

Università degli Studi di Trieste
31^ Ciclo di Dottorato
in Ingegneria e Architettura

Riqualficazione sostenibile del sistema urbano fronte-mare di Trieste. Il caso studio del Porto Vecchio.

Settore scientifico-disciplinare:

ICAR/10 – Architettura Tecnica

Dottorando:

Nicola Strazza

Anno Accademico:

2017/2018

Abstract

La ricerca mira ad esplorare alcune soluzioni per la riqualificazione funzionale ed energetica di edifici collocati nel sistema urbano fronte-mare della città di Trieste, avendo particolare riguardo all'area di Porto Vecchio e con il fine di contribuire alla produzione di linee guida omogenee di intervento.

In questo contesto gli edifici industriali, come quelli del Porto Vecchio, rappresentano uno stock immobiliare che è stato un driver per la trasformazione della città al tempo della sua costruzione e che oggi, con iniziative messe in atto per la loro conversione e riutilizzo, si propone nuovamente come importante modificatore della città.

L'assunzione di valore di tali patrimoni industriali in Italia si trasferisce frequentemente in varie forme di vincolo da parte delle Soprintendenze per i Beni Ambientali e Architettonici, che agiscono, ad esempio, sulla conservazione parziale di elementi decorativi o con una concertazione con proprietari e progettisti sulla trasformazione dell'impianto storico.

Nel caso della rifunzionalizzazione e riqualificazione energetica di questo importante patrimonio industriale nazionale non si hanno linee guida specifiche, né un sistema di schedatura proprio per il loro censimento e catalogazione.

La ricerca si colloca in tale contesto e propone, con una doverosa visione olistica del sistema edificio-impianto che porta a

comprendere, tra gli interventi di riqualificazione e manutenzione, anche le strategie operanti sull'intorno dell'edificio, un contributo alla stesura di linee guida a sostegno di azioni per l'efficienza energetica di azioni per la rifunionalizzazione degli edifici del patrimonio culturale industriale.

Lo scopo ultimo è quello avvicinare tali azioni agli standard ambientali minimi ai quali sono sottoposte, ad esempio, le nuove costruzioni attraverso lo studio di azioni conservative e reversibili, ottimizzando il sistema edificio impianto per sfruttare la massima quota di energia rinnovabile nel bilancio energetico complessivo dell'edificio, o dell'area urbana di afferenza.

Indice

Abstract	03
Indice	05
Capitolo I. Introduzione	07
Note storiche sulla costruzione del Nuovo Porto di Trieste, ora Porto Vecchio	10
L'attuale assetto portuale della città	15
Iniziative messe in atto in passato per il recupero della vecchia area portuale	17
Recenti prospettive sul recupero dell'area di Porto Vecchio	20
Capitolo II. Riutilizzo adattivo dei magazzini portuali	23
Rifunzionalizzazione e conservazione dei manufatti	30
Letture tipologica	33
Ballatoi	34
Perron	35
Facciata: avancorpi e aperture	36
Copertura	39
Gru idrauliche e rete di distribuzione idrodinamica	39
Tecniche costruttive	41
Ipotesi di scenario	45
Capitolo III. Riqualificazione sostenibile per il riutilizzo dei magazzini portuali	49
Efficienza energetica nel patrimonio storico-culturale	49
Quadro normativo e di indirizzo programmatico	53
Analisi climatica	58
Analisi a scala di edificio	63
Scenario di analisi 1: restauro conservativo	63
Scenario di analisi 2: isolamento interno	66
Scenario di analisi 3: pelle interna	69

Risultati	71
Analisi a scala urbana	74
Risorse rinnovabili locali	79
Linee guida omogenee per la riqualificazione energetica del waterfront	85
Infrastrutture urbane di riferimento	85
Sistema ambientale/spaziale	86
Sistema tecnologico	87
Conclusioni	89
Appendice 1.	
Approfondimenti sulla riqualificazione energetica dell'involucro opaco	91
Modellazione numerica	91
Indagini termiche	94
Analisi termoigrometrica dell'involucro massivo	99
Appendice 2.	
Indagine per lo sfruttamento idrotermico dell'adduttrice principale	111
Monitoraggio con sonde CTD	111
Installazione nuovi sensori	115
Risultati e conclusioni sul monitoraggio febbraio – maggio 2017	120
Appendice 3.	
Piattaforma informativa BIM-GIS	127
Bibliografia	131

Il lavoro di ricerca condotto si è posto l'obiettivo di approfondire il tema dell'efficienza energetica e della sostenibilità ambientale nel caso di interventi che riguardano edifici di significativo valore storico-culturale, in particolare facendo riferimento al contesto climatico triestino e alle risorse rinnovabili disponibili in loco.

In questo quadro la tabella di marcia europea per il 2050 in tema di energia (Commissione Europea, 2011) evidenzia, tra i numerosi scenari di transizione energetica, l'efficacia di alcune "key-actions" di seguito riportate in ordine di importanza:

- "sviluppare un'elevata efficienza energetica nei sistemi e nei processi, anche attraverso il recupero di edifici esistenti";
- "massimizzare lo sfruttamento di energia da fonti rinnovabili locali";
- "sviluppare reti intelligenti per la distribuzione e stoccaggio dell'energia".

Infatti, a livello globale, la domanda di energia degli edifici contribuisce per circa 40% nelle emissioni finali di CO₂ e da un recente studio emerge che per rimanere all'interno dello scenario 2DS¹ risulta necessario ridurre la domanda di energia negli edifici per almeno l'80% (Global Alliance for Buildings and Construction, 2016).

Il lavoro parte dall'analisi del patrimonio esistente per poi concentrarsi sullo studio strategie per la riqualificazione fisica, funzionale ed energetica delle diverse tipologie edilizie che connotano il waterfront di Trieste, considerando quale caso studio l'area di Porto Vecchio. Di fatto gli immobili inseriti in questa fascia costiera si caratterizzano per la loro valenza storica, urbanistica ed economica e tale caratteristica, pur rendendo complesso l'approccio al recupero, esprime un grande potenziale per la riduzione dei consumi e delle emissioni (Fabbri, 2013). Si stima che solo in Europa, la riqualificazione del patrimonio

¹ Scenario 2DS (2 Degree Scenario), ovvero calmierare l'aumento della temperatura del pianeta a "soli" 2°C al 2050.

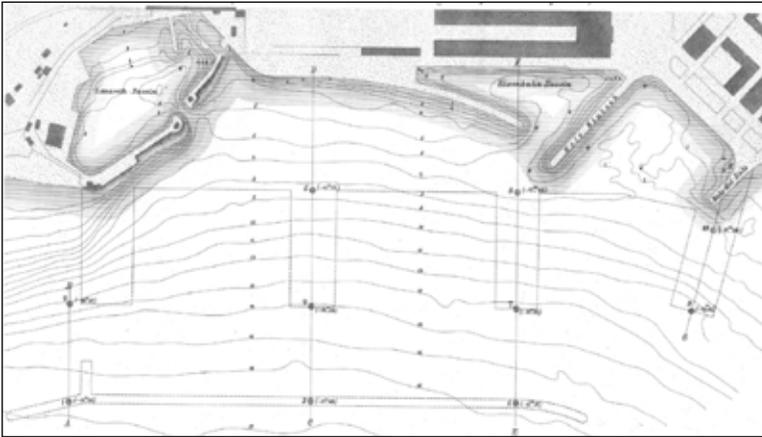
storico potrebbe sottrarre 180 Mt di CO₂ entro il 2050 e, allo stesso tempo, aumentare le condizioni di comfort negli spazi e nell'ambiente (Troj, 2011).

Lo sviluppo della lavoro ha richiesto un approccio multidisciplinare, durante il quale è stato possibile avviare un dialogo in un quadro di conoscenza condivisa tra figure specifiche come progettisti, tecnici specialistici e conservatori (Troj and Bastian, 2014) (De Santoli, 2015) (Regione Veneto, 2010).

Il risultato della ricerca si propone come linea guida per l'identificazione di strategie di intervento e i principali obiettivi a cui rispondono tali strategie (Morandotti et al., 2011) sono:

- ridurre la domanda energetica;
- fornire un adeguato comfort interno;
- conservare i valori storico-architettonici delle opere.

Il caso studio individuato, il Porto Vecchio, rappresenta oggi per Trieste una notevole opportunità per il rilancio della città nel panorama europeo in quanto risulta essere un'area inutilizzata nelle dirette adiacenze del centro cittadino. È attualmente ancora priva di una definitiva destinazione d'uso ed un esempio di innovative tecniche costruttive di carattere storico, nelle quali la popolazione riconosce il valore storico-identitario della città.



*Figura 3 :
L'impronta dell'attuale Porto
Vecchio - fonte Allgemeine
Bauzeitung, Vienna, 1876.*

Si decide di collocare il Porto nella rada a nord-est della città, così da essere in prossimità del nuovo scalo ferroviario e favorire quindi il trasferimento delle merci per il cambio della modalità di trasporto.

Il progetto prevede la realizzazione di cinque moli (moli 0, I, II, III e IV) e una diga, così da individuare dei bacini di acqua calma all'interno dei quali effettuare il carico/scarico delle navi.

L'orditura delle banchine è invece dettata dal principale vento che soffia sulla città, la Bora; è infatti importante fare in modo che, durante le fasi di ingresso e uscita, la nave esponga al vento la superficie minore possibile.

Alcune fra le principali problematiche per la realizzazione delle opere marittime sono rappresentate dal fondale paludoso, costituito da circa 20 metri di fango, dalla necessità di allontanare le acque attraverso importanti opere idrauliche e dalla necessità di realizzare fondazioni profonde.

L'ingegnere Talbot collabora quindi con l'ingegnere M. H. Pascal, il quale si era già occupato del Porto di Marsiglia (Francia).

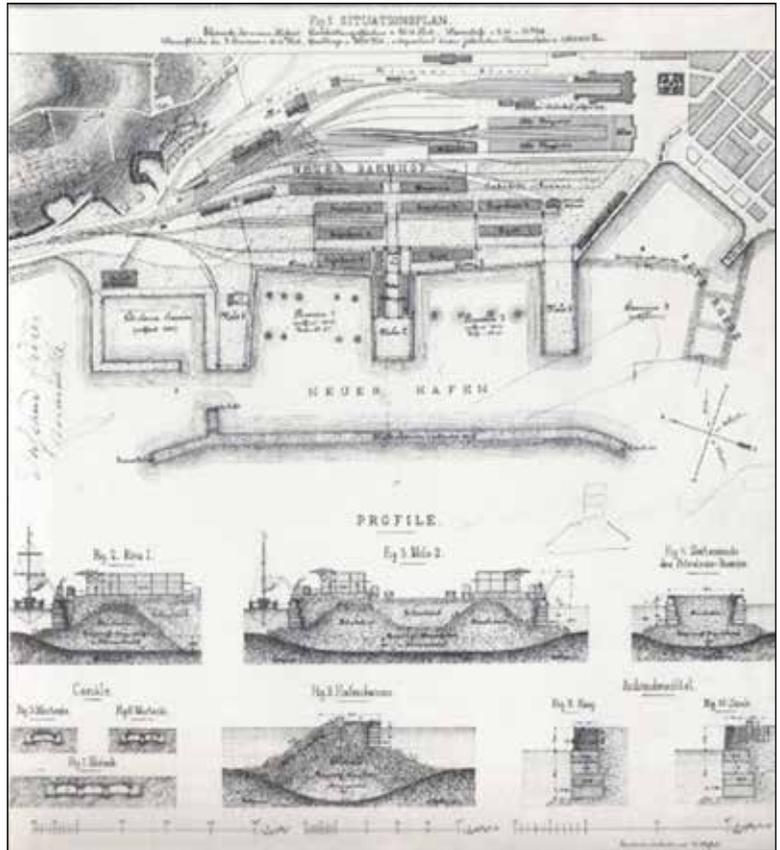


Figura 4:
Tavola di progetto delle opere
a mare - fonte Allgemeine
Bauzeitung, Vienna, 1876.



Figura 5:
Il Porto appena ultimato il
molo IV in una foto di fine Ot-
tocento - fonte archivio storico
Autorità Portuale di Trieste.

La prima fase di lavori inizia solo nel 1868 ed è completata nel 1884, sotto una pressione commerciale notevole originata dal completamento, nel 1869, del Canale di Suez.

Quest'ultima infrastruttura è diventata fondamentale per i traffici commerciali internazionali tra Occidente, Medioriente e Oriente, accorciando di 7500 miglia marittime la distanza tra Mumbai e Trieste.

I moli I, II e III vengono completati, nell'ordine, nel 1875, 1879 e 1882, mentre per I moli 0 e IV bisogna aspettare il 1894.

La gestione delle operazioni portuali svolte a terra è affidata all'ente portuale Pubblici Magazzini Generali, il quale realizza, tra il 1883 e il 1884, numerosi magazzini e hangar:

- Magazzini 7, 10, 18, 19, 20, 26;
- Hangar: 6, 9, 17, 21, 22, 24, 25.

La recinzione del Porto avviene nel 1891, in seguito alla perdita del diritto di Porto Franco per tutta la città di Trieste, e l'istituzione dei Punti Franchi in corrispondenza delle aree portuali. Il Porto vede quindi la sua nascita durante un periodo lungo quasi un secolo, cui è corrisposto un incremento dei traffici marittimi e delle tecniche di commercio e trasporto delle merci. Pertanto, il nuovo Porto della città (oggi Porto Vecchio) si presenta subito inadeguato allo scopo per cui è stato realizzato:

- Spazi non sufficienti al volume delle merci trattato;
- Impossibilità di espansione;
- Fondali troppo bassi (6-7 metri) per accogliere le nuove grandi navi.

Nasce per questo motivo l'idea di adeguare l'area appena realizzata e sviluppare un'ulteriore area portuale nel vicino vallone di Muggia e istituire un nuovo Punto Franco. Nel 1900 viene quindi firmato un accordo tra Comune e Stato per la realizzazione di una nuova area portuale. Il Porto sin qui realizzato diventa così il Porto Vecchio.

L'attuale assetto portuale della città

Il Porto di Trieste, nella sua interezza, è un'entità territoriale che comprende tutto il waterfront della città. Si configura come uno dei 23 porti italiani gestiti da un'Autorità Portuale² ed è, attualmente, primo in Italia per traffico merci.

Risulta suddiviso in cinque aree, corrispondenti a cinque punti franchi.

- Il Punto Franco Vecchio, adibito a fini commerciali;
- Il Punto Franco Nuovo, adibito a fini commerciali;
- Il *terminal del legname*, detto *scalo legnami*, adibito a fini commerciali;
- Il *terminal industriale*, adibito a fini industriali;
- Il *terminal petroli* che serve l'oleodotto Trieste-Ingolstadt, adibito a fini industriali;

Il Porto Vecchio si colloca nella parte nord di Trieste e conta più di un milione di metri cubi di magazzini/hangar, divisi in quelli che, in origine, erano 38 organismi edilizi, spesso muniti di gru, elevatori e/o montacarichi.

La presente configurazione del Porto Vecchio vede i moli 0, I, II e III inutilizzati. Il molo IV ospita un Silo per il parcheggio delle autovetture. Il molo V viene utilizzato per l'attracco delle navi da crociera in visita alla città. Il molo VI è utilizzato per il com-

² Ente pubblico italiano non economico istituito con la Legge 28 gennaio 1994, n. 84 sul riordino della legislazione in materia portuale; gli è conferita autonomia amministrativa, economica e finanziaria. Sono dotati di personalità giuridica pubblica e sottoposti alla vigilanza del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti e del Ministero dell'Economia e delle Finanze.

Il suo compito è legato al controllo delle operazioni portuali e alla manutenzione delle parti che possiede in gestione.

mercio. Il molo VII viene utilizzato per accogliere le grandi navi merci. Il *terminal Ro-ro/Ferry* è utilizzato per ospitare i traghetti in arrivo e in partenza da/per la città di Trieste.

Il vigente *Piano Regolatore Portuale* (approvato nel 2015) prevede il trasferimento delle residue attività portuali dal Porto Vecchio alla nuova piattaforma logistica e la restituzione dell'area al demanio comunale. Il passaggio è avvenuto formalmente nel 2015 e, anche se oggi risulta ancora in discussione il posizionamento della linea di confine tra le due gestioni, grazie anche ai finanziamenti ricevuti, il dibattito sul recupero dell'area si è rafforzato.

