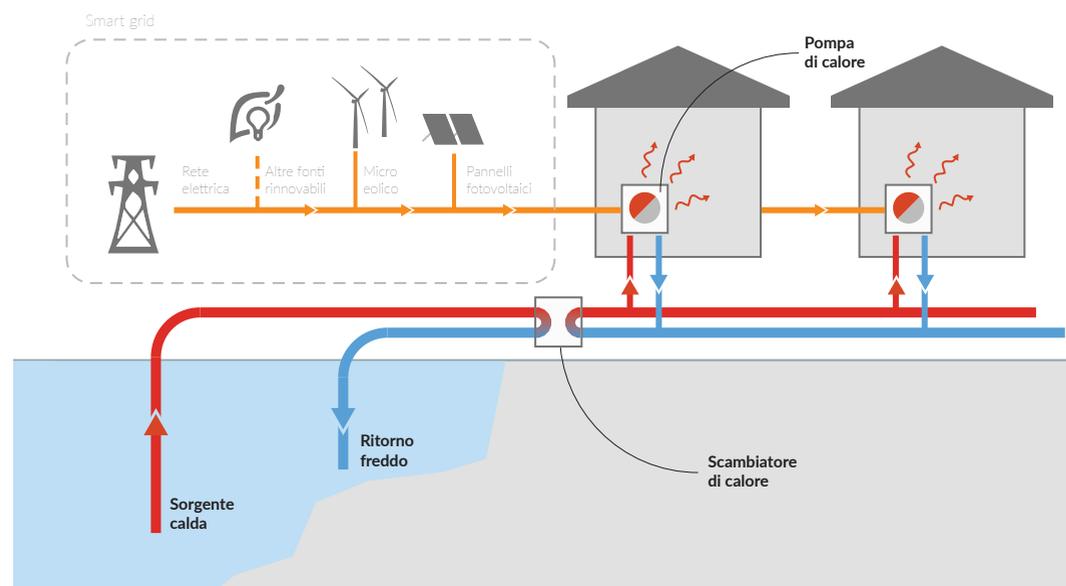
Oltre alla valutazione delle caratteristiche intrinseche del corpo idrico superficiale, è necessario anche operare nel pieno rispetto della normativa e dei vincoli legislativi. Gli impianti di utilizzo dell'energia idrotermica e geotermica richiedono il trasferimento della risorsa rinnovabile dalla zona di derivazione alle centrali termiche, poste al servizio di edifici nuovi o esistenti. Per questi ultimi, i nuovi impianti idrotermici possono contribuire a risolvere criticità tipiche legate all'utilizzo di fonti rinnovabili all'interno di centri storici. In queste zone, infatti, la scarsità di spazi comuni e l'eventuale presenza di vincoli di tutela storico/paesaggistica, impediscono l'installazione dei terminali per impianti di solare termico o fotovoltaico.

### Sistema ad anello aperto

Le tipologie impiantistiche per l'utilizzo dell'energia idrotermica sono essenzialmente di due tipi: impianti ad anello con circuito aperto e impianti ad anello con circuito chiuso.

Nel caso dell'anello aperto (*open loop*), l'impianto è composto da:

- circuito di climatizzazione;
- circuito della pompa di calore;
- eventuale circuito secondario in cui scorre un fluido termovettore;
- eventuale scambiatore di calore interposto tra circuito secondario e condotta di emungimento;
- circuito primario di derivazione e restituzione della risorsa naturale.



Il circuito secondario utilizza una miscela di acqua e fluido glicolato (glicole propilenico, glicole etilenico, alcol denaturato, metanolo o cloruro di calcio). Le condotte del circuito secondario sono solitamente in polietilene ad alta densità. Qualora lo scambiatore di calore del circuito secondario fosse immerso direttamente nel bacino naturale, allora il circuito aperto di derivazione e restituzione non sarebbe necessario e avremmo

**Figura 35** - Schema funzionale di impianto idrotermico ad anello aperto con circuito secondario e scambiatore di calore

un impianto a circuito chiuso. Lo scambiatore di calore separa idraulicamente i circuiti e non permette la contaminazione delle acque superficiali o di falda, utilizzate per lo scambio termico.

I due pozzi, prelievo e re-immissione, devono essere realizzati a una distanza tale da evitare la cortocircuitazione termica, che si verifica quando l'acqua termicamente alterata dall'impianto fluisce dal pozzo di re-immissione a quello di prelievo, senza riacquistare l'equilibrio termico iniziale.