Iniziative messe in atto in passato per il recupero della vecchia area portuale

L'interesse verso l'area è cresciuto negli ultimi anni: sono stati proposti e discussi numerosi progetti e iniziative per la riconversione dell'area. Tra i piani ed i progetti sviluppati, a partire dal 1970, si citano alcune proposte elaborate da studi di rilievo nazionale ed internazionale:

- Linee guida per lo sviluppo dell'area di Trieste, elaborate dall'arch. K. Tange nel luglio 1971;
- Concorso per il Palazzo della Regione FVG, Aldo Rosso, Giorgio Grassi e Guido Canella, 1974;
- Progetto Bonifica e Studio per l'espansione del centro urbano di Trieste sull'area del Porto Vecchio e della Stazione Centrale, sviluppato dal gruppo IRI IRALSTAT - i cui coordinatori sono gli arch. L. Semerani, A. Latini, C. Giannini - nel settembre 1990;
- Progetto Polis (1991), ad opera dell'arch. N. Savarese e Studio Valle Associati, consistente in uno Studio sulle opportunità alle attività commerciali e industriali nel Porto Franco di Trieste;
- Proposte per il collegamento dei due punti franchi e per una soluzione al problema del traffico caotico cittadino, ad opera dell'ing. G. Lodato e risalente al novembre 1991;
- Progetto per il recupero di un primo lotto nell'ambito del Porto Vecchio di Trieste ad uso commerciale-portuale, dire-

zionale e turistico (Progetto Tergeste) ad opera dello Studio Berni Varini, novembre 1995;

- Proposta per la riqualificazione del Porto di Trieste da svolgersi in tre filoni di intervento da parte dell'Associazione Trieste Futura, settembre 1997;
- Proposta dell'Associazione TriestExpo, 1999;
- Progetto per il recupero del Porto Vecchio di Trieste, a cura degli arch. Stefano Boeri, Gianandrea Barreca, Giovanni La Varra, Pietro Cordara, redatto nel febbraio 2001.

Ad eccezione della prima, le proposte citate richiamano l'intervento di salvaguardia del Porto Vecchio predisposto nel 1989 dalla Soprintendenza per i Beni Culturali ed Architettonici, con il quale si introduce una riflessione sulla morfologia dei luoghi che porta ad una più estesa trasformazione e ad una diversa lettura di questi spazi, in una attenzione che accomuna l'area del Porto Vecchio ad altre aree storiche della città (Borgo Teresiano, Borgo Giuseppino, Borgo Franceschino).

Le logiche di intervento non possono pertanto derogare da una visione di tutela attenta ai valori storico-architettonici. In termini generali dovrebbe 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.

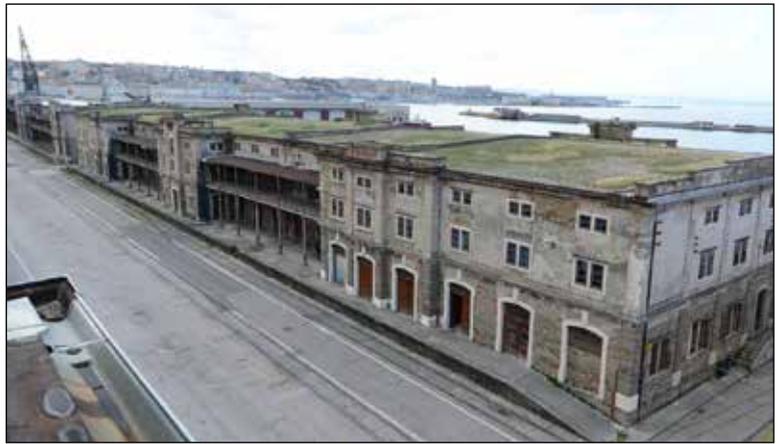
Nel 2005 fu affidato all'ing. Barduzzi l'incarico di redigere la Variante al Piano Regolatore Portuale riguardante l'area del Porto Vecchio, la quale successivamente divenne parte integrante del Piano Regolatore Generale Comunale e del Piano Regolatore Portuale. La Variante sviluppata dall'ing. Barduzzi configura nell'area di Porto Vecchio l'esplicarsi di attività tipiche della "portualità allargata", che comprendono, oltre a quelle strettamente portuali, anche attività economiche, direzionali, logistiche, di comunicazione, di formazione e ricerca, ricettive, ricreative, commerciali e di ristorazione, oltre ad attività diportistiche, anche a carattere sportivo, e terminal traghetti.

Nel 2009 viene avviata l'ultima iniziativa per la riqualificazione del Porto Vecchio, promossa da una cordata formata da imprese di costruzione e finanziarie, riunite sotto la società Portocittà SPA. La proposta, seppur sia stata forse una delle più concrete a livello di sviluppo, è naufragata nel 2013 a causa di difficoltà legate alle concessioni sulle aree. Tra i principali interventi realizzati vi sono:

- Restauro del Magazzino 26;
- Restauro della Centrale Idrodinamica;
- Restauro della Sottostazione elettrica;
- Restauro del Magazzino 1;
- Manutenzione straordinaria del Molo 0;
- Manutenzione straordinaria ai Varchi Doganali;
- Riqualificazione e potenziamento del Molo VI.

Recenti prospettive sul recupero dell'area di Porto Vecchio

L'area di Porto Vecchio risulta oggi in quasi totale disuso e i manufatti presenti risentono fortemente dell'incuria che ne consegue.



*Figura 6:
Stato di conservazione del
magazzino 9 - foto scattata
dall'autore nel marzo 2016.*



*Figura 7:
Stato di conservazione del
magazzino 25. Marzo 2016
foto scattata dall'autore nel
marzo 2016.*

Il 9 luglio 2015 viene siglato l'accordo per la sdemanializzazione dell'area di Porto Vecchio e il trasferimento del patrimonio alla dotazione del Comune di Trieste. All'inizio del 2016 viene emanato un decreto³ che rimuove il regime di punto franco dall'area di Porto Vecchio. Poco dopo, l'Amministrazione Comunale di Trieste ha incaricato Ernst&Young, importante società di revisione, di sviluppare le "linee guida strategiche per la valorizzazione del Porto Vecchio di Trieste" o meglio inquadrata come "indagine esplorativa di mercato". Nel maggio 2016 sono stati resi noti i primi risultati intermedi del lavoro attraverso il documento destinato alla consultazione pubblica "Linee guida strategiche. Valorizzazione del Porto Vecchio di Trieste. Executive Summary".

Dallo studio emerge, già dalla prima tappa intermedia, come la valorizzazione dell'area di Porto Vecchio possa essere il progetto più importante per il rilancio della città di Trieste. 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;

³ Spostamento del Regime giuridico internazionale del Punto Franco dal Porto Vecchio di Trieste ad altre zone. Accessibile all'url: <http://www.porto.trieste.it/wp-content/uploads/2016/01/Decreto-Comm.-Gov.-spostamento-punto-franco-Porto-Vecchio-TS.pdf>

- Ospedaliero;
- Musei ed esposizioni;
- Teatri e sale spettacolo;
- Centri congressi e spazi per eventi;
- Ospitality.

Diverse iniziative mantengono vivo l'interesse e la discussione attorno al riutilizzo dell'area portuale ma non risulta possibile ancora tracciare una prospettiva funzionale e temporale attendibile. Al contrario, si presume che, dato il cattivo stato di conservazione dei manufatti, in particolare di alcuni magazzini, alcuni interventi per la salvaguardia delle opere dovranno essere collocati necessariamente all'interno del prossimo decennio.

Il Porto Vecchio rimane per Trieste una significativa opportunità per il suo rilancio, poiché risulta:

- un'area inutilizzata nelle dirette adiacenze del centro della città;
- attualmente priva di una definitiva destinazione d'uso;
- un esempio di tecniche costruttive innovative di carattere storico.

Riutilizzo adattivo dei magazzini portuali

Il patrimonio culturale rappresentato dal Porto Vecchio di Trieste è stato un driver per la trasformazione della città al tempo della sua costruzione e oggi, con le iniziative messe in atto per la sua conversione, si propone nuovamente come driver per la trasformazione della città e della propria economia.

In quest'ottica il patrimonio immobiliare dell'epoca è attenzionato da stakeholders pubblici e privati per l'elaborazione di strategie di sviluppo che si preconfigurano già dalle prime valutazioni di fattibilità come modificatori rilevanti dell'economia della città.

Queste logiche programmatiche trasferite a scala di edificio approfondiscono il confronto tra nuovi programmi funzionali, dovuti dalle necessità contemporanee e utilizzi diversi da quelli dell'epoca, con immobili storici, oggetto di tutela storico-architettonica che devono essere conservati nei loro elementi identitari.

Ci si confronta pertanto con il riutilizzo adattivo degli edifici (*adaptive reuse*) del quale si riporta definizione: *“processo di riutilizzo di un sito o edificio per uno scopo diverso da quello per cui è stato costruito o progettato”* (Burchell and Listokin, 1981).

Il riutilizzo adattivo è visto da molti come un fattore chiave per la riduzione del consumo di suolo e di *sprawl urbano*⁴, ma in approcci come quelli del nostro caso studio il riutilizzo adatti-

⁴ La cosiddetta «espansione urbana incontrollata» (urban sprawl) è una conseguenza dell'aumento del benessere, del decentramento e della crescita economica ma ha determinato un aumento dei costi delle infrastrutture, del traffico e del consumo energetico e spesso incide negativamente sulla qualità della campagna.

vo può diventare controverso, in particolare quando cui viene considerato il compromesso tra conservazione storica e demolizione.

Il riuso adattivo del patrimonio culturale (cultural heritage) è un tema molto sentito dalle politiche comunitarie: alcune principali linee di finanziamento comunitario si interessano al tema proponendo un topic dedicato nel programma Horizon 2020⁵.

Riusare gli edifici storici richiede la risoluzione di complessi problemi decisionali che coinvolgono valori tangibili e intangibili di numerosi gruppi di interesse. L'approccio dovrebbe considerare metodi decisionali sofisticati, come i modelli multicriteriali per ottimizzare il processo di valutazione del riutilizzo degli edifici storici.

Il riutilizzo commerciale dei beni potrebbe diventare l'alternativa ottimale per il riutilizzo dei manufatti portuali, tuttavia alcuni risultati dimostrano che per la valorizzazione della tutela e della conservazione l'alternativa di riuso più adatta è per attività legate alla comunità, seguite in ordine sequenziale da commerciale, istruzione ed esposizione. In linea generale la possibilità di trasformare l'edificio storico in uso commerciale dovrebbe essere mantenuta attraverso la pianificazione futura dell'uso dello spazio per adattarsi ai possibili cambiamenti nell'ambiente urbano (Chen, Chiu and Tsai, 2018).

Una strategia di rigenerazione del patrimonio industriale del Porto Vecchio di Trieste dovrebbe anzitutto valorizzare legame che c'è fra la storia d'impresa e sviluppo del waterfront urbano, sia da un punto di vista sociale urbanistico formativo, esprimendo un'intrinseca resilienza nei confronti delle mutazioni fisiche, economico e sociali delle porzioni urbane interessate.

⁵ Finanziamento HORIZON 2020 sul topic "Innovative financing, business and governance models for adaptive re-use of cultural heritage" – Accessibile al link: <http://ec.europa.eu/research/participants/portal/desktop/en/opportunities/h2020/topics/sc5-22-2017.html#budgetTable>

Infatti un programma sostenibile per il riutilizzo del Porto Vecchio dovrebbe valorizzare una flessibilità intrinseca per accogliere diversi *business model*⁶, anche in condizione di *temporary use*, ovvero mediante l'uso temporaneo degli spazi inutilizzati, come concreta opportunità di gestione degli stessi in riferimento non solo alla scala architettonica, bensì anche economica e legislativa.

Nel panorama nazionale, comunitario, ed internazionale, edifici o aree urbane ormai dismesse, non ultime ex aree produttive, vedono in questi ultimi anni un maggiore interesse basato sul tema del riuso, riciclo e riutilizzo non solo sul tema funzionale ma anche sociale e culturale.

A causa della dismissione di siti o aree produttive, alcune aree urbane versano in grave stato di abbandono e degrado che difficilmente possono essere connesse all'attività urbana centrale e periferica. Ci troviamo quindi di fronte a realtà che mutano a vista d'occhio e dove l'attribuzione di un nuovo uso delle stesse si configura come primo approccio di conservazione alla memoria.

Di seguito si vogliono analizzare alcune esperienze Internazionali nei casi di riuso adattivo di edifici o aree urbane dismesse.

A Edimburgo *Malcolm Fraser Architects* ha sviluppato un progetto di riuso adattivo di tre edifici fatiscenti per la realizzazione di spazi direzionali, in particolare per realizzare uffici *open space* aggiunge una serie di nuovi volumi che si differenziano dalle storiche muratura in pietra per il rivestimento in metallo. Queste aggiunte aumentano l'altezza interna, permettendo inoltre un incremento dell'accesso alla luce naturale e della ventilazione. Le aperture risultano sagomate nel ripetto dell'involucro dell'edificio storico e la nuova struttura lega insieme i

⁶ Anche detto modello d'affari (*business model*) descrive le logiche secondo le quali un'organizzazione crea, distribuisce e raccoglie il valore.

due elementi aumentando le prestazioni complessive del bene adattato.

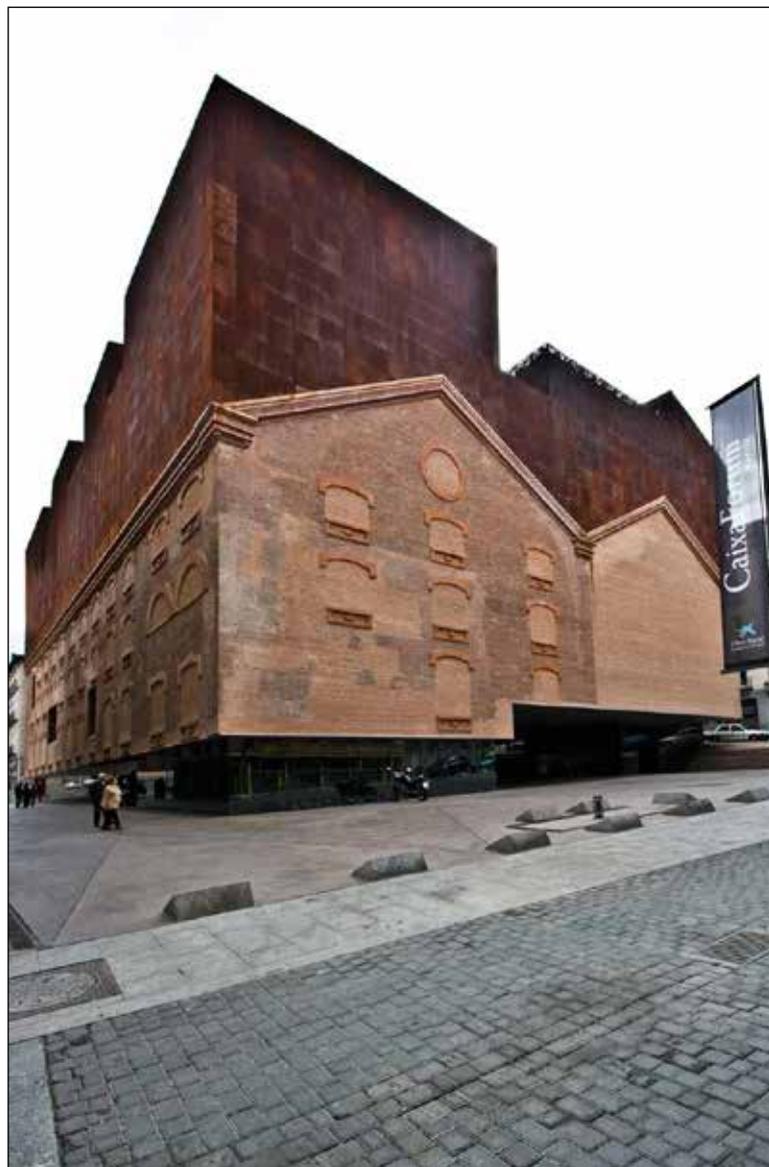


*Figura 8:
Young St Lane - Credit:
Malcolm Fraser Architects -
Fotografia: David Cemry.*



*Figura 9:
Shoreham Street - Credit:
Project Orange - Fotografia:
Jack Hobhouse.*

Un approccio simile è perseguito da Project Orange nel 2012 a Sheffield in Inghilterra, il progetto adatta i vecchi spazi originari del periodo vittoriano alla funzione di bar-ristorante e li soprae-



*Figura 10:
Shoreham Street – Credit:
Project Orange - Fotografia:
Jack Hobhouse.*

leva di una struttura duplex destinata a uffici.