I vantaggi di questi impianti, rispetto a quelli a circuito chiuso, sono:

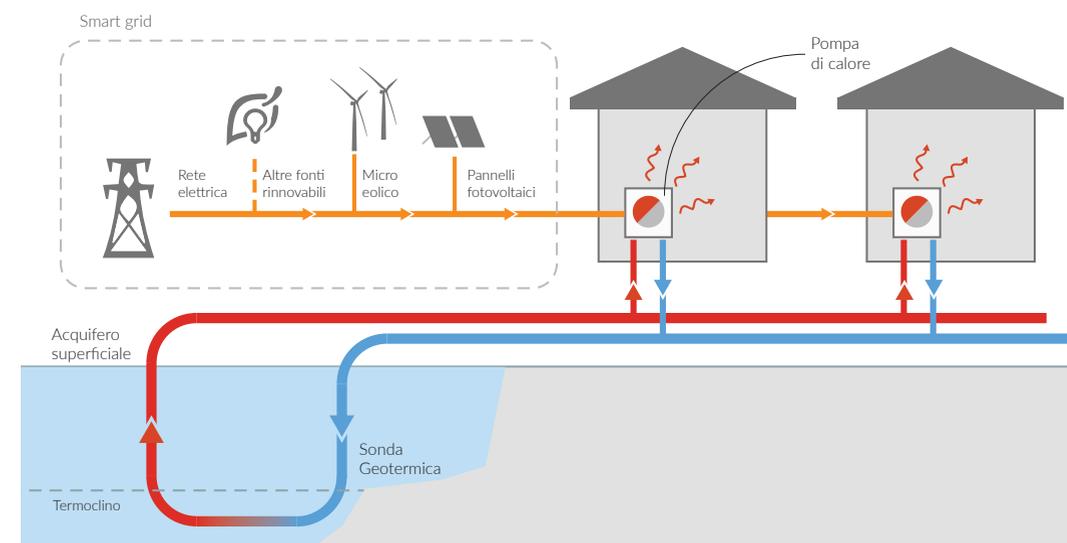
- maggiore disponibilità e portata della risorsa, e quindi maggior rendimento della pompa di calore;
- minore costo di installazione e minori spazi occupati (soprattutto per gli impianti di una certa dimensione).

L'eventuale svantaggio è il rischio di formazione di cricche e incrostazioni, che accorciano la vita utile dell'impianto e, soprattutto, l'intasamento dei filtri nelle opere di derivazione, che riduce la portata e manda in blocco la pompa di calore.

Inoltre, essi richiedono una più accurata progettazione e un monitoraggio della gestione degli impianti e degli impatti sulla risorsa e sull'ambiente. Infine essi richiedono un iter autorizzativo talvolta più lungo ed oneroso.

### Sistemi ad anello chiuso

Nei sistemi ad anello chiuso (*closed loop*), lo scambio termico può avvenire in bacini idrici superficiali, nei primi metri di sottosuolo (scambiatori orizzontali), o mediante sonde geotermiche verticali fino anche a 400 m di profondità. Questa tipologia di impianto è principalmente utilizzata nelle applicazioni geotermiche.



**Figura 36** - Schema funzionale di impianto idrotermico ad anello chiuso

### Pompa di calore

La pompa di calore acqua-acqua è l'elemento principale dell'impianto di climatizzazione degli edifici. Essa utilizza il calore scambiato con il sottosuolo, i corpi idrici o gli acquiferi. Poiché il calore contenuto nell'acqua

proviene, in gran parte, dall'energia del sole e, in misura minore, dalla geotermia, l'idrotermia a bassa temperatura è classificata come fonte di energia rinnovabile, nonostante la pompa di calore consumi di per sé energia elettrica, solitamente prodotta da fonti di energia non rinnovabili.

In un impianto di riscaldamento la pompa di calore permette di trasferire calore tra una "sorgente" a temperatura inferiore, rispetto ai terminali di riscaldamento dell'edificio, dove si distribuisce il calore. Viceversa, in un impianto di condizionamento, l'edificio è la "sorgente fredda" dalla quale viene estratto il calore.

Il vantaggio economico ed energetico di un impianto a pompa di calore è dato dal rapporto tra il calore immesso o estratto dall'edificio e il consumo complessivo di energia (solitamente elettrica, oppure calore in una pompa di calore ad assorbimento), espresso tramite opportuni coefficienti di prestazione (COP ed EER).

### Porto Piccolo

Un esempio di utilizzo dell'energia idrotermica dal mare, realizzato recentemente, risulta operativo a Porto Piccolo: intervento edilizio a destinazione turistica realizzato nel comprensorio della Baia di Sistiana, località turistica situata nelle vicinanze della Città di Trieste.

L'intervento, nel suo complesso, rappresenta un riutilizzo e una riqualificazione a destinazione turistica di una cava dismessa. Il progetto è articolato in una zona residenziale a destinazione turistica, una darsena, un litorale attrezzato ed altri servizi connessi all'attività turistica, quali attività commerciali, ristorazione e un centro benessere.



In fase progettuale, gli impianti di riscaldamento e di raffrescamento sono stati concepiti come alimentati da fonti rinnovabili, come l'idrotermia (acqua di mare e acqua di falda) ed il solare termico.

L'impianto utilizza un circuito ad anello aperto: l'acqua di mare viene prelevata alla profondità di alcuni metri nella piccola baia antistante e viene pompata alla sottostazione a livello del mare, dove sono ubicati gli scambiatori di calore.