Un altro esempio con approccio simile è il progetto di Herzog & de Meuron a Madrid, si tratta di un intervento di ristrutturazione e ampliamento dell'ex Central Elèctrica del Mediodía, un edificio industriale, progettato nel 1899 da Jesús Carrasco Muñoz Encina e José Battalle, vincolato come patrimonio architettonico. E' una costruzione a due piani, rivestita in mattoni e rifinita alla base da una zoccolatura di granito; composta di due corpi di fabbrica contigui rispettivamente coperti da un tetto a doppia falda. La complessa situazione di intervento in questo caso configura una scarsa reversibilità ma punta a mantenere una traccia figurativa, materiale, storica dell'edificio e dello spazio urbano circostante. I progettisti in una discussione attorno a questo progetto affermano che: "conservare un edificio del passato ha senso solo se questo possiede qualità eccezionali o se la demolizione non può essere una strada praticabile".



*Figura 11:
60 Sloane Avenue Building,
London – fonte Stanton Wil-
liams architect.*

Numerosi esempi di riutilizzo adattivo, nel caso di edifici industriali o magazzini, si riportano ad una condizione limite e molto spesso preservano esclusivamente alcuni elementi di facciata. In tali esempi infatti la conservazione degli elementi identitari, nei quali la comunità si riconosce, rimane percepibile nell'aspetto compositivo e materico degli elementi che la compongono.

Rifunzionalizzazione e conservazione dei manufatti

Considerato il tipico impianto tipologico, la scarsa illuminazione, la cattiva ventilazione, e la scarsa flessibilità del layout distributivo possono essere solo alcune tra le prime considerazioni che potrebbero essere prodotte nell'approccio al tema del riutilizzo degli edifici ex industriali.

Nella rifunzionalizzazione degli edifici a fare lo scarto determinante tra conservazione e sostituzione di elementi non risulta essere la consapevolezza oggettiva delle prestazioni minime da raggiungere infatti, in un quadro di tutela del bene storico, i meccanismi di protezione della memoria favoreggiano un approccio maggiormente conservativo.

Possiamo affermare che il diffuso approccio al recupero, in ambito nazionale, in condizioni di assenza di uno sviluppo di linee guida specifiche, ha un'impostazione a prevalenza conservativa che si rapporta principalmente con due parametri fondamentali:

- la reversibilità delle azioni;
- il recupero degli elementi identitari.

Il presente lavoro di ricerca vuole contribuire con un approccio energetico-prestazionale al recupero del bene storico, nel rispetto del bene ed esplorando soluzioni specifiche e legate al

territorio di intervento, formulando indicazioni per la produzione di linee guida.

Lo studio si relaziona e si differenzia al variare dello stato di conservazione dell'edificio oggetto di indagine, riducendo la reversibilità delle azioni di retrofit al crescere del degrado negli elementi.

Per questa attività la lettura tipologica e la conoscenza delle caratteristiche geometriche, funzionali, fisiche e tecniche del manufatto è di fondamentale importanza, e richiede l'esecuzione di indagini specifiche per raccogliere le informazioni necessarie a un corretto approccio alla definizione strategica di azioni di retrofit, oggetto di studio.

Tra gli elementi di rilevante importanza per la ricerca troviamo la facciata che, nel caso di un approccio attento alle prestazioni energetiche degli edifici, risulta essere l'elemento che descrive il confine termico tra esterno ed interno.

Le strategie di retrofit per le facciate in letteratura sono state classificate in relazione al tipo di costruzione, alla spaziatura tra gli strati della facciata e ai parametri di ventilazione del sistema. Inoltre si sostiene che i retrofit di facciata possono essere generalizzati per tutti i tipi di edifici in quattro principali strategie: sostituzione di componenti della facciata, aggiunta di nuovi componenti alla facciata, aggiunta di un nuovo strato alla fac-

ciata o sostituzione dell'intera facciata (Sanguinetti, 2012; Konstantinou, 2014).

Recenti ricerche sulla gestione energetica degli edifici mostrano, però, che l'attenzione su strategie specifiche spesso manca di un approccio olistico al problema, specificatamente in relazione al processo decisionale (Kolokotsa, D. Diakaki, C. Grigoroudis, E. Stavrakakis, 2009; Roberti et al., 2017).

In letteratura il "retrofit di edifici" viene proposto come la scelta di una soluzione ottima eseguita un criterio che verte principalmente al rapporto tra prestazionalità del componente e il costo, concentrandosi in primo luogo sulla riduzione del consumo di energia attraverso la scelta della migliore combinazione di tecnologie. (Lee, E. S., Selkowitz, S. E., DiBartolomeo, D. L., Klems, J. H., Clear, R. D., Konis, K., Hitchcock, R., Yazdanian, M., Mitchell, R. and Konstantoglou, M. 2009; Sala and Romano, 2011).

L'approccio della ricerca parte da queste considerazioni e, sviluppando un quadro di conoscenza dell'area, indaga e studia le azioni possibili per il recupero del patrimonio.

*Figura 12:
Vista dall'alto dei magazzini
del porto vecchio di Trieste –
foto del 2017 da Google Maps*



Lettura tipologica

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 appaiono rigorosi, rispettando l'ambiente circostante e il linguaggio ripetitivo della distribuzione geometrica degli spazi, presentando elementi stilistici derivanti dal neogotico e neoromanico, molto diffusi in altre opere pubbliche dell'epoca nei paesi nordici: Inghilterra, Germania ma anche nel resto dell'impero austro-ungarico.

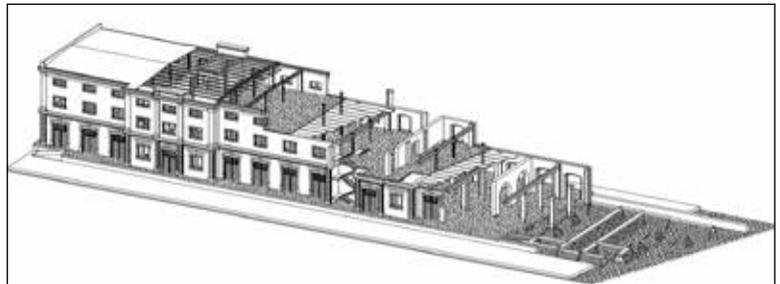
I caratteri che definiscono i fabbricati sono costituiti dalle linee verticali ed orizzontali delle facciate, dalla disposizione geometrica dei basamenti e delle aperture. Le linee orizzontali, poste in corrispondenza del basamento e dei diversi piani, garantiscono un aspetto più longilineo mentre i 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, in modo da conferire al porto stesso continuità con il Borgo Teresiano e le Rive.

I principali elementi caratterizzanti ed identitari dell'architettura del Porto Vecchio risultano essere:

- ballatoi;
- perron;
- avancorpi;
- copertura;
- rete idraulico in pressione;
- tecniche costruttive e struttura portante;

*Figura 13:
Spaccato assonometrico,
Magazzino 25 -
elaborazione dell'autore*



Ballatoi

La gran parte di Magazzini e Capannoni presentano dei ballatoi esterni su lati maggiori di gran, a partire dal primo piano fuori terra per arrivare spesso anche all'ultimo piano, ad esclusione degli edifici 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, 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.

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

Questi sono infatti realizzati tramite un solaio a voltine mohnier 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 a connotazione industriale agli edifici di un centro cittadino.



*Figura 14:
Avancorpo centralre in evidenza e ballatoi, Magazzino 9
- foto dell'autore del 2016*

Perron

La gran parte dei Magazzini presenta il cosiddetto perron, ovvero un piano esterno sopraelevato rispetto il 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 dai 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 potendo così fissare le guide dei binari, questo comportò anche un aumento dello spessore del muro che reggeva quella banchina.

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

A protezione delle operazioni di carico e scarico sul perron, i magazzini erano dotati di pensiline costituite da lamiera 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 in con un profilo tubolare di ferro dolce, con estremità otturate a pomo 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.

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 come 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, fatta eccezione al pian terreno dove sono presenti portoni anch'essi con pro-

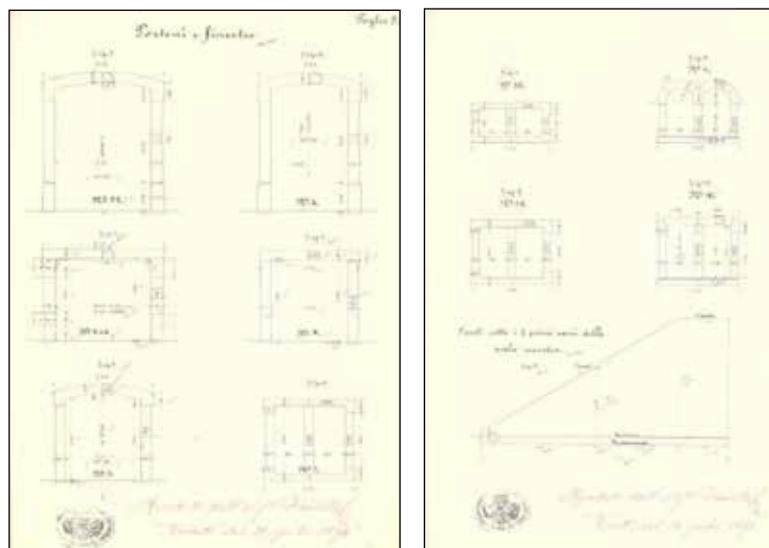


Figura 15:
Schizzi di liquidazione finale
elementi decorativi in arenaria,
Magazzino 9 - documenti
di archivio dell'Autorità Portuale
di Trieste

filo superiore ad arco. Le aperture a doppia vetrata constano di doppio serramento: uno esterno ed uno interno. I battenti esterni presentano un parapioggia 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.



Figura 16:
Particolari di facciata, Magaz-
zino 9 - 1893 Consorzio trie-
stino di Costruttori - Archivio
Autorità Portuale di Trieste.

Copertura

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

Per quel che riguarda lo strato portante, questo è realizzato mediante una lastra piana in calcestruzzo armato realizzata secondo il metodo Mohnier, avente 4 centimetri di spessore, la quale poggia su un'orditura di travi in ghisa distanziate di 1,25 metri ciascuna. A sua 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.

La pendenza della copertura piana a due falde leggermente inclinate è pari al 8%, lo strato di collegamento è costituito da una gettata di cemento pozzolanico, ricoperto da uno strato di impermeabilizzazione costituito da placche di materiale bituminoso. La finitura superficiale, che fa 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.

Gru idrauliche e rete di distribuzione idrodinamica

Gran parte dei magazzini erano provvisti 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.

L'epoca storica in cui si sviluppa il Porto Vecchio di Trieste risulta a cavallo tra l'era delle macchine a vapore e quella dell'energia

elettrica, quando anche il petrolio risultava ancora un carburante poco diffuso. Sia la tecnologia del vapore usato direttamente sia quella dell'acqua in pressione si svilupparono inizialmente in Inghilterra, il che fece dell'Inghilterra il cuore della rivoluzione industriale che traghettò l'Europa nell'era moderna.

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

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 dipartivano le tubazioni di distribuzione.

Negli stessi anni in cui veniva costruita la Centrale Idrodinamica di Trieste, a Londra, erano in azione ben cinque stazioni di pompaggio dello stesso tipo e già da alcuni anni operava, con lo stesso principio idrodinamico, il Tower Bridge. L'impianto originale del Tower Bridge, non più in uso, era identico a quello della Centrale Idrodinamica di Trieste: formato da caldaie di tipo Lancashire collegate a motopompe per la pressurizzazione dell'acqua.

I magazzini erano, inoltre, provvisti di gru idrauliche, elevatori, montacarichi ed altri macchinari per le attività di carico e di scarico delle merci. Su entrambi i lati di ogni Hangar, infatti, passano i binari ferroviari utili per la caricazione diretta sui vagoni; molti edifici presentano anche un perron alto un metro circa che facilitava il lavoro degli operai.

Inoltre le costruzioni erano dotate di deposito di pompe per il pronto intervento in caso di incendio.

Tecniche costruttive

Nella costruzione del Neuen Hafen, tecnici e costruttori incontrarono numerose difficoltà, risolte con soluzioni all'avanguardia per l'epoca.

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 .

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

Di assoluto interesse risultano le soluzioni tecniche intraprese per la costruzione degli edifici stessi, 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. I primi Magazzini vengono realizzati con un'applicazione del Sistema Monier, allora ancora in

fase sperimentale.

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

Il calcestruzzo armato, grazie alle proprietà peculiari del materiale composito, consentiva un incremento delle prestazioni rispetto le 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 ad 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, garantendo un comportamento collaborativo tra i due materiali.

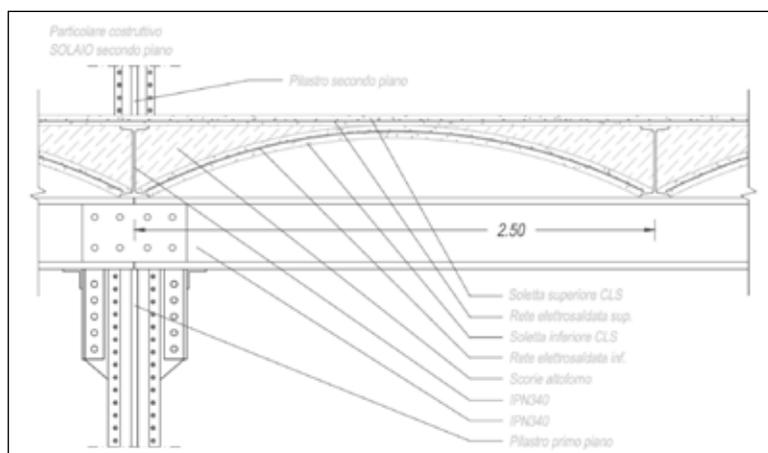


Figura 17:
 Sezione tipo dell'orizzontamento a sistema Monier, Magazzino 9 - elaborazione dell'autore.

Nel caso specifico 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 interessante sistema di travi a doppia T accoppiate ciascuna delle quali grava su colonne, in squadrate in materiale lapideo al piano terra e circolari in ghisa ai piani superiori, poste ad una luce di circa 5 metri ciascuna. La luce tra le travi a doppia T annegate all'interno di ciascuna voltina Monier è varia tra i X e X metri. 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, portando così alla luce le barre in ferro che, soprattutto nei ballatoi esterni, si trovano in stato di avanzato degrado.

Il sistema così configurato riusciva a garantire una portata pari a 1000/1200 kg/mq, come riportato nella documentazione storica di progetto ed evidente nella segnaletica ancora presente all'interno dei Magazzini e dei Capannoni.

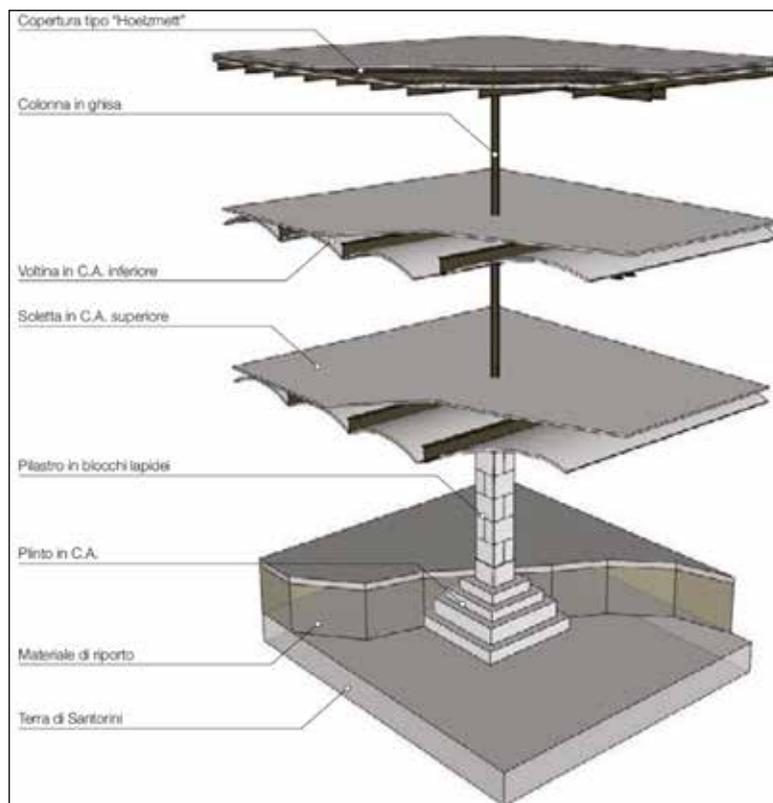
In Porto Vecchio vengono realizzate in totale 260.000 metri quadrati di solai adottando voltine Monier. La maggior parte dei magazzini realizzati prima del 1890 presentano infatti questa soluzione costruttiva, caratterizzata da travi principali in ghisa a sostegno delle volte in cemento armato in cui i ferri venivano disposti secondo una rete, nella parte inferiore del getto.

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 Me-

lan del Politecnico di Praga, realizzato con un sistema di volte 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.

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 quelle orizzontali utilizzano il brevetto ideato dal professor Fritz von Emperger del Politecnico di Vienna. Il sistema usato, che garantiva una portata dei solai di 1800 kg/m², era composto da travi metalliche annegate in un getto di calcestruzzo.

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.



*Figura 18:
Sezione assometrica principale della struttura portante interna, Magazzino 9 - elaborazione dell'autore.*

Ipotesi di scenari

L'assunzione di valore in Italia si è tradotta in forme di vincolo diverse da parte delle Soprintendenze per i Beni Ambientali e Architettonici, promuovendo conservazioni a volte parziali di elementi decorativi, in altre di strutture complesse e avviando in alcuni casi un positiva concertazione con proprietari e progettisti. Non si hanno linee guida nazionali specifiche per la tutela di patrimoni industriali, né un sistema di schedatura specifica per il primo censimento e la catalogazione (Maspoli, 2014).

Nel caso del Porto Vecchio di Trieste la Sovraintendenza si espri-

me con una nota ad un vincolo imposto in questi termini:

Particolare riferimento facciate – Deroga progetti alta qualità – Art. 2 D.Lgs. 490/99 - D.S. 23/08/2001 - “recupero e/o rifacimento delle finiture esterne con materiale naturale compatibile al supporto murario secondo il disegno originario con colori omogenei agli interventi in tutta l’area del Porto Franco Vecchio, non sempre corrispondenti all’ultima fase di trasformazione dei manufatti al fine di rivitalizzare il complesso anche dal punto di vista dell’impatto visivo (...).

In un altro caso con Decreto del Soprintendente Regionale per i Beni e le Attività culturali del Friuli Venezia Giulia del 23 agosto 2001 l’immobile, con particolare riferimento alle facciate, è stato dichiarato “di interesse particolarmente importante e viene, quindi, sottoposto a tutte le disposizioni di tutela contenute nel Decreto Legislativo 490/99, articolo 2, comma 1, lettera a, con il recupero e/o rifacimento delle finiture esterne con materiali naturali compatibili al supporto murario secondo il disegno di trasformazione dei manufatti, al fine di rivitalizzare il complesso anche dal punto di vista dell’impatto visivo”.

In presenza di un intervento di progettazione di restauro di altissima qualità architettonica, ed in riferimento alle ulteriori disposizioni di tutela contenute nell’allegato “A” del Decreto è possibile valutare eventuali deroghe.

L’allegato “A” del decreto prescrive che “i magazzini del Porto Vecchio debbano avere una tutela non diversa da quella delle aree archeologiche ma, trattandosi di un’architettura industriale, sia necessario tener conto del futuro utilizzo, nella prospettiva di una dinamica riqualificazione funzionale” e non esclude “proposte di riuso degli spazi interni di altissima qualità architettonica, garantita da progetti ad invito”.

La tutela dell'aspetto esterno dell'edificio si impone pertanto come testimonianza di moderne e pionieristiche tipologie costruttive e funzionali che le esigenze del nuovo sviluppo produttivo avevano reso necessarie e di cui ormai da tempo discipline quali l'archeologia industriale promuovono una corretta storicizzazione.

Mentre gli edifici diventano inadatti alle loro esigenze programmatiche, poiché i progressi tecnologici, politici ed economici si muovono più velocemente rispetto all'ambiente costruito, il riutilizzo adattivo in questo contesto si presenta come un'opzione sostenibile per il loro recupero funzionale.

Accogliere nuove destinazioni d'uso nei manufatti portuali dell'epoca potrebbe comportare un adattamento funzionale e strutturale che si contrappone alle logiche conservazione del bene. Altresì valori legati al comfort minimo degli occupanti, in particolare quello illuminotecnico, potrebbero rendere complesso il loro completo recupero funzionale.

In molte situazioni, i tipi di edifici che sono più suscettibili di diventare soggetti di riuso adattivo includono: edifici industriali, in quanto le città vengono nobilitate e il processo di produzione si allontana dalla città; edifici politici, come palazzi ed edifici che non possono sostenere i visitatori attuali e futuri del sito; e gli edifici della comunità come chiese o scuole in cui l'uso è cambiato nel tempo.

L'obiettivo finale che ci si prefigge di raggiungere è quello di riconoscere e confrontare le azioni attuabili nel rispetto del valore storico degli organismi edilizi con lo scopo di avvicinarsi agli standard di comfort e sostenibilità degli *edifici ad energia quasi zero* (NZEB Nearly Zero Energy Buildings) nel coerente rispetto della prospettiva indicata nella *roadmap europea per il 2050 in*

tema di energia.

La ricerca prevede la valutazione e comparazione di possibili soluzioni per la riqualificazione tecnologica ed energetica dei singoli edifici e in questo identifica 3 scenari ideali nei quali si possono collocare i programmi di riutilizzo dei magazzini:

- restauro conservativo,
- isolamento dall'interno,
- e realizzazione di una pelle interna.

Il lavoro affronta la valutazione della prestazionalità energetica da adottare in una fase meta-progettuale; in particolare sono state affrontate tematiche riguardanti le prestazioni energetiche passive dell'involucro dei magazzini del Porto Vecchio di Trieste, usando come caso studio il Magazzino 25 attraverso gli scenari di riutilizzo adattivo analizzati precedentemente.

Riqualificazione energetica e riutilizzo dei magazzini portuali

Efficienza energetica nel patrimonio storico-culturale

I programmi di riutilizzo dei magazzini si confrontano oggi con temi legati alla riqualificazione sociale, energetica, tecnologica ed infrastrutturale. Molte e diverse sono le casuse che stanno alimentando la domanda di crescente miglioramento delle condizioni di fruizione degli insediamenti e il paragone con prestazioni delle costruzioni contemporanee può, nel caso del riuso adattivo, essere difficile da sostenere (Novi, 1999).

Nell'ambito del progetto è stato acquisito ed analizzato il lavoro svolto da iniziative recenti riferibili alla riqualificazione fisica, funzionale ed energetica del patrimonio storico-culturale:

- 3ENCULT Energy Efficiency for EU cultural heritage (EU FP7 project <http://www.3encult.eu>),
- EFFESUS Energy Efficiency for EU Historic Districts Sustainability (EU FP7 project <http://www.affaires.eu>),
- SECHURBA Sustainable Energy Communities in Historic Urban Areas (IEE project),
- New4Old New energy for old buildings (IEE project),
- Co2ol Bricks Climate Change, Cultural Heritage & Energy Efficient Monuments (Baltic Sea Region Programme. <http://www.co2olbricks.eu>).

Per la valutazione e comparazione delle strategie di intervento è stato privilegiato l'approccio prestazionale ottimale, ovvero le ipotesi di intervento sono state valutate secondo le migliori

prestazioni restituite per ciascun specifico ambito di riferimento (energetico, strutturale, economico, sociale, ambientale, etc...).

L'obiettivo finale che ci si è prefitti è quello di riconoscere e confrontare le azioni attuabili nel rispetto del valore storico degli organismi edilizi con lo scopo di avvicinarsi agli standard di comfort e sostenibilità degli edifici ad energia quasi zero (NZEB Nearly Zero Energy Buildings) nel coerente rispetto della prospettiva indicata nella roadmap europea per il 2050 in tema di energia.

La ricerca infatti valuta e compara le possibili soluzioni per la riqualificazione tecnologica ed energetica dei singoli edifici e del sistema urbano di riferimento considerando apporti da fonti rinnovabili ed, in maniera particolare, gli apporti derivanti dallo sfruttamento dell'energia termica contenuta nell'acqua di mare o da sorgenti a bassa temperatura (scambi termici con acquedotto o fognatura, geotermia a bassa profondità), supportati eventualmente da sistemi cogenerativi e tri-generativi. Saranno anche considerati gli impianti geotermici per riscaldamento e raffrescamento di Pontebba e Grado (Della Vedova et al., 2014).

Vengono considerati interventi sia alla scala di edificio (volti principalmente alla riduzione del fabbisogno energetico) sia a scala urbana introducendo il concetto di *smart thermal grid* o reti di teleriscaldamento o teleraffrescamento di 4^a generazione⁷. Tali tecnologie hanno un ruolo fondamentale nella transizione energetica al 100% rinnovabile e costituiscono, in prospettiva, parte integrante del funzionamento dei sistemi energetici degli edifici (Lund et al., 2014).

La ricerca proposta pone però l'accento sulle prestazioni energetiche perseguibili nel caso del riuso dei magazzini portuali e in particolare individua ed analizza alcuni scenari di intervento, nei quali variano le prestazioni raggiungibili e il grado di reversibilità.

⁷ Richiamate anche nel Piano energetico regionale alla scheda di dettaglio 14: "Programmi di ricerca nel settore FER". (http://www.regione.fvg.it/rafvfg/export/sites/default/RAFVG/ambiente-territorio/energia/FOGLIA111/allegati/PIANO_ENERGETICO_REGIONALE_ALLEGATO1.pdf)

Un primo approccio alla ricerca prevede di analizzare l'applicabilità di un protocollo di sostenibilità all'ipotesi di recupero di un magazzino portuale, a questo scopo è stato individuato il magazzino 9.

L'avanzamento della ricerca affronta in particolare il tema dell'ottimizzazione delle prestazioni energetiche perseguibili dal sistema edificio-impianto e, a tale scopo, individuati 3 diversi scenari di intervento, con l'ausilio di simulazioni termoe-nergetiche dinamiche, sono individuati livelli di prestazionalità perseguibili.

Il retrofit energetico di edifici storici è infatti una questione complessa e spesso non affrontata in maniera unitaria. L'Unione Europea ha emanato diverse direttive che trattano, direttamente e indirettamente, l'efficienza energetica nelle costruzioni, mirando a ridurre l'uso di energia degli edifici. Tali direttive, pur occupandosi di edifici esistenti, non si occupano del patrimonio storico-architettonico in modo specifico e uniforme adottando il regime di deroga: sono previste eccezioni a livello nazionale per escludere dalla loro applicazione gli edifici elencati nel patrimonio architettonico come edifici storici ('Energy retrofit and conservation of built heritage using multi- objective optimization: demonstration on a medieval building', no date; Ma et al., 2012; Aste et al., 2014; Jafari and Valentin, 2017; Roberti et al., 2017).

Ogni paese può infatti adottare le proprie regole per includere o escludere edifici dal rispetto dei requisiti di efficienza energetica per gli edifici esistenti. Di conseguenza attualmente non sono disponibili regole generali, codici e standard per la riqualificazione energetica di edifici storici e architettonici di valore.

Per tale motivo l'approccio alla riqualificazione energetica di edifici storici deve sempre partire dallo studio di logiche di conservazione del valore dei manufatti. Il prof. Livio Mazzarella in

un approfondimento riporta questa definizione di bene storico: *“a property must have sufficient age, a relatively high degree of physical integrity, and historical significance”* (Mazzarella, 2015). Pertanto secondo tale definizione i tre indicatori che contribuiscono all'identificazione del valore del bene storico sono:

- l'epoca di appartenenza;
- l'integrità fisica del/i manufatti;
- e il significato che esprimono per la comunità.

In particolare, nel caso di organismi edilizi sottoposti a tutela storico-architettonica, il problema viene affrontato considerando centrale il valore culturale che l'opera nella sua interezza esprime, privilegiando spesso la tutela all'invasività della misura di retrofit e di conseguenza l'aspetto energetico-prestazionale.

In letteratura è possibile trovare indirizzi operativi per la riqualificazione energetica di edifici storici che, nella maggior parte, fanno riferimento a programmi di utilizzo del bene coerenti con quelli per cui l'opera è stata realizzata.

Negli aspetti operativi si esprime il *Ministero per i beni e le attività culturali* pubblicando le *“Linee di indirizzo per il miglioramento dell'efficienza energetica nel patrimonio culturale - Architettura, centri e nuclei storici ed urbani”*. Sono state redatte con l'intento di fornire indicazioni operative sia ai progettisti che al personale del Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo. Ai primi viene fornito uno strumento per la valutazione della prestazione energetica dell'edificio storico nelle condizioni esistenti e criteri operativi per il progetto degli eventuali interventi di riqualificazione energetica, opportunamente calibrati sul rispetto delle specifiche peculiarità del patrimonio culturale.

Come è possibile riscontrare anche in letteratura scientifica, le linee guida del MIBAC affrontano con un approccio ormai con-

diviso il problema, viene individuata una strategia di riqualificazione composta da singole misure di retrofit che nella maggior parte dei casi fanno riferimento alla parte involucre ed impiantistica. Nel caso di edifici dal valore storico, le misure individuate, devono essere altresì rapportate con il grado di invasività, di reversibilità e di compatibilità che esse esprimono in relazione al componente del sistema tecnologico che interessano.

In termini operativi su questo tema ambito si esprime anche AiCARR che propone delle linee guida AiCARR "Energy Efficiency in Historic Buildings" ("Efficienza energetica negli edifici storici", Febbraio 2014), le quali forniscono informazioni sulla valutazione e il miglioramento delle prestazioni energetiche degli edifici storici, rispettando tuttavia i caratteri architettonici connotanti (De Santoli, 2015).

Quadro normativo e di indirizzo programmatico

La problematica ambientale non rispetta i confini geopolitici tracciati sulle cartine; per questo motivo è necessario trattare la problematica a livello internazionale. Sono state analizzate le norme internazionali di riferimento. L'organo preposto è ISO/TC/50/SC "Sostenibilità nell'edilizia", suddiviso in diversi gruppi di lavoro:

- TC 59/SC 17/WG 1 – Principi generali e terminologia;
- TC 59/SC 17/WG 2 – Indicatori della sostenibilità;
- TC 59/SC 17/WG 3 – Dichiarazione ambientale dei prodotti;
- TC 59/SC 17/WG 4 – Performance ambientale degli edifici;
- TC 59/SC 17/WG 5 – Opere di ingegneria civile;

Le principali norme a livello internazionale sono:

- ISO 15392:2008 - Sostenibilità in edilizia, principi generali. Si riferisce alla sostenibilità durante l'intero ciclo di vita, ma

non fornisce I benchmark per la valutazione della sostenibilità.

- ISO/TS 21931:2006 - Fornisce le metodologie di valutazione delle prestazioni ambientali degli edifici, elemento mancante nella norma precedente.
- ISO/TS 21929:2006 - Linee guida per lo sviluppo di indicatori di sintesi del comportamento ambientale dell'intero edificio
- ISO 21930:2007 - Dichiarazione ambientale dei prodotti da costruzione.
- Riportandoci ad un quadro normativo europeo l'organo preposto è il CEN/TC 350 "Sostenibilità dei lavori di costruzione". Secondo un ordine cronologico citiamo:
- Direttiva Comunitaria 2001/77/CE - Sulla promozione delle fonti rinnovabili.
- Direttiva Comunitaria 2002/91/CE (16 dicembre 2002) - Sul rendimento energetico in edilizia; nota come EPBD (Energy Performance Building Directive) introduce il concetto di certificazione energetica, imponendo la redazione dell'Attestato di Certificazione Energetica per gli edifici.
- Direttiva Comunitaria 2006/32/CE (5 aprile 2006) - Sull'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici; abrogazione della Direttiva 93/76/CEE del Consiglio.
- Direttiva Comunitaria 2009/28/CE (23 aprile 2009) - Sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili; modifica e successiva abrogazione delle Direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE; Rettifica della Direttiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 23 aprile 2009, sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili.
- Direttiva 2010/31/CE (19 maggio 2010) - Sulla prestazione energetica nell'edilizia.
- Direttiva 2012/27/UE (25 ottobre 2012) -Sull'efficienza energetica; modifica direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE; abrogazione Direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE.

Nel panorama nazionale l'organo preposto è la Commissione

“Prodotti, processi e sistemi per l’organismo edilizio” e, in particolare, il Gruppo di Lavoro 4 “Sostenibilità in Edilizia”. Si riporta l’attuale quadro normativo italiano, secondo un ordine cronologico.