**Figura 37** - Comprensorio turistico Porto Piccolo a Sistiana, esempio di teleriscaldamento con scambio di calore con l'acqua di mare [www.portopiccolosistiana.it](http://www.portopiccolosistiana.it)

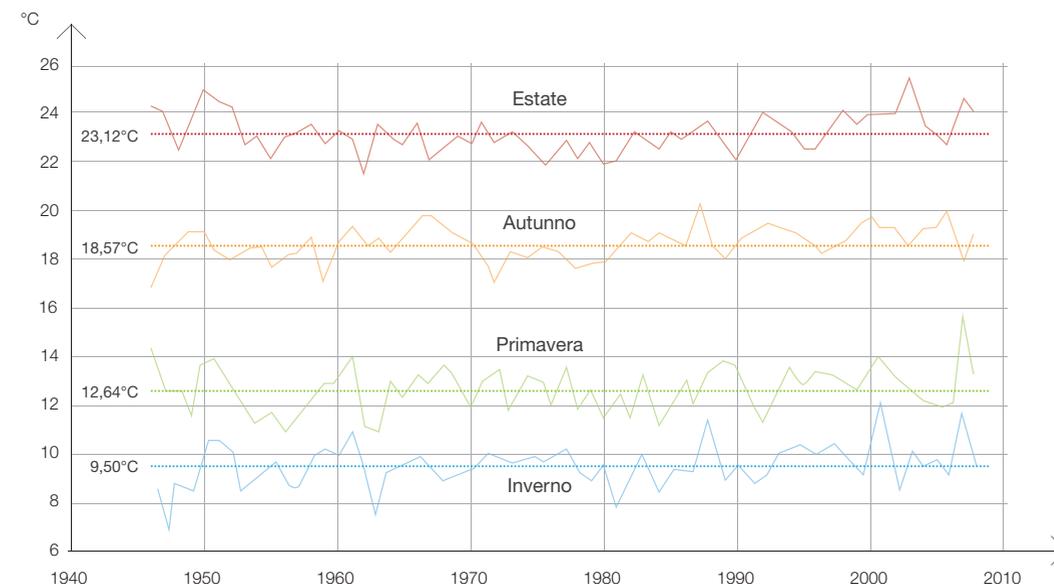
L'acqua di mare cede la propria energia termica ad un circuito chiuso secondario, dove scorre acqua tecnica. Il circuito chiuso rifornisce di energia a 17 sottostazioni di produzione, in ognuna delle quali è presente una o più pompe di calore, ciascuna a servizio di un gruppo di edifici.

L'impianto idrotermico è affiancato da un impianto di controllo e monitoraggio, interconnesso da una rete in fibra ottica. Le pompe di calore sono così in grado di garantire tutto il fabbisogno energetico, sia esso di riscaldamento che di raffrescamento, necessario all'intervento.

L'impianto risulta essere a tutti gli effetti un mini impianto di teleriscaldamento, infatti la rete va a servire tutte le residenze e le altre attività. Tutte le unità immobiliari sono fornite di impianto di distribuzione radiante a pavimento per il riscaldamento che garantisce un'ottima efficienza energetica.

### Proposta operativa

Il Porto Vecchio di Trieste, così come anche il Centro Storico della Città, è caratterizzato dalla vicinanza al mare, bacino caratterizzato, ad una profondità dell'ordine di una decina di metri, da una temperatura con limitate variazioni durante l'arco dell'anno: 14-16 °C d'estate e 9-11 °C d'inverno.<sup>11</sup>



**Figura 38** - Andamento della temperatura stagionale del mare a 2 m di profondità e corrispondenti valori medi a Trieste nel periodo dal 1946 al 2008

La soluzione proposta consiste nel realizzare un anello aperto (open-loop) nel quale viene fatta circolare l'acqua di mare, derivata ad una opportuna profondità e restituita in un punto distante, avente il compito di servire lungo il tracciato gli scambiatori di calore dei singoli edifici, che permettono lo scambio termico fra l'acqua di mare e il fluido glicolato nel circuito chiuso a monte dello scambiatore.

Questa soluzione si realizza tramite un'infrastruttura concettualmente semplice (mini-rete primaria di teleriscaldamento), dotata di tubazioni posizionate ad adeguata profondità in sezione stradale, per permettere a ciascun edificio di allacciarsi alla mandata e al ritorno dell'acqua di mare

<sup>11</sup> Piano di gestione della pesca in mare Friuli Venezia Giulia, Dicembre 2012

(in circuito aperto), oppure di allacciarsi ad una rete di acqua tecnica intermedia (in circuito chiuso), la quale richiede uno scambiatore comune con la risorsa mare.

Nel caso di una soluzione con circuito aperto ad acqua di mare, la seconda sezione dell'impianto è costituita da uno scambiatore di calore allacciato all'anello a circuito aperto e collegato, sull'altro lato, ad un anello a circuito chiuso, nel quale scorre un fluido glicolato, che trasferisce il calore alla pompa di calore a servizio degli edifici allacciati alla rete.