- Legge del 9 gennaio 1991, n. 10 - Norme per l’attuazione del Piano Energetico Nazionale in materia dell’uso razionale dell’energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia.
- Decreti Ministeriali 24 aprile 2001 - Individuazione degli obiettivi quantitativi per l’incremento dell’efficienza energetica negli usi finali ai sensi dell’art. 9, c. 1, del D. Lgs. Del 16 marzo 1999, n. 79.
- Decreto Ministeriale 27 luglio 2005 - Norme per l’attuazione del Piano Energetico Nazionale in materia dell’uso razionale dell’energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia.
- Decreto Legislativo n. 192 del 19 agosto 2005 - Attuazione della Direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell’edilizia.
- Decreto Ministeriale 24 ottobre 2005 - Direttive per la regolamentazione dell’emissione dei certificati verdi alle produzioni di energia di cui all’art. 1, c. 71, della Legge del 23 agosto 2004, n. 239.
- Decreto Legislativo n. 311 dl 29 dicembre 2006 - Disposizioni correttive ed integrative al D. Lgs. N. 192 del 19 agosto 2005, attuazione della Direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell’edilizia; Testo Coordinato dei D. Lgs. 195/05 e 311/06.
- Decreto Legislativo n. 115 del 30 maggio 2008 - Attuazione della Direttiva 2006/32/CE relativa all’efficienza degli usi finali dell’energia e I servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE.
- Decreto Ministeriale 26 giugno 2009 - Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici, che definisce le procedure di applicazione richieste dal D. Lgs. 192/2005.
- Decreto Legislativo n. 56 del 29 marzo 2010 - Modifiche ed

integrazioni al D. Lgs n. 115 del 29 maggio 2008; abrogazione della Direttiva 93/76/CEE

- Decreto Legislativo n. 28 del 3 marzo 2011 - Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso di energia da fonti rinnovabili; modifica e successiva abrogazione delle Direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE.
- Decreto Ministeriale 5 maggio 2011 - Criteri per incentivare la produzione di energia elettrica da impianti solari fotovoltaici e sviluppo di tecnologie innovative per la conversione fotovoltaica.
- Decreto del 5 luglio 2012 - Attuazione dell'art. 25 D. Lgs. N. 28 del 3 marzo 2001 sull'incentivazione alla produzione di energia elettrica da impianti solari fotovoltaici.
- Decreto Ministeriale 22 novembre 2012 - Modifica al precedente Decreto 26 giugno 2009. Abolizione dell'autodichiarazione del proprietario, incaricando invece un tecnico abilitato;
- Decreto Legislativo n. 63 del 4 giugno 2013 - Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione Europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale.
- Decreto Legislativo n. 102 del 4 luglio 2014 - Attuazione della Direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, che modifica le Direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le Direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE.
- Decreto Ministeriale 26 giugno 2015 - Decreti attuativi della L. 90/2013, conversione del D. Lgs. 63 del 4 giugno 2013.

La Normativa a livello nazionale prevede l'attuazione delle linee guida attraverso Leggi Regionali; le prime costituiscono quindi esclusivamente uno standard, da applicarsi solo qualora le singole regioni siano sprovviste di rispettive legislazioni.

Lo scopo di tali regolamenti regionali è quello di favorire una progettazione sostenibile, introducendo dei requisiti di natura ambientale all'interno dei regolamenti edilizi.

Per quanto riguarda la Regione Friuli Venezia Giulia, sede del sito di intervento, nella seduta del 24 settembre 2009 la Giunta Regionale ha approvato il regolamento che definisce la procedura di emissione della certificazione di sostenibilità energetico-ambientale degli organismi edilizi, disciplinata dal Protocollo Regionale VEA, il quale individua in ITACA un protocollo di riferimento.

Nella Regione Friuli Venezia Giulia la sostenibilità ambientale è promossa dall'Agenzia Regionale per l'Edilizia Sostenibile (ARES), società interamente partecipata dalla regione. Le sue competenze sono associate alla procedura di certificazione VEA e per le finalità della Legge Regionale 23/2005.

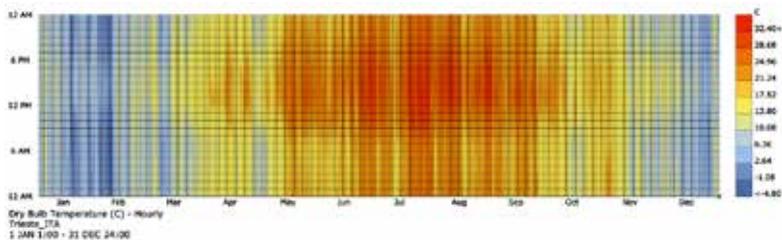
Le norme attualmente (2018) in vigore sono:

- D. Lgs. 192/2005;
- D. Lgs. 311/2005;
- D. Lgs 28/2011;
- L. 90/2013;
- D.M. 26 giugno 2015.

Analisi climatica

L'analisi viene effettuata attraverso il dataset orario di riferimento per Trieste, preso dal database denominato "G. De Giorgio"⁸, generato a partire dai dati di osservazione della rete delle stazioni del Servizio meteorologico dell'aeronautica militare. Attraverso l'applicativo Grasshopper ed in particolare utilizzando i tools Ladybug (Roudsari, Pak and Smith, 2013) e Honeybee è stato possibile individuare un andamento delle temperature medie nell'arco di un anno, per ciascuna ora del giorno e, come si evince dal grafico, e da come è lecito aspettarsi, le temperature maggiori arrivano fino ai 32°C nelle ore di punta dei mesi estivi, in particolare nel mese di agosto; il valore minimo è approssimativamente -5°C nel mese di gennaio. La temperatura media risulta essere di 14,5°C.

Figura 19:
Rappresentazione della temperatura nell'anno di riferimento, in ascissa li mesi, in ordinata le ore del giorno - elaborazione dell'autore.



L'applicativo integra un algoritmo che permette di valutare ulteriormente la temperatura percepita considerando velocità del vento e umidità relativa, determinando, in base ai suddetti fattori, una temperatura annua media percepita di 10,8°C.

Attraverso il pannello di OutdoorComfortCalculator, sempre sottostando ai sopracitati fattori d'input, in ambiente esterno, si ha una percentuale di comfort del 57% dell'anno. La percentuale di HeatStress indica l'intervallo del tempo annuo in cui si hanno condizioni non confortevoli nelle temperature effettive superiore ai 28°C ed ammonta ad un valore limitato al 2,8%.

⁸ La costruzione di sequenze orarie di dati climatici più probabili, e quindi dell'anno tipo, per vari siti in Italia è stata affrontata nel Progetto Finalizzato Energetica nel 1979 dall'IFA (Istituto di Fisica dell'Atmosfera del CNR)

La percentuale di ColdStress ammonta al 14% e fa riferimento a range di temperatura inferiore ai 0°C. Risulta immediato il fatto che la componente di comfort invernale è predominante rispetto a quella estiva di un ordine di grandezza.

Ulteriori grafici finalizzati a definire le condizioni climatiche generali sono riferiti alla velocità del vento per ogni ora della giornata nell'arco temporale annuo e l'umidità relativa:

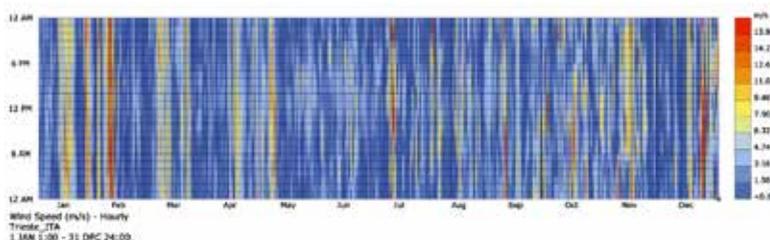


Figura 20:
Rappresentazione della velocità del vento nell'anno di riferimento, in ascissa i mesi, in ordinata le ore del giorno - elaborazione dell'autore.

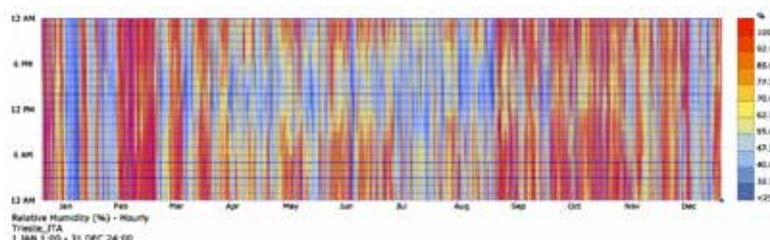


Figura 21:
Rappresentazione dell'umidità relativa nell'anno di riferimento, in ascissa i mesi, in ordinata le ore del giorno - elaborazione dell'autore.

Dal primo grafico si ricava che il limite superiore arriva 15,8 m/s che corrisponde a 54 km/h e giugno risulta essere il mese meno ventoso. Il secondo grafico suggerisce in maniera abbastanza chiara che le ore in cui l'umidità relativa raggiunge i valori minimi giornalieri sono quelle dalle 14.00 alle 18.00. Febbraio risulta essere il mese con umidità relativa più alta.

Andando a filtrare i valori di temperatura superiori ai 25°C, si ottiene un rispettivo andamento del vento con valori moderati. Per temperature più rigide, inferiori ai 7°C, si ottiene una com-

ponente di velocità del vento molto più elevata.

Figura 22:
Interpolazioni vento/temperatura mesi invernali - elaborazione dell'autore.

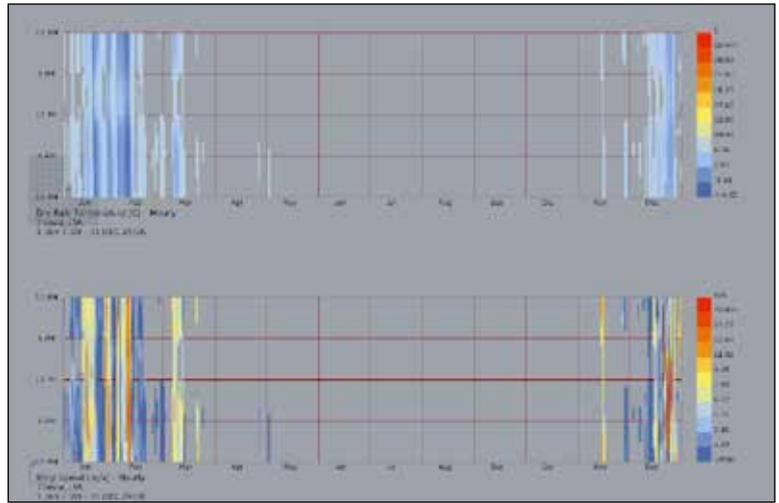
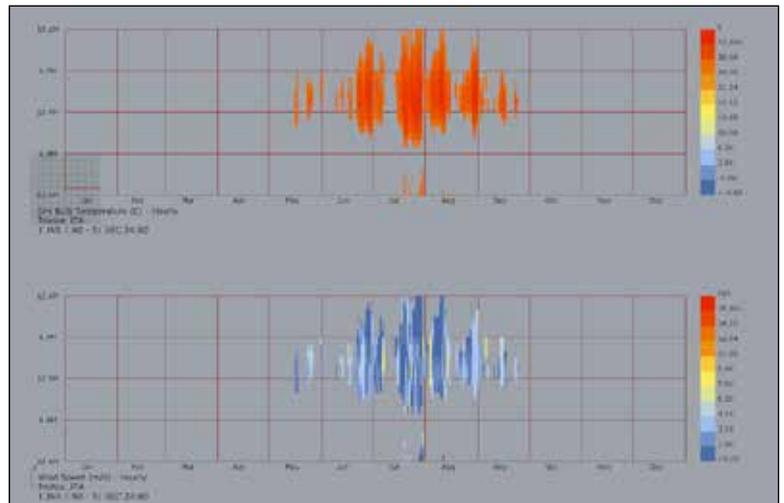


Figura 23:
Interpolazioni vento/temperatura mesi estivi - elaborazione dell'autore.



Le analisi proseguono considerando un volume edilizio rappresentativo, di riferimento per l'area nell'ambito della presente analisi, corrispondente al magazzino 25.

Il diagramma solare prodotto permette di analizzare istante per istante per istante la posizione e l'altezza del sole rispetto alla latitudine e longitudine del sito di riferimento.

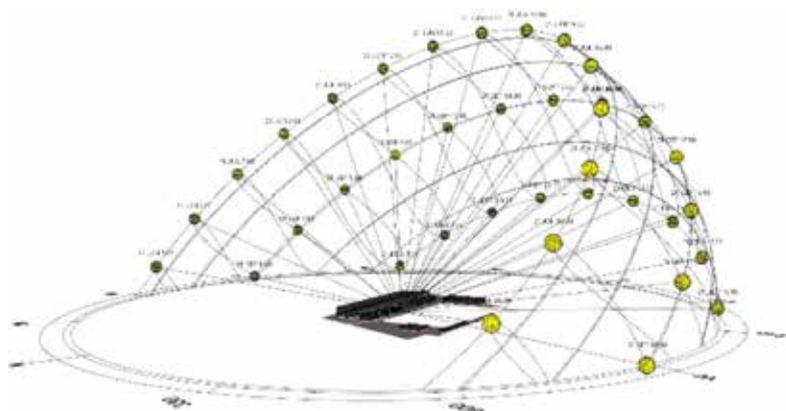


Figura 24:
Analisi del percorso solare
per l'area del Magazzino 26 -
elaborazione dell'autore.

Conoscendo Trieste una località ventosa, si procede con un'analisi dell'intensità e delle direzioni in cui spira il vento.

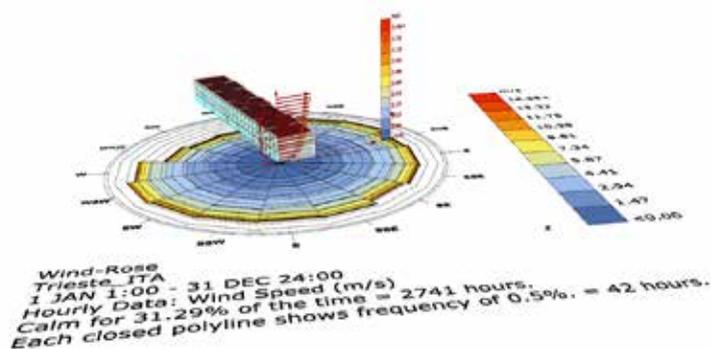


Figura 25:
Analisi del vento incidente per
il Magazzino 25 - elaborazione
dell'autore.

Si può estrapolare un'informazione piuttosto utile andando a limitare il periodo di analisi per i mesi estivi da maggio a settembre in cui il vento può essere una condizione favorevole per la ventilazione naturale degli ambienti. Ciò che otteniamo è che per la maggior parte del tempo riferito all'intervallo di analisi, il vento spira da SSE con una velocità massima di 7,1 m/s.

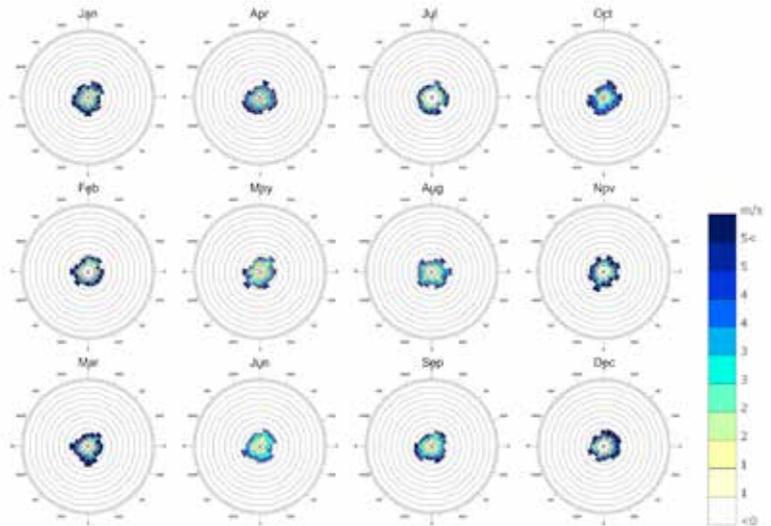


Figura 26:
Rappresentazione delle rose
dei venti per ciascun mese -
elaborazione dell'autore.

Analisi a scala di edificio

Scenario di analisi 1: restauro conservativo

Questo primo scenario viene impostato sulla falsariga dell'intervento di restauro già attuato nel Magazzino 26, in cui sono mantenute immutate le componenti strutturali architettoniche interne, oltre a quelle esterne.

L'intervento ipotizzato si orienta al recupero integrale dell'intero edificio in tutte le sue parti architettoniche e parti di strutture più degradate comprendendo in maniera particolare: il pacchetto di copertura, gli intonaci esterni, le cornici, i decori e le lesene, i serramenti storici.



*Figura 27:
Vista del Magazzino 26 a seguito del restauro - foto dell'autore del 2017.*



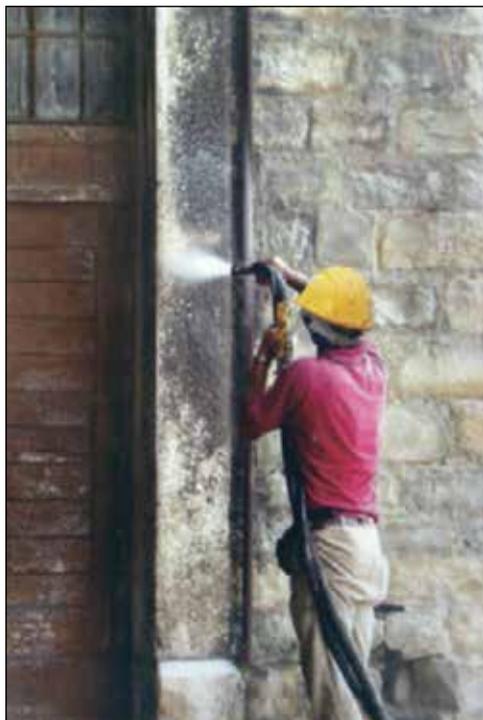
*Figura 28:
Vista del Magazzino 26 a seguito del restauro - foto dell'autore del 2017.*



*Figure 29:
Processo di ripristino dei bal-
latoi esterni del Magazzino 26
- fonte documenti di cantiere
dell'Autorità Portuale di Trieste.*



*Figure 30:
Stato di conservazione dei ser-
ramenti dei magazzini - foto
dell'autore del 2017.*



*Figure 31:
Procedura di lavaggio con
acqua in pressione - immagine
dai documenti di archivio
dell'Autorità Portuale di Trieste.*

La rifunzionalizzazione del Magazzino 26 prevede anche il recupero strutturale che viene descritto nel certificato di collaudo come segue:

Le opere strutturali previste nel progetto esecutivo consistono nel recupero e adeguamento delle strutture portanti esistenti. Si è provveduto pertanto alla rifacimento delle voltine in e.a. dei solai tipo Monnier dei ballatoi esterni e la ricostruzione dei collegamenti trave di bordo e colonne in ghisa con fazzoletti e bullonature. Le murature sono oggetto di un intervento di cuciture armate che hanno interessato alcune zone d'angolo dell'edificio lesionate.

In copertura si realizza un nuovo cordolo perimetrale di coronamento in e.a. a sostegno della linda e si provvede al rifacimento degli appoggi delle travi in acciaio di copertura. Si costruiscono inoltre al piano interrato delle vasche in e.a. per l'alloggiamento delle pompe di sollevamento. Per accedere al ballatoio del piano terra si prevede la costruzione di scale a doppia e singola rampa con struttura metallica portante in profili aperti in acciaio e fondazioni in e.a. del tipo a plinto.

Per le scale esistenti il progetto prevede l'inserimento di profili tipo IPE a sostegno dei gradini in pietra e collegati ai profili esistenti.

All'interno dell'edificio vengono realizzati tre vani scala e dei vani ascensore e montacarichi interni all'edificio stesso (denominati nelle tavole di progetto scale "A"- "B"- "C"). Le scale vengono realizzate con struttura metallica portante con putrelle in acciaio tipo UPN e soletta in cls di completamento; le pareti portanti degli ascensori e vani scala sono costituite da pareti in C.A. .

Scenario di analisi 2: isolamento interno

Lo scenario di intervento parte da uno scenario di recupero funzionale e, con un approccio conservativo, prevede azioni reversibili per la riduzione delle dispersioni termiche. In particolare vengono identificate le azioni perseguibili e simulati gli effetti sul futuro bilancio energetico derivate dall'isolamento delle facciate dall'interno, dall'isolamento del pavimento e del tetto e dal miglioramento prestazionale degli infissi.

L'isolamento interno è una delle misure reversibili di efficienza energetica che possono essere applicate, tuttavia è una delle azioni più complesse e difficili a causa dei cambiamenti delle condizioni al contorno e del comportamento igrotermico del muro, specialmente nei periodi freddi.

Il lavoro di ricerca, per validare questa ipotesi ha fatto ricorso a

monitoraggi in sito (Appendice 1) e simulazioni numeriche dinamiche del comportamento termoigrometrico delle murature al fine di individuare i criteri per orientare l'intervento dall'interno.

Ci sono essenzialmente due modi per trattare l'umidità e prevenirne l'accumulo all'interno del pacchetto murario:

1. Sistema impermeabile al vapore
2. Sistema capillare attivo

Nel primo, questo sistema di ostacolare e prevenire il flusso di vapore nei muri avviene con barriere al vapore o intonaco denso. L'aspetto positivo è che l'accumulo della condensa dentro il muro è evitata. Nonostante ciò c'è un possibile impatto negativo, ovvero che la muratura non può asciugarsi attraverso la superficie interna e ciò può essere un problema quando la pioggia penetra dall'esterno. Oltretutto, in pratica può essere difficile raggiungere la qualità necessaria richiesta nella progettazione, soprattutto nelle discontinuità di tipo geometrico e nelle connessioni.

Con sistema ritardante alla diffusione del vapore (Vapour Retardant Foils) la riduzione della diffusione del vapore è ridotta nel passaggio dall'interno all'esterno, ma allo stesso tempo la parete si può asciugare.

L'analisi in regime variabile, infatti, mette in evidenza la capacità igroscopica dei materiali della stratigrafia e la capacità di accumulo e rilascio di umidità dell'isolamento interno.

Ci sono altri sistemi ritardanti in cui la conducibilità di vapore varia dai livelli di umidità. I sistemi permeabili al vapore permettono la diffusione del vapore nel muro; questi respingono l'umidità risultante e rimuovono l'acqua liquefatta dalla zona di condensazione attraverso la superficie interna. Grazie alla capacità

di immagazzinamento igroscopico del sistema d'isolamento interno attivo capillare, i picchi di umidità all'interno dell'edificio possono essere ridotti e il clima interno può essere regolato.

La capillarità di questi sistema assicura che l'umidità si distribuisca rapidamente nello strato isolante. Questo accelera il processo d'asciugatura e migliora l'effetto isolante del sistema.

Cruciale per il funzionamento e le prestazioni dell'isolante interno è l'interazione tra l'effetto tampone sull'umidità e il trasporto dell'acqua e il liquido. Una valutazione dei tipi di isolamento interno richiede una esatta conoscenza di queste variabili e una analisi più accurata del solito. Nella zona in cui si raggiunge il punto di rugiada, il vapore acque si condensa e si accumula nei pori del materiale isolante.

Il materiale isolante trasporta indietro la condensa alla superficie interna, perché la resistenza al vapore e la conduttività del liquido della malta isolante è molto più bassa rispetto a quella del materiale isolate stesso. Il liquido così evapora nuovamente sulla superficie interna. Questo metodo di isolamento ha particolari effetti positivi quali la regolazione dell'umidità nell'involucro dell'edificio e il mantenimento di un clima interno salubre.

Lo scenario considera inoltre l'introduzione di ventilazione adattiva, usata per controllare l'umidità relativa negli edifici, con lo scopo è di ridurre il rischio dovuto alla biodeteriorazione. Per ventilazione adattiva si intende solo quanto l'umidità relativa esterna è più bassa di quella interna: questo tipo di ventilazione non è sempre possibile a causa delle condizioni climatiche e delle richieste di comfort interne, ma in generale garantisce un importante contributo all'eventuale asciugatura degli strati murari introdotti.

Il secondo scenario prevede un grado di reversibilità inferiore al primo poiché vengono applicate delle migliorie all'involucro,

intervenendo quindi sullo stesso:

- Isolamento termico interno con Aerogel di 30 mm affinché sia a filo con l'estradosso delle sporgenze delle finestre. L'Aerogel è un materiale solido ed allo stesso tempo molto leggero, con una densità di circa 100-150 kg/m³; può presentare una base di silice, alluminio, cromo o stagno, anche se in edilizia attualmente si utilizza principalmente l'Aerogel di silice. Deriva da un gel nel quale la componente liquida è stata sostituita da aria: la percentuale di vuoto al suo interno varia tra il 97% ed il 99% ed i valori di conducibilità termica ottenibili sono molto bassi, in quanto questo materiale sfrutta al meglio le proprietà isolanti dell'aria ferma contenuta all'interno delle sue cavità. Questo materiale, scoperto già nel 1930, è da tempo utilizzato come isolante termico in ambito aerospaziale, automobilistico, navale, nell'ingegneria fisica e nell'industria dell'abbigliamento per climi molto rigidi. Solamente di recente si è riuscito a ridurre il suo costo di produzione a livelli accettabili, permettendone l'uso in alcune applicazioni nel settore edilizio;
- tenuta all'aria dei serramenti maggiore, e resistenza termica incrementate con vetri doppi e un'intercapedine d'aria di 13mm;
- isolamento della copertura con lastre di polistirene espanso sinterizzato EPS S dello spessore di 15 cm.

Scenario di analisi 3: pelle interna

Negli ultimi anni, tecnologie involucri denominate facciate a doppia pelle, si sono diffuse in maniera rilevante, in particolare Germania, Paesi Bassi e Inghilterra.

Questa tipologia di facciata ha fornito elevati standard in merito al comfort degli utenti e alle prestazioni energetiche sponibili, guadagnando molta popolarità.

Le categorie di facciate a doppia pelle sono talvolta considera-

bili Smart Facades in relazione alle tecnologie in esse contenute, ad esempio:

- integrazione controllata di un layer di vegetazione verticale nell'intercapedine;
- sistema di ventilazione controllata nell'intercapedine e gestione dell'effetto camino,
- installazione combinata a sistemi schermanti adattivi,
- etc...

L'individuazione di questo ultimo scenario si contrappone a logiche conservative, avendo scarsa reversibilità, e vuole essere un esercizio progettuale, eventualmente applicabile a quei magazzini che non hanno uno stato di conservazione adeguato per essere recuperati integralmente nelle loro strutture interne.

La tecnologia di facciata analizzata sfrutta come la pelle esterna il recupero delle facciate dell'epoca e, come pelle interna, una superficie vetrata. Il sistema deve essere concepito per garantire prestazioni energetiche flessibili e adeguate alle condizioni climatiche mediterranee, caratterizzato dalla possibilità di variare la sua configurazione nell'arco dell'anno in corrispondenza del passare delle stagioni.

*Figure 32:
Ex-Magazzino Vini, Rive di Trieste. Sono mantenute le facciate dell'epoca e viene realizzata una pelle interna. In questo caso la distanza tra i due elementi non presuppone una sinergia nel comportamento energetico complessivo involucre. Foto dal Piccolo di Trieste.*



Risultati

Sono stati individuati alcuni magazzini nei quali approfondire gli scenari individuati, in particolare è stato individuato il magazzino 25, attenzionato recentemente a *stakeholders* privati, come caso studio per lo sviluppo di modelli numerici per l'analisi degli scenari individuati.

Le azioni sull'involucro attraverso modelli numerici e tecniche di simulazione energetica (BES). Definito un programma di utilizzo comune, sono modellati 3 scenari di intervento vengono che, attraverso co-simulazioni con strumenti tipo EnergyPlus, Radiance, etc... accumulati in una bed-platform identificabile da Rhinoceros-Grasshoper-Honeybee, hanno permesso di individuare il contributo prestazionale di ogni singolo intervento, valorizzando le tecniche di intervento più appropriate, e fornendo uno strumento al decisore.

A partire dalla stessa forzante climatica e del medesimo carico interno e considerando programmi di utilizzo a destinazione museale, vengono rappresentati i risultati raggiunti.

1. Il primo scenario (Restauro conservativo), prevede di intervenire sull'involucro riportandolo allo stato originale. Le maggiori criticità che si sono palesate sono dovute alle scarse prestazioni della copertura che risulta essere la superficie maggiormente disperdente dell'edificio, inficiando sul consumo per il riscaldamento degli ambienti. Stesso principio, ma con segni opposti, accade nei mesi più caldi.

Dal punto di vista energetico, emerge che l'utilizzo di infissi opsoletti risulta estremamente svantaggioso a causa dell'alta permeabilità all'aria e alle conseguenti infiltrazioni. Ciò comporta una spesa energetica per mantenere le temperature entro l'intervallo di set point particolarmente elevata per il pian terreno che ha una forometria pari al 40% della superficie opaca.

Ai fini di una analisi di daylighting, l'illuminazione naturale al piano terra è negata dalla presenza dei portoni in legno, riducendo il comfort dell'utenza.

L'effetto della muratura massiva in arenaria spessa 70cm è enfatizzato nei mesi estivi in cui il rapporto di flusso termico uscente/entrante sulla superficie opaca è prossimo al valore unitario. Ciò sta ad indicare che il calore accumulato di giorno viene scaricato all'esterno di notte.

2. Lo scenario che prevede l'isolamento termico dall'interno è consentito a scapito di una minore reversibilità. In particolare gli infissi originali vengono sostituiti da altri aventi una prestazione migliore in termini di tenuta all'aria e trasmittanza media. A scopo didattico, viene considerato uno strato isolante equivalente a 3,5 cm in Aerogel sul lato interno, mentre la copertura è isolata esternamente da 15cm di EPS, raggiungendo in questo modo le condizioni limite per la formazione di muffe o condense interstiziali e, in questo caso, i valori minimi di trasmittanza previsti dal DM26/06/2015.

Il miglioramento prestazionale complessivo, adottando questo tipo di soluzione, è decisamente elevato, e può essere misurato considerando come benchmark il modello 1 e attestando carichi di riscaldamento su base annuale ridotti del 67% rispetto al caso precedente.

3. Per avere una panoramica completa delle modalità di intervento, l'ultima proposta di scenario, a meno dei principali componenti di facciata, ha una reversibilità pari a zero, poiché prevede l'asportazione degli elementi interni a scapito di una seconda pelle interna. Questo tipo di approccio nasce tenendo conto di esempi internazionali sul riuso adattivo, infatti l'organismo edilizio si può evolvere per adattarsi a esigenze funzionali

diverse dall'epoca di costruzione, con la consapevolezza di ag-
giungere valore all'esistente, piuttosto che detrarlo.

Secondo questa analisi, il concetto di reversibilità è inversa-
mente proporzionale alla flessibilità del progetto di recupero, in
cui è necessaria una riorganizzazione dei volumi e del sistema
distributivo e funzionale dell'intero edificio.

Oltretutto, se si esclude a priori la possibilità di ricostruzione in
analogia delle opere strutturali interne, talvolta estremamen-
te deteriorate, questo approccio progettuale offre una valida
alternativa, se non l'unica opzione, per ristabilire l'efficienza
dell'organismo edilizio e preservare la memoria storica.

Il comportamento energetico di questa ultima soluzione fa rife-
rimento alla una Dynamic Facade System⁹ a doppia pelle che si
va a creare una ventilazione controllata nella camera d'aria tra
i due layer. Per stimare le prestazioni complessive del sistema
edificio-impianto sono stati utilizzati due modelli energetici in
grado di coniugare i risultati ottenuti nelle situazioni di estre-
mo. Un modello è utilizzato per i mesi estivi in cui è consentita
la ventilazione nell'intercapedine d'aria e considera l'involucro
opaco solamente come elemento shading, trascurando l'in-
fluenza inerziale della muratura. Il secondo, adatto per i mesi
invernali, prevede una Zona interna all'altra, in tal modo si va
a considerare chiusa l'intercapedine d'aria e conferire maggiori
benefici in quanto a energia spesa per il riscaldamento.

La convenienza energetica si colloca nell'intorno dello scena-
rio "Isolamento interno", ma al contempo si apre a una qualità
architettonica complessiva disponendo infatti di maggior fles-
sibilità interna e una quasi completa capacità di gestione della
luce naturale.

⁹ Sistema di facciata dinamica intelligente

Analisi a scala urbana

La ricerca prevede la valutazione e comparazione di possibili soluzioni per la riqualificazione tecnologica ed energetica dei singoli edifici e del sistema urbano di riferimento considerando apporti da fonti rinnovabili ed, in maniera particolare, gli apporti derivanti dallo sfruttamento dell'energia termica contenuta nell'acqua di mare o da sorgenti a bassa temperatura (scambi termici con acquedotto o fognatura, geotermia a bassa profondità), supportati eventualmente da sistemi cogenerativi e tri-generativi.

Se si volesse utilizzare una fonte rinnovabile per l'intero fabbisogno energetico di un edificio ci confronteremmo probabilmente con la discontinuità temporale della stessa (si pensi ad esempio il sole o il vento). Tale discontinuità viene affrontata solitamente nella progettazione impiantistica con elementi di accumulo inerziale, elementi per lo stoccaggio di energia, oppure con generatori di backup ad altra fonte.