Le pompe di calore a singolo, o doppio stadio (ubicate negli edifici), trasferiscono il calore fornito dalla fonte idrotermica agli impianti di distribuzione e ai terminali di riscaldamento e raffrescamento. L'uso di pompe di calore a doppio stadio di compressione consente di produrre anche l'acqua calda sanitaria necessaria a soddisfare il fabbisogno degli utenti.

All'impianto di sfruttamento dell'energia geotermica e idrotermica è possibile attribuire oggettivi vantaggi, principalmente dal punto di vista energetico e ambientale, ma anche da un punto di vista gestionale ed economico. Questa soluzione permette infatti di:

- concentrare in un solo impianto la produzione di riscaldamento e raffrescamento, con vantaggi gestionali e ottimizzazione dei rendimenti e dei consumi;
- conservare l'autonomia gestionale degli edifici serviti e la produzione individuale di riscaldamento, acqua calda sanitaria e condizionamento ambiente;
- riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> per il riscaldamento urbano con l'eventuale azzeramento delle stesse, mediante l'inserimento di un sistema fotovoltaico o altre fonti di energia rinnovabile abbinato all'edificio servito dalle pompe di calore;
- ridotto impatto nei casi di riqualificazione di impianti esistenti in totale compatibilità con gli spazi precedentemente destinati alla centrale termica tradizionale;
- minori costi di manutenzione e maggior sicurezza, anche in considerazione del fatto che non ci sono gas infiammabili e fiamme libere in centrale termica.

Sul fronte economico e gestionale, precisi piani di fattibilità sviluppati su uno o più casi specifici potranno rappresentare un punto di partenza per definire piani economici e finanziari caratterizzanti interventi di questo tipo.

### **Smart Grid**

Un impianto di questo tipo rappresenta un caso pratico di applicazione delle "smart grid" (reti intelligenti) nell'ambito del riscaldamento urbano, in quanto la rete di distribuzione aperta al servizio dell'utenza pubblica e privata, è ampliabile e/o replicabile sul territorio.

Inoltre, l'impianto può essere integrato da impianti di generazione dell'energia elettrica da fonti rinnovabili, oltre che da sistemi di controllo dei consumi e previsione del fabbisogno, così da ottimizzarne la resa.

# Conclusioni

Nella prima parte del testo si riportano i risultati del lavoro di ricerca relativi allo stato dell'arte e al tema della sostenibilità declinata in relazione alle tematiche del recupero dell'edificato esistente e agli strumenti innovativi, che ne caratterizzano le relative azioni operative. Tali tematiche sono state affrontate nel primo anno di lavoro del Dottorato di Ricerca.

Nella parte centrale del testo si affronta la descrizione e l'analisi del caso studio individuato, si identificano i principali elementi di problematicità architettonica e le possibili strategie generali per sviluppare conseguenti azioni di recupero. In tale parte si approfondiscono le caratteristiche di una struttura informatica capace di raccogliere, gestire ed implementare i dati rilevati, e capace, inoltre, di accoglierne di futuri.

Nei capitoli conclusivi del lavoro vengono presentati i risultati ottenuti: la Piattaforma Informativa, già introdotta, e le Linee Guida per il Recupero Sostenibile del Porto Vecchio di Trieste.

La bibliografia analizzata - il comparto normativo e il panorama scientifico internazionale riguardo l'applicazione dei concetti di sostenibilità nel recupero degli edifici esistenti - consente di evidenziare come tali questioni siano tuttora in fase di sviluppo e sperimentazione. Gli edifici esistenti, soprattutto se di elevata valenza storico - architettonica, soggetti ad interventi di restauro sono spesso oggetto di deroga rispetto ai vincoli previsti dalla normativa, soprattutto relativamente all'efficienza energetica. D'altra parte metodologie e protocolli, che hanno l'obiettivo di sopperire alla situazione d'indeterminatezza di procedure, risultano ancora in fase sperimentale o, comunque, in continua evoluzione.

Nella fase di studio delle tecnologie e degli strumenti informatici a supporto delle attività di descrizione e progettazione dell'edificato esistente, è emersa la volontà, sia da parte della comunità scientifica che da parte delle *software house* leader di mercato, di considerare tali questioni di estremo interesse scientifico ed economico. In *primis*, i software di tipo BIM risultano sviluppati principalmente per la progettazione di nuove costruzioni ma, negli ultimi anni, si evidenzia sempre più la necessità di estendere tali strumenti anche allo sviluppo di interventi di recupero e riuso dell'esistente. D'altra parte da un punto di osservazione prettamente informatico, tali interventi risultano più complessi da affrontare e descrivere. In aiuto allo strumento di modellazione diventano sempre più importanti anche le tecniche di rilievo architettonico innovativo, quali le nuvole di punti e la fotogrammetria.