Quest'ultima modalità, se sviluppata per alternare tra loro diverse risorse rinnovabili, rappresenta la possibilità di uno scenario rinnovabile al 100%.

Infatti, il recente concetto di smart thermal grid o reti di teleriscaldamento o teleraffrescamento di 4^a generazione¹⁰ (o intelligenti) esprimiamo l'evoluzione di una modalità di distribuzione dell'energia per i fabbisogni termici degli edifici verso:

- una maggior efficienza di distribuzione (temperature più basse),
- logiche smart di gestione dei generatori e utilizzatori,
- massima integrabilità in rete di fonti energetiche (si pensi ad esempio a cascami termici non utilizzati).

¹⁰ Richiamate anche nel Piano energetico regionale alla scheda di dettaglio 14: "Programmi di ricerca nel settore FER". (http://www.regione.fvg.it/rafv/export/sites/default/RAFVG/ambiente-territorio/energia/FOGLIA111/allegati/PIANO_ENERGETICO_REGIONALE_ALLEGATO1.pdf)

Tali tecnologie hanno un ruolo fondamentale nella transizione energetica al 100% rinnovabile e costituiscono, in prospettiva, parte integrante del funzionamento dei sistemi energetici degli edifici (Lund et al., 2014).

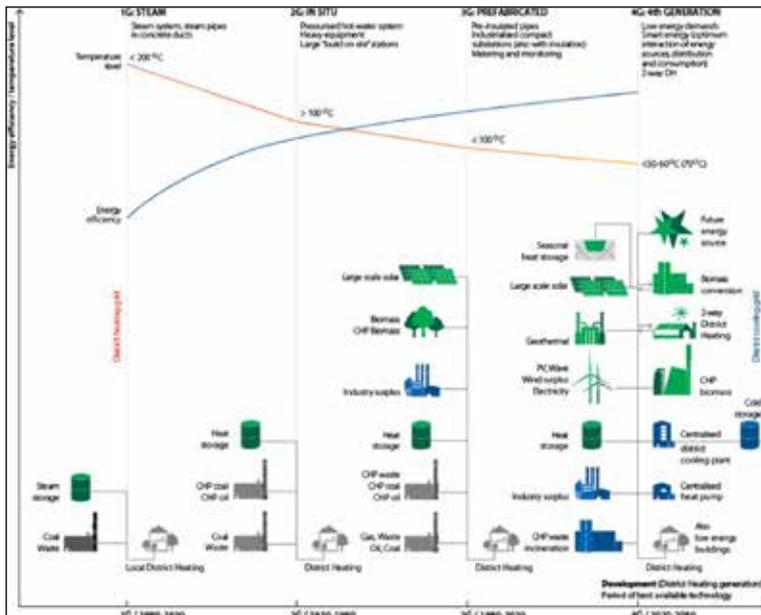


Figure 33: Evoluzione delle reti di teleriscaldamento e teleraffrescamento - fonte Lund et al., 2014.

Nella comparazione delle risorse rinnovabili locali sono stati esaminati alcuni casi studio, in particolare impianti geotermici, come quelli per riscaldamento e raffreddamento di Pontebba e Grado (Della Vedova et al., 2014) ed impianti idrotermici ad acqua di mare, l'impianto del Salone degli Incanti e la rete di scambio a mare di Porto Piccolo, a Sistiana.

Un approfondimento in merito alla gestione delle reti di 4 generazione ha riguardato, oltre a soluzioni locali e comparabili in termini di rinnovabili a disposizione, lo studio di alcuni casi significativi riguardanti tecnologie, strumenti e metodologie per lo sfruttamento e la distribuzione di energia da fonti rinno-

vabili come il progetto per la “Smart Thermal Grid” nel TU Delft campus (Delft Smart City project, 2016) e il sistema di teleriscaldamento e teleraffrescamento del distretto @22 di Barcellona (22@ Barcelona - El districte de la innovació, no date).

Sono state analizzate alcune best practices europee che, pur non rappresentando esempi di smart thermal grid, risultano esempi con aspetti certamente innovativi.

Marstal, Danimarca

- Integrazione di diverse tecnologie (cogenerazione, pompe di calore e solare termico)
- Diverse fonti di energia rinnovabile (biomassa, solare)
- Cooperativa di residenti
- Deposito di calore a breve e lungo termine

Barcellona, Spagna

- Teleriscaldamento e teleraffreddamento
- Fonti di calore sostenibili e calore residuo (utilizzo di acqua di mare e rifiuti in energia)
- Retrofitting di edifici collegati

Graz, Austria

- Integrazione di diverse tecnologie nel tempo (dalla cogenerazione a gas alle grandi frazioni solari)
- Ottimizzazione dell'estrazione del calore residuo nelle industrie locali
- Retrofitting di edifici collegati
- Sviluppo continuo di concetti per impianti a basse emissioni di carbonio come geotermia e biomassa

Heerlen, Paesi Bassi

- Scambio di calore tra edifici e gruppi di edifici
- Uso di mine come pozzi di calore
- Integrazione di diverse tecnologie: bio-CHP, energia solare, alimentazione del calore residuo (data center e industria)
- Bassa temperatura DH
- Sistema di monitoraggio centrale (CMS) tramite Internet

Stoccolma, Svezia

- Teleriscaldamento e teleraffreddamento
- Diverse fonti di energia rinnovabile (rifiuti, acqua marina e lacustre, centri dati)
- Integrazione di diverse tecnologie (CHP, pompa di calore)

La valutazione di convenienza per l'adozione di simili tecnologie è complessa, infatti la simulazione, o meglio l'approssimazione del comportamento reale, non è banale. Stimare il comportamento effettivo degli occupanti, stimare l'attivazione di logiche predittive sull'uso degli edifici e sulle condizioni climatiche, modellare l'ottimizzazione dei sottosistemi con logiche adattive sono solo alcuni dei modificatori che rendono *troppo approssimata* una simulazione del comportamento reale dell'intero sistema. Questi presupposti non forniscono un adeguato supporto al decisore. Le esperienze analizzate mostrano infatti che l'avvio di reti di questo tipo si confrontano con ampi partenariati pubblico-privati, supportati dai cittadini dell'area interessata, e sorgenti energetiche generose e gratuite da poter sfruttare. In uno scenario che non ha sostegni finanziari dettati da linee politiche, gli oneri di infrastrutturazione, che rappresentano un costo rilevante dell'applicazione di questo sistema, eluderebbe un potenziale beneficio ambientale.

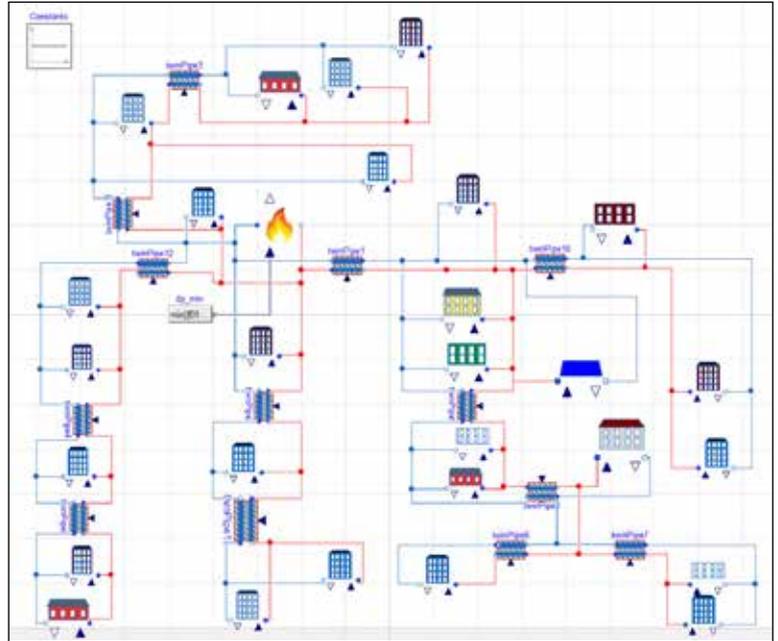


Figure 33:
Esempio di schema a blocchi
per la co-simulazione di una
smart thermal grid - fonte
www.sintef.no.

Risorse rinnovabili locali

Considerate le modalità per la distribuzione in rete di risorse termiche, la ricerca si concentra nello studio dello sfruttamento di rinnovabili locali che, in relazione al caso studio del Porto Vecchio di Trieste, sono rappresentate principalmente da:

- l'energia termica contenuta nel mare,
- l'energia eolica
- e l'energia solare.

Uno studio del 2003 analizza il potenziale del vento nel nord Adriatico (Lavagnini, Sempreviva and Barthelmie, 2003). La ricerca, pur evidenziando la difficoltà del monitoraggio meteorologico in acque più profonde, fa presupporre che i regimi eolici (brezza calma e i venti locali come Bora, Maestrone e Scirocco) non rappresentano un ottimo potenziale per la realizzazione di un efficiente parco eolico.



*Figura 34:
Stazioni meteorologiche di riferimento dello studio del potenziale del vento nel nord Adriatico, stazioni di Ronchi, Rimini e Venezia - fonte Lavagnini, Sempreviva and Barthelmie, 2003.*

L'energia solare, da convertire in termico ed elettrico, si confronta principalmente con le superfici captanti da convertire. Attualmente non vi sono grandi prospettive per l'installazione pannelli in copertura nei magazzini ma, se vi fosse compatibilità storico-paesaggistica, tale applicazione, relazionata ai carichi termici ed elettrici di progetto, troverebbe sicuramente convenienza economica e un ritorno nel breve termine.

Alcuni filoni di discussione, considerati sia i beni tutelati dal d.lgs 42/2004, sia l'edilizia storica seriale, tutelata dalle normative urbanistiche di competenza regionale (e locale) sono così individuabili:

- l'inserimento in aree di tutela paesaggistica quali centri storici (interventi puntuali a contatto con l'edilizia storica, ma anche inserimenti sulle falde o quali elementi aggiuntivi all'edilizia storica seriale);
- inserimenti su edifici storici isolati, anche se non tutelati ai sensi del d.lgs 42/2004: per esempio fattorie storiche o edifici agricoli, isolati; 148
- l'inserimento a contatto con i beni monumentali (sulle falde dei tetti, a sostituzione di superfici vetrate ecc.) o in aree di tutela indiretta.

Risulta prassi diffusa evitare l'inserimento dei pannelli sull'edificio monumentale: sui corpi annessi o sulle recinzioni, o nelle aree immediatamente circostanti, va valutato l'inserimento dei pannelli in relazione alla percezione visiva del monumento e alle sue caratteristiche peculiari. L'architettura industriale otto-novecentesca (o anche l'architettura modernista) invece, potrebbe considerare delle proposte progettuali sul design solare in relazione al restauro e alla riqualificazione involucale che, essendo per loro natura forme di fattura industriale, sono vicine concettualmente all'innovazione tecnologica contemporanea.

Tale riflessione però deve confronto in un caso applicativo in relazione a specifici elementi introdotti, di novità o mitiganti.

Tornando alle risorse rinnovabili locali, il mare invece rappresenta una ottima risorsa termica per macchine a ciclo frigorifero, ne sono l'esempio alcune recenti installazioni limitrofe:

- Portopiccolo a Sistiana,
- Salone degli Incanti a Trieste,
- Ex Magazzino Vini.

Questi ultimi infatti integrano delle loro centrali di generazione pompe di calore con sistemi di scambio a mare a circuito aperto.

Recenti sviluppi delle macchine frigorifere e il progressivo decremento delle domanda termica configurano l'acqua di mare come risorsa principe nelle zone costiere, infatti risulta essere un'ottima fonte rinnovabile locale, che garantisce ottime prestazioni nel tempo mitigando la formazione di isole di calore urbane.



*Figura 32:
Installazione del sistema di
scambio a mare del Salone de-
gli Incanti (TS) - fotogramma
da video elaborato dall'autore.*

*Figura 35:
Installazione del sistema di
scambio a mare del Salone de-
gli Incanti (TS) - fotogramma
da video elaborato dall'autore.*



*Figure 36:
Esempi di installazione dei
sistemi di scambio a mare.
Dall'alto in sinistra: circuiti
appoggiati al fondo marino;
installazione su dighe foranee;
installazione su opere a mare
come banchine; installazione
sotto il fondo marino.*



Utilizzare in modo sostenibile l'energia termica immagazzinata nel mare, sia in applicazioni diffuse che puntuali, eventualmente integrata con altre RES disponibili in sede locale, è un potenziale metodo per transitare gli attuali sistemi energetici in sistemi a logica smart.

La potenza termica prelevabile dall'acqua di mare è stimabile in base alla posizione dei sistemi di scambio e viene valutata verificando la circolazione di bacino, in modo che si possa estrarre energia senza provocare variazioni significative all'ecosistema, dovuti principalmente a causa delle modificazioni di temperatura.

A valle di ciascun punto di prelievo infatti va caratterizzata la geologia e la geofisica del fondo marino e prodotto uno studio in dettaglio per il posizionamento di scambiatori.



Figure 37:
Esempi di biofouling negli
scambiatori a mare - fonte
www.tempeco.it.

Nell'ipotesi di sistema a circuito chiuso risulta possibile considerare l'installazione di circuiti di scambio termico in elementi immersi in a mare come banchine, dighe foranee, frangiflutti, etc... In questo modo si ottimizzano le capacità di scambio termico e si sfruttano le caratteristiche di inerzia termica degli elementi che le contengono.

Oppure, in maniera combinata o alternativa e nel caso in cui i fondali lo permettano, proponiamo l'interramento di circuiti di scambio termico sul fondo marino, con modalità analoghe a quelle utilizzate a terra per la posa delle sonde geotermiche orizzontali.

Il circuito chiuso è infatti da preferire in quanto fenomeni di bio-fouling implicano repentini interventi manutentivi di pulizia e l'immissione di agenti chimici a mare. Il fenomeno è conosciuto in ambito di motori navali, nei sistemi di scambio termico per il raffreddamento dei motori.

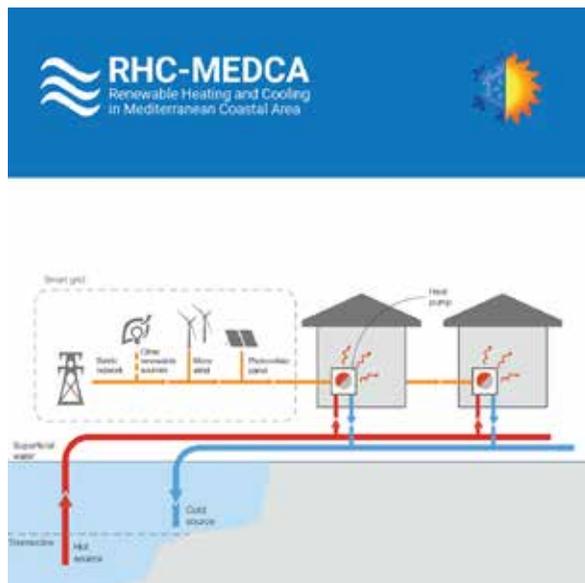


Figura 38:
Proposta di start-up che affronta il tema dello scambio termico a mare per al rifunzionalizzazione degli edifici. Proposta sviluppata in collaborazione con OGS e FIT - elaborazione grafica dell'autore.

Linee guida omogenee per la riqualificazione energetica del waterfront

Le analisi condotte e i risultati raggiunti permettono di produrre indicazioni utili al miglioramento dell'efficienza energetica in uno scenario di riutilizzo del patrimonio culturale afferente il waterfront della città.

I risultati raggiunti dalla ricerca hanno permesso la produzione di criteri orientativi a supporto dell'impostazione metodologica di progetto nell'ipotesi di riutilizzo adattivo degli edifici, in particolare volti raggiungere virtuosi obiettivi di efficienza energetica.

Tali raccomandazioni si riferiscono a specifici ambiti di progetto:

- infrastrutture urbane di riferimento;
- sistema ambientale/spaziale;
- sistema tecnologico.

Infrastrutture urbane di riferimento

Una doverosa visione olistica del sistema edificio-impianto porta a comprendere, tra gli interventi di riqualificazione e manutenzione, anche le strategie operanti sull'intorno dell'edificio, volte principalmente a supportare scelte audaci per l'avvicinamento agli standard ambientali minimi ai quali sono sottoposte le nuove costruzioni.