Parallelamente allo studio degli strumenti necessari alla modellazione del singolo edificio, considerando che nella fase applicativa del lavoro di ricerca ci si sarebbe dovuti confrontare con un'area di vaste dimensioni comprendente una molteplicità di edifici, si è dovuto affrontare anche la tematica dell'integrazione di modelli di edificio all'interno di un sistema GIS. In questo ambito è risultata fondamentale la possibilità di poter disporre di formati di interscambio dati standard, quali IFC e CityGML, a confermare il percorso di integrazione intrapreso.

Considerato che gli edifici esistenti si presentano come un insieme altamente eterogeneo in termini di epoca di costruzione, tecniche costruttive, materiali, prestazioni e valore storico - architettonico, la scelta del caso studio si è concentrata sull'area del Porto Vecchio di Trieste. Tale area è sostanzialmente caratterizzata da un numeroso insieme di edifici di straordinario carattere costruttivo, realizzati alla fine dell'Ottocento. Di questo insieme di edifici, sono state individuati gli elementi caratterizzazione tipologica, concentrando l'attenzione sul gruppo omogeneo più rappresentativo: Magazzini e Capannoni realizzati tra la metà e la fine XIX Secolo.

Durante le analisi generali sviluppate sull'intera area del Porto Vecchio di Trieste, sono state evidenziate le specifiche peculiarità della stessa, in termini di valore storico, architettonico e tecnologico. Tra gli aspetti analizzati, uno dei più interessanti risulta l'utilizzo di tecniche sperimentali del Calcestruzzo Armato, che ha visto tale area come oggetto di utilizzo di innovativi brevetti relativi a tale tecnologia.

Tra tutte le tecniche costruttive oggetto di sperimentazione presenti, la più rilevante risulta, per quanto riguarda la dimensione di impiego, la volta in calcestruzzo armato, che costituisce la gran parte dei solai di Magazzini e Capannoni. Questo elemento tecnico costituisce una particolare applicazione del Sistema Monier, caratterizzata da travi principali in ghisa a sostegno delle volte in calcestruzzo armato, in cui le barre seguivano uno schema a rete disposte nella parte inferiore del getto.

Il dibattito sul riuso dell'area di Porto Vecchio risulta di assoluta attualità, come confermato dal crescente interesse di Istituzioni e privati a seguito delle iniziative di sdemanializzazione e spostamento del regime di Punto Franco. Le potenzialità dell'area sono ben analizzate all'interno delle Linee Guida Strategiche prodotte da Ernst&Young per il Comune di Trieste.

Le informazioni raccolte e organizzate nella fase di esame e descrizione del caso studio, contribuiscono a costruire quel *background* necessario ad affrontare, con la proposta delle Linee Guida, le future problematiche

di carattere progettuale. La disponibilità della Piattaforma Informativa, sviluppata con questo lavoro, potrà costituire un'interessante strumento informatico capace, non soltanto di raccogliere le informazioni attualmente disponibili, ma di essere implementato con dati e proposte future.

La realizzazione di tale Piattaforma Informativa è da considerarsi strumento indispensabile in relazione alle notevoli dimensioni dell'area del Porto Vecchio, alla pluralità di edifici ed infrastrutture presenti, alla complessità degli strumenti urbanistici, alla numerosità di vincoli architettonici e concessioni presenti.

La costruzione della Piattaforma Informativa è stata sviluppata a partire da un inquadramento cartografico dell'area, impiegando in una prima fase la cartografia regionale geo-referenziata, corredata da quella storica. La base dati è predisposta a raccogliere informazioni afferenti le caratteristiche spaziali e tecnologiche del singolo edificio, integrate con un profilo storico completo dei dati di costruzione dei manufatti e specifiche di precedenti interventi.

La fase di sviluppo della Piattaforma Informativa si trasforma in una prova su strada di tecniche e strumenti innovativi in termini di caratterizzazione del patrimonio edificato analizzate in precedenza. Durante lo sviluppo si è potuto sperimentare l'utilizzo dell'approccio BIM, più precisamente nella sua connotazione di Heritage BIM, combinando nuvole di punti e tavole fotogrammetriche risultanti dalle campagne di rilievo svolte, per la costruzione di una libreria di famiglie parametriche e una serie di modelli di edifici. Modelli che, successivamente, sono stati inseriti all'interno di un sistema GIS, sfruttando formati di interscambio dati secondo gli standard internazionali.

Nella costruzione della Piattaforma Informativa si evidenziano subito tutti i difetti di gioventù dell'approccio H-BIM integrato in un sistema GIS. Le modalità di integrazione tra i vari strumenti risultano ancora acerbe e necessitano di un ulteriore lavoro di standardizzazione, mentre la configurazione dell'ambiente di lavoro è ad oggi troppo complessa e richiede troppe conoscenze informatiche per poter diventare d'uso comune nell'ambito dell'ingegneria edile, piuttosto che dell'architettura.

L'infrastruttura tecnica della Piattaforma Informativa può considerarsi un buon punto di partenza per completare la catalogazione degli edifici e presenta elevate potenzialità di integrazione di dati, anche non prettamente legati al singolo edificio. Nei diversi momenti di confronto durante il percorso di Dottorato di ricerca, è spesso emerso l'interesse a voler integrare i dati presenti con dati provenienti anche da discipline diverse

dall'architettura tecnica, come dati geologici o idrici.

La Piattaforma Informativa è stata realizzata secondo la logica della scalabilità futura, con l'obiettivo di consentire una semplice e veloce implementazione, anche da parte di terzi. Va detto che la catalogazione del materiale svolta durante questa fase ha reso più semplice e razionale lo stadio di sviluppo delle Linee Guida.

Tali Linee Guida prevedono, infatti, una catalogazione degli edifici presenti nell'area, organizzati, per quanto possibile, in gruppi omogenei a seconda delle diverse caratteristiche tipologiche, quali le tecniche costruttive, la distribuzione spaziale, la destinazione d'uso, i caratteri architettonici, etc... Per ogni categoria di edificio si sono definite le *best practice* per il recupero, tenendo in considerazione i vincoli architettonici, la tutela degli aspetti formali e delle tecniche costruttive originarie e le destinazioni d'uso previste, il tutto in una visione di sostenibilità complessiva degli interventi.

Analizzando le Linee Guida e la documentazione a corredo, risulta evidente come ci si trovi dinanzi ad un'area che presenta molteplici complessità, che rendono estremamente complicata ogni iniziativa di recupero e riuso che si voglia mettere in campo. Al contempo, anche in relazione alle due proposte parallele trattate al termine delle Linee Guida - implementazione di coperture verdi e utilizzo dell'acqua di mare per la realizzazione di un impianto di teleriscaldamento - vengono ulteriormente evidenziate le potenzialità dell'area, soprattutto se i numerosi *stakeholder* sapranno individuare il giusto bilanciamento tra assetto vincolistico e necessità tecniche di recupero degli edifici.

Le Linee Guida proposte nel capitolo conclusivo rappresentano un contributo metodologico di carattere generale, documento propedeutico a successivi approcci di carattere operativo e progettuale.

Concludendo, si può affermare che il lavoro svolto ha contribuito a razionalizzare le innumerevoli documentazioni attualmente disponibili sul tema, tramite l'uso di un'infrastruttura informatica (Piattaforma Informativa) e utilizzando approcci innovativi (integrazione di H-BIM e GIS), oltre che tecnologie *open source* (Server Linux Apache, Php, Database MySQL), rendendo il sistema ulteriormente implementabile anche da terzi.

Le Linee Guida di carattere generale per le azioni di recupero non possono considerarsi esaustive, ma viceversa, sperabilmente, un valido contributo alla disciplina, alle successive azioni di recupero che dovranno / potranno essere messe in campo nel prossimo futuro.

# Bibliografia

AA.VV., *3D Working Method, Digital Construction*, bips, Lautrupvang, Denmark, 2006

AA.VV., *AIA Document G202 – 2013, Project Building Information Model Protocol Form*, AIA.org, 2013

Ambrogio K., Zuppiroli M., *Energia e restauro – Il miglioramento dell'efficienza energetica in sistemi aggregati di edilizia pre-industriale tra istanze conservative e prestazionali*, Franco Angeli Edizioni, Milano, 2013

Amodeo F., Caroli A., *Trieste e il Porto: una storia per immagini*, Editoriale FVG, Trieste 2007

Soprintendenza archivistica per il Friuli Venezia Giulia (a cura di), *L'evoluzione delle strutture portuali della Trieste moderna tra '800 e '900*, Archivio di Stato di Trieste, Artigrafica, Trieste 2001

Athienitis A., O'Brien W., *Modeling, Design, and Optimization of Net-Zero Energy Buildings*, John Wiley & Sons, 2015

Autorità Portuale di Trieste (a cura di), *Il Porto Vecchio di Trieste*, Trieste, 2013

Azhar S., *Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry*, in *Leadership and Management in Engineering*, Vol. 11, Issue 3, American Society of Civil Engineers, Giugno 2011

Baldo G.L., Marino M., Rossi S., *Analisi del ciclo di vita – Materiali, prodotti, processi*, Edizioni Ambiente, Milano, 2005

Barduzzi O., *Variante del Piano Regolatore Portuale per l'ambito del Porto Vecchio di Trieste*, Autorità Portuale, 2006

Barillari D., *Gli edifici di Porto vecchio a Trieste: storia, architettura e tecnica*, Trieste, 2004

Berto R., Cechet G., Paolo R., Stival C.A., Valcovich E., *Le coperture verdi. Implicazioni tecnologiche, strutturali, energetiche ed economico-sociali*, EUT, Trieste, 2015

Berlo L., Laat R., *Integration of BIM and GIS: The Development of the CityGML GeobIM Extension*, paper presentato al 5th International 3D GeoInfo Conference, Berlino, 3-4 novembre 2010

BIMForum, *Level of Development Specification - draft*, BIMForum, 2013

BIMForum, *Level of Development Specifications*, BIMForum, 2015

BIMForum, *Level of Development vs. Level of Detail*, Level of Development Specification, BIMForum, 2015

Bolognesi C., *La rappresentazione nell'era BIM oriented*, Ingenio, 2016

Bonato D., *La Terza Crisi. Come sconfiggere la crisi e difendere il futuro di imprese e famiglie*, Milano, Edizioni Ambiente, 2011

Botteri G., *The free port of Trieste: a European history of free trading and shipping*, Editoriale, Trieste, 1988

Burrough P.A., McDonnel R.A., *Principles of Geographical Information System*, Oxford University Press, 1998

Calabrese E., *Sustain What's: l'equivoco dell'architettura sostenibile*, Trento, 2012

Caroli A., *Il Porto di Trieste. Tra riqualificazione dell'area storica e logistica intermodale*, Edizioni Italo Svevo, Trieste, 2004

Caroli A., *Punto franco vecchio: tecnologie sistemi costruttivi opere professionali e normativa nel porto di Trieste*, La Mongolfiera, Italia Nostra, Trieste, 1996

Centofanti M., Brusaporci S., Maiezza P., *Tra HistoricalBim e HeritageBIM: Building Information Modelling per la documentazione dei beni architettonici*, Università degli Studi dell'Aquila, ReUSO, 2016

Christophe P., *Le béton armé et ses applications*, Béranger, Paris, 1902

Clini C., *20-20-20: la nuova Politica Energetica Europea*, www.agienergia.it, 2008

Commissione mondiale sull'ambiente e lo sviluppo (a cura di), *Our Common Future*, Oxford University Press, U.S.A., 1987

Corti L., Rigano E., *Casaclima R – Edifici storici ad alta efficienza energetica*, Casaclima, Bolzano, 2013

Daily H., *Elements of environmental macroeconomics. Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability*, New York, Columbia University Press, 1991

Direttiva europea 2002/91/CE, *Direttiva del Parlamento Europeo sulle prestazioni energetiche degli edifici - Energy Performance Buildings Directive*, Gazzetta Ufficiale, 4 gennaio 2003

Direttiva europea 2009/28/CE, *Direttiva RES - Renewable Energy Sources*, Gazzetta Ufficiale, 23 aprile 2009

**Dore C., Murphy M.**, *Historic Building Information Modelling (HBIM)*, in **Brusaporci S.**, *Handbook of Research on Emergin Digital Tools for Architectural Surveying, Modelling and Representation*, Hershey, IGI Global, 2015

DPR 151, art. 7, e D.M. 7 agosto 2012, art. 6., Gazzetta Ufficiale, 1 agosto 2011

**Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K.**, *BIM Handbook*, John Wiley & Sons, New Jersey, 2008

**Ernst&Young** (a cura di), *Valorizzazione del Porto Vecchio di Trieste Executive Summary*, Ernst&Young, maggio 2016

**European Commission**, *Project Cycle Management Guidelines*, 2004

**European Commission**, *Energy, transport and environment indicators in Eurostat Pockebooks*, Publications Office of the European Union, Lussemburgo, 2013

**European Commission**, *Energy, transport and environmental indicator in Eurostat pocket book*, Publications Office of the European Union, Lussemburgo, 2011

**Förster L.** (a cura di), *Allgemeine Bauzeitung*, Dipartimento delle Opere Civili, Vienna, 1859

**Förster L.** (a cura di), *Allgemeine Bauzeitung*, Dipartimento delle Opere Civili, Vienna, 1876

**Förster L.** (a cura di), *Allgemeine Bauzeitung*, Dipartimento delle Opere Civili, Vienna, 1891

**Garagnani S.**, *HBIM nell'esistente storico – Potenzialità e limiti degli strumenti integrati nel recupero edilizio*, Ingegno, ottobre 2015

**GBC Italia** (a cura di), *Sistema di verifica GBC Historic Building – Per restaurare e riqualificare edifici storici*, GBC Italia, 2014

**Geiringer E.**, *Relazione intorno alla sistemazione del Porto di Trieste*, Stabilimento Artistico Tipografico G.Caprin, Trieste 1898

**Giglio A.** (a cura di), *Il Magazzino 26 di Triest. Documenti di un restauro*, Edizioni Lint, Trieste, 2011

**Gortan M.**, *1886 Trieste Porto Nuovo*, Studio LT2, Venezia, 2008

**Gruppo di Lavoro I**, *Intergovernmental Panel On Climate Change, Climate change 2007 – Principi Fisici di Base*, Rapporto di Valutazione del Comitato Intergovernativo per i Cambiamenti Climatici, Ginevra, 2007

**Guagnini A.**, *Una nuova tecnica del costruire: il calcestruzzo armato*, in *Il Contributo italiano alla storia del Pensiero*, Treccani, Roma, 2013

**Holzer D. et al**, *BIM! What is it?*, Australian Institute of Architects, 2012

**Kolbe T., Gröger G., Plümer L.**, *CityGML - Interoperable Access to 3D City Models*, paper presentato al *International Symposium on Geo-information for Disaster Management*, Delft, The Netherlands, 21 - 23 marzo 2005.

**I.C. Braid**, *Designing with Volumes*, Cantab Press, Cambridge University, Cambridge (UK), 1974

**Intelligent Energy Europe** (a cura di), *Progetto Serchurba – Una guida per la sostenibilità energetica in edifici e centri storici*, Intelligent Energy Europe, 2013

**Khan S.A.**, *Sviluppo sostenibile, un'idea snaturata*, Le Monde Diplomatique, 2002

**Laiserin J.**, *Building Information Modelling White Paper*, Autodesk, 2002

**Latouche S.**, *Breve trattato sulla decrescita serena*, Bollati Boringhieri, Torino, 2008

**Letellier R.**, *Recording, Documentation and Information Management for the Conservation of Heritage Places*, The Getty Conservation Institute, 2007

**Lucchi E., Pracchi V.**, *Efficienza Energetica e Patrimonio Costruito – La sfida del miglioramento delle prestazioni nell'edilizia storica*, Maggioli Editore, Milano, 2013

**Marsh C.**, *Reinforced concrete*, Van Nostrand Company, New York, 1904

**Mayer H.F., Winkler D.**, *In allen Häfen war Österreich*, Vienna 1987

**McDonough W., Braungart M.**, *Dalla culla alla culla. Come conciliare tutela dell'ambiente, equità sociale e sviluppo*, Blu Edizioni, Torino, 2003

**Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J., Behrens III W. W.**, *The Limits to Growth*, Universe Books, Roma, 1974

**Mogorovich P., Mussio P.**, *Automazione del Sistema Informativo territoriale. Elaborazione Automatica dei Dati Geografici*, Masson, 1988

**Molesti R.** (a cura di), *Estratto dal volume Economia dell'ambiente e Bioeconomia*, Franco Angeli, Milano, 2003

**Much K.**, *Über den bau der Neuenn lagherhauser in Triest*, in *Allgemeine Bauzeitung*, Vienna, 1861

**Nicholas G.R.**, *Bioeconomia*, Bollati Boringhieri, Torino, 2004

NTC08, *Norme tecniche per le costruzioni*, 14 gennaio 2008

**Oke T.R.**, *Boundary layer climates*, Taylor & Francis, 2002

**Osello A.**, *Il futuro del disegno il BIM per ingegneri e architetti*, Dario Flaccovio Editore, 2012

**Pam H.**, *Das gesunde Haus – Das kranke Haus und seine Heilung*, Reichl Verlag, 1968

**Panjek G.**, *Trieste mercantile 1861-1914, in L'evoluzione delle strutture portuali della Trieste moderna tra*, Artigraficheriva, Trieste, 2004

**Pozzetto M.**, *Il Porto Vecchio di Trieste: alcune riflessioni nell'A.D. MMI*, in *Archeografo Triestino*, serie IV, volume LXI (CIX della raccolta), 2001

**Raja R.**, *Architettura industriale. Storia, significato e progetto*, Dedalo Editore, Milano, 2002

**Regione Friuli Venezia Giulia**, *Piano di gestione della pesca in mare Friuli Venezia Giulia*, Dicembre 2012

**Rifkin J.**, *La terza rivoluzione industriale*, Milano, Mondadori, 2011

**Rizzarda C.**, *Level of Development: cosa, quando e come?*, LinkedIn Pulse, ottobre 2015

**Salman A. et al.**, *Building Information Modeling (BIM): A New Paradigm for Visual Interactive Modeling and Simulation for Construction Projects*, International Conference on Construction in Development Countries, Pakistan, 2008

**Seri A.**, *Trieste nelle sue stampe*, Editore Italo Svevo, Trieste, 1979

**Smith D.K., Edgar A.**, *Building Information Modeling (BIM)*, National BIM Standard Project Committee, USA, 2008

**Ente Italiano di Normazione** (a cura di), *Sostenibilità ambientale nelle costruzioni - Strumenti operativi per la valutazione della sostenibilità Inquadramento generale e principi metodologici*, Istituto per l'innovazione e trasparenza degli appalti e la compatibilità ambientale, 2015

UNI 8290, *Edilizia residenziale. Sistema tecnologico*

UNI11235:2015, *Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione, il controllo e la manutenzione di coperture a verde*

**Valcovich E., Berto R., Stival C.A.**, *Edifici di valore storico-architettonico. Strumenti operativi di supporto alla progettazione d'interventi di recupero*, in *Il Progetto Sostenibile* N.34-35, Gorizia, dicembre 2014

**Valcovich E.**, *Due edifici industriali del Porto Vecchio di Trieste*, Lint, Trieste, 1992

**Valcovich et. al.**, *Methodological Approach for Recovery and Energetic Requalification of Historical Buildings*, in *Proceedings of the workshop on geothermal energy - Status and Future in the Peri - Adriatic Area*, Veli Losinj (HR), 25-27 Agosto 2014

**Venier G.**, *No, we can't. Il porto di Trieste: identità e vocazione*, Place Activator a cura di Vuga B., 2013