In quest'ultimo tema rientra in maniera preponderante il ricorso alle rinnovabili con l'analisi della loro discontinuità temporale e una loro possibile integrazione. In questo campo sono state definite e sperimentate tecnologie e strumenti efficaci per massimizzare lo sfruttamento delle rinnovabili. Risultano accumulati sotto il concetto di "Smart Thermal Grid" o "reti di tele-riscaldamento/teleraffrescamento di 4^a generazione". Questo

strumento è da considerarsi strategico per l'avvicinamento ai parametri indicati nelle politiche energetiche comunitarie per il 2050, in particolare quando si affrontano edifici moderatamente energivori e in considerazione di una payback-time potenzialmente basso in quanto ci troviamo in una fase di modifica sostanziale della infrastrutturazione dell'area di Porto Vecchio.

Sistema ambientale/spaziale

Il volume compatto dei fabbricati e l'involucro sottoposto a necessaria tutela storica costituiscono importanti limiti per la fruizione e l'accesso della luce naturale negli ambienti. Caratteristica, peraltro, molto ricercata nelle architetture contemporanee. Nell'ambito della ricerca sono state analizzate numerose distribuzioni spaziali e funzionali nelle configurazioni volumetriche tipo dei magazzini del Porto Vecchio, dimostrando infine che gli spazi distributivi principali se collocati nella zona centrale dell'edificio possono risultare privi di accesso solare dall'esterno se non eventualmente supportati da cavedi o pozzi solari.

Inoltre le ridotte aperture involucri nei piani superiori al piano terra offrono, anche con tecnologie trasparenti performanti, uno scarso accesso alla luce naturale dopo i primi metri dagli infissi. Adottando particolari sistemi riflettenti, anche all'interno di una ipotetica intercapedine costituita da una doppia pelle involucri il risultato non si discosta significativamente. Le indicazioni producibili sono

Nell'analisi di strategie di intervento sono state considerate strategie passive e tecniche bioclimatiche applicabili, per quanto afferisce il sistema ambientale/spaziale. Simulazioni energetiche dinamiche hanno potuto dimostrare che la massività involucri è un contributo strategico per attenuare la forzante climatica nelle stagioni intermedie e garantire un eccellente soddisfacimento in termini di comfort per gli occupanti con un minimo contributo impiantistico. Questo, però, a patto che la

ventilazione, e di conseguenza la permeabilità d'involucro, sia intelligentemente controllata con logiche di free-cooling notturno o in condizioni di temperatura prefissate.

Sistema tecnologico

L'analisi affronta il tema principalmente a livello involucreale, in particolare poiché risulta essere l'elemento cruciale nel bilancio energetico e l'elemento identitario nell'immaginario collettivo, che connota dal punto di vista storico-architettonico e paesaggistico il waterfront urbano.

Pertanto, considerando il mantenimento delle facciate storiche e il loro stato di conservazione, implicando anche considerazioni dal punto di vista strutturale, sono stati approfonditi tre scenari che prevedono diversa reversibilità di intervento e progressivo incremento prestazionale. Le categorie di strategie di intervento in facciata individuate ed analizzate sono:

- restauro conservativo ed eventuale ricostruzione in analogia storica;
- restauro conservativo, isolamento dall'interno e incremento prestazionale dell'involucro trasparente;
- introduzione di una smart-facade attraverso l'inserimento di una pelle interna.

Le analisi condotte con modelli numerici permettono di orientare una pesatura degli interventi involucreali per favorire una significativa riduzione dell'energia spesa per riscaldamento e raffrescamento, in particolare possono essere considerati sostanziali tre ambiti di intervento:

- limite della permeabilità all'aria d'involucro;
- incremento prestazioni termiche delle coperture e dei pavimenti contro terra;
- incremento prestazioni termiche dell'involucro trasparente.

Infine, oltre all'efficientamento involucre, si intende affrontare il tema dell'inserimento degli impianti tecnologici negli edifici storici in quanto pone diverse problematiche che coinvolgono: la destinazione d'uso, le compatibilità fisico-chimiche e il mantenimento dell'equilibrio strutturale. Ciò riguarda principalmente l'introduzione di reti aerauliche con portate significative che rischiano di comportare l'apertura incontrollata di nuovi vani per il passaggio impiantistico alterando l'equilibrio preesistente.

In generale risulta necessario anche in questo ultimo caso fondamentale tenere presente la corretta pesatura tra conservazione beni architettonici e il nuovo intervento tecnologico.

Infine è possibile vagliare anche l'ipotesi di installazione di tecnologie per lo sfruttamento delle rinnovabili puntualmente, in ciascun edificio e, ove possibile, pannelli per la captazione solare e la conversione in energia termica ed elettrica. Viste le superfici a disposizione, con questa ultima opzione, un potenziale surplus termico ed elettrico potrebbe essere riversato riversato nella sottorete (Smart Thermal Grid) e sfruttato in altri edifici, aumentando la quota rinnovabile complessiva utilizzata.

Conclusioni

Il lavoro svolto parte dalla comprensione delle caratteristiche edilizie ed infrastrutturali del waterfront triestino, e, in particolare, dell'area del Porto Vecchio di Trieste.

A tale scopo è stata realizzata una piattaforma informatica BIM-GIS (Piattaforma Informativa) capace di recepire le informazioni raccolte e i risultati delle successive analisi. Tale piattaforma è stata realizzata attraverso software open-source ed è accessibile attraverso un browser web.

La disponibilità della Piattaforma Informativa, sviluppata nell'ambito del progetto di ricerca, potrà costituire un interessante strumento informativo per affrontare la complessità che connota l'area del Porto Vecchio e, conseguentemente, supportare la concertazione degli stakeholders coinvolti nel processo di restituzione dell'area alla città nell'ottica di un suo pieno riutilizzo.

Grazie e rilievi svolti sul campo, anche mediante nuvole di punti, restituzioni informatizzate in modelli BIM ed esercitazioni progettuali mirate ad identificare ipotesi di riutilizzo adattivo dei manufatti, sono stati individuati alcuni principali scenari di intervento a cui potrebbero essere assoggettati i tipi edilizi presenti nel waterfront triestino.

Successivamente, il lavoro di ricerca affronta la simulazione e l'analisi del comportamento termico di alcuni edifici rappresentativi delle tipologie edilizie sopra citati nei rispettivi scenari di intervento, sfruttando modelli dinamici basati sulla forzante climatica. Nello specifico sono stati analizzati l'edificio denominato "ex Meccanografico" ed i Magazzini 9, 25 e 26, dai quali sono stati desunti i probabili profili temporali di utilizzo di energia

termica ed elettrica, con l'obiettivo di confrontarli con la disponibilità delle risorse rinnovabili locali e il loro potenziale di stoccaggio.

Il lavoro è proseguito con l'identificazione e l'analisi di risorse rinnovabili locali; in particolare, monitorando e studiando installazioni esistenti, esso approfondisce le potenzialità di sfruttamento idrotermico negli impianti di riscaldamento e raffrescamento degli edifici impiegando il calore contenuto nell'acqua di mare. Gli interessanti risultati hanno portato a tessere partnership con produttori di tecnologie e ad una proposta di startup sul tema che ha ottenuto riconoscimenti in contest regionali e internazionali.

Infine, in relazione ai temi affrontati e grazie ai risultati raggiunti, sono proposte nel capitolo conclusivo delle raccomandazioni di intervento che rappresentano un contributo metodologico di carattere generale, propedeutico a successivi approcci operativi e progettuali.

Tali indicazioni per le azioni di recupero e riqualificazione energetica non possono considerarsi esaustive, piuttosto un contributo alla disciplina e alle successive azioni di recupero che potranno essere messe in atto nel prossimo futuro.

Approfondimenti sulla riqualificazione energetica dell'involucro opaco

Modellazione numerica

Le difficoltà più importanti inerenti la simulazione riguardano:

- semplificazione grafica delle strutture complesse
- definizione delle condizioni al contorno
- discretizzazione del layout
- selezione dei parametri dei materiali

Come accennato in precedenza, l'audit energetico di un edificio storico non è un processo semplice. L'influenza dell'orientamento del muro, dei dati climatici e delle condizioni al contorno sono rilevanti per i risultati (Roberti et al., 2015, 2017; Pasucci and Lucchi, 2016).

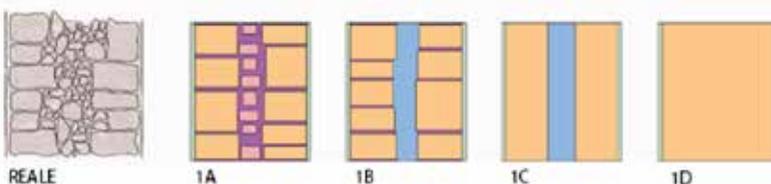


Figura 39:
Semplificazioni per la model-
lazione numerica dell'invo-
lucro massivo - fonte Lucchie
Pasucci, 2016.

Nella fase di semplificazione geometrica di una complessa opera muraria composta da bugnato irregolare e un nucleo formato da materiale misto, sorgono le diverse problematiche sul come rappresentare l'eterogeneità. Nella definizione del modello nu-

merico dell'involucro, è possibile adottare diversi gradi di semplificazioni. Quattro diversi layout sono stati delineati in ordine di definizione di dettaglio dal più accurato, rappresentativo dello stato dell'arte, a quello mono-layer.

Il modello iniziale (1A) è il più complesso: presenta diversi elementi in pietre con dimensioni diverse che riproducono la situazione reale della muratura storica. I blocchi di pietra hanno una disposizione casuale, senza nessun ordine. La seconda stratigrafia (1B) riproduce i reali spessori e caratteristiche del muro. I lati esterni sono formati da blocchi di pietra più regolari, mentre diverse pietre compongono il nucleo centrale. Il terzo modello (1C) è più regolare del precedente. I lati esterni sono realizzati con solido le pietre e la parte centrale hanno la stessa composizione del modello precedente. L'ultimo modello (1D) ha un layout molto semplificato composto solo da uno strato centrale.

Il confronto tra i flussi di calore superficiali simulati mostra risultati molto interessanti. Il modello (1D) ha il valore più lontano dalla misurazione in sito causa la semplicità della struttura monolitica composta solo di pietra granitica. I modelli (1B) e (1C) hanno risultati simili, grazie a scelta dei materiali di riempimento. In questo caso, il risultato è collegato principalmente alle proprietà dei materiali, non solo per la geometria che è molto simile.

Il modello (1A) ha i valori più vicini alla misurazione in situ. Ciò è dovuto alla conformazione complessa del nucleo, non lontano dalla situazione reale (Li, H., Salonvaara, M., Zhang, J., Grunewald, J. 2007).

Due questioni dovrebbero essere evidenziate riguardo questo argomento.

- Nei modelli BES¹¹ la rilevanza del problema del trasferimento dell'aria è molto ridotta, pertanto bisogna ricondursi ad un modello 2D per tener conto dell'importanza degli effetti del trasferimento dell'aria nell'involucro ('Li, H., Salonvaara, M., Zhang, J., Grunewald, J. 2007. Characterizing and modeling leakage airflows through building envelope and its effects on heat and moisture transport. Proc. 12th Symp. Building Physics. Dresden.: TU Dresden, no date).
- I programmi BES di solito trattano i componenti dell'edificio come un'unica entità, vale a dire l'intera parete è considerata come un singolo elemento, con condizioni di stato e limite uniformi su tutta la superficie.

Alla luce delle precedenti considerazioni nello studio svolto in seguito è stata adottata una semplificazione geometrica del tipo 1C, quindi adatta ad una simulazione monodimensionale, considerando uniforme il calore lungo l'asse verticale (fenomeno che non si riscontra in seguito ad una indagine IR). Questa è certamente una semplificazione, ma:

- Modelli geometrici più complessi sono inapplicabili a involucri delle dimensioni trattate poiché risulterebbe impossibile determinare con esattezza la composizione della muratura
- Per avere risultati più dettagliati risulterebbe necessario considerare il trasporto dell'umidità, quindi andare in contro a modelli HAM e CFD
- I parametri impostabili nei database del programma sono troppo semplificati per descrivere correttamente i materiali d'epoca.

¹¹ Acronimo di Building Energy Simulation

Indagini termiche

Le indagini termiche si avvalgono del termoflussimetro e sono atte a stabilire la resistenza termica attraverso l'elemento d'involucro. Il magazzino 26 risulta essere l'edificio adatto a questo tipo di prova, in quanto è stato recentemente ristrutturato, una sua porzione risulta provvista di terminali di riscaldamento, e presenta numerose analogie in quanto a materiali, età e dettagli costruttivi dei magazzini gemelli 24 e 25, prospicienti allo stesso.

Precedentemente a tale prova, è stato necessario un sopralluogo, avvalendosi di una termocamera, per individuare l'esatto punto di posizionamento per la rilevazione che abbia le seguenti caratteristiche:

- Assenza di ponti termici;
- Omogeneità della struttura;
- Assenza di variazioni geometriche;
- Installazione del termoflussimetro in un punto che sia accessibile;
- Locazione che sia riparata dall'irraggiamento solare.

Il posizionamento dei sensori di temperatura interni ed esterni è stato realizzato con molta attenzione per prevenire eventuali effetti di alterazione indotti dagli agenti atmosferici. Il monitoraggio in situ e le relative analisi dei dati sono stati effettuati conformemente alle indicazioni fornite dalla norma internazionale ISO 9869[18]. Considerando le esperienze della letteratura tecnica, i valori della trasmittanza termica misurata possono differire significativamente da quelli derivati dal calcolo analitico, anche intorno al $\pm 20\%$, a causa di:

- Esecuzione non pienamente conforme alla procedura;
- Degrado del materiale;
- Condizioni ambientali diverse rispetto a quelle progettate (ad esempio, il tasso di umidità all'interno della parete che varia la conduttività termica del materiale).

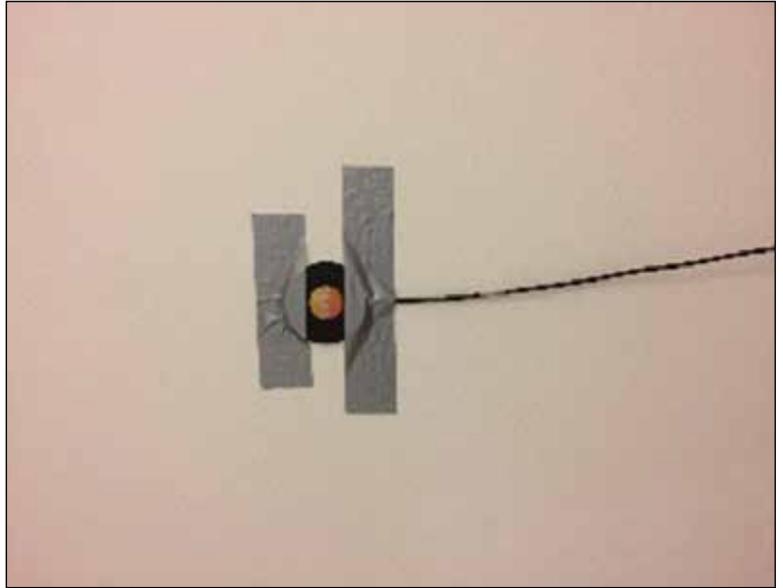
La misurazione sul campo dell'involucro termico dell'involucro dell'edificio è stata effettuata adottando un termoflussimetro siffatto:

- Sonda termometrica, da collocarsi sulla superficie esterna dell'elemento d'involucro in posizione protetta da flussi d'aria, radiazione solare;
- Piastra termoconduttrice, da collocarsi in aderenza alla superficie interna in ambiente riscaldato;
- La piastra è collegata ad un datalogger TESTO 435-2 con memoria dati, che registra le oscillazioni di temperatura e flusso termico, trasferendo i dataset ad un computer.

Per ottenere dei risultati scientificamente accettabili, è necessaria la durata minima della prova di 72 ore. I tempi di campionamento sono stati impostati ad ogni minuto, per un totale di 4.320 campioni. La metodologia di rilevamento utilizzata è basata sul metodo "Metodo medio ISO 9869", che disciplina le modalità di posizionamento dei sensori, raccolta e valutazione della qualità dei dati.

I valori di uscita, per quanto riguarda la trasmittanza termica, sono stati considerati affidabili solo dopo un'appropriata stabilizzazione.

Il punto ottimale individuato per il posizionamento della sonda è stato identificato sulla parete esterna del primo piano, raggiungibile grazie al ballatoio e riparato dall'irraggiamento solare dal ballatoio del piano soprastante.



*Figure 40 e 41:
Piastra conduttrice sopra e
installazione termoflussime-
tro sotto, Magazzino 9 - foto
scattate durante la campagna
di rilievo.*

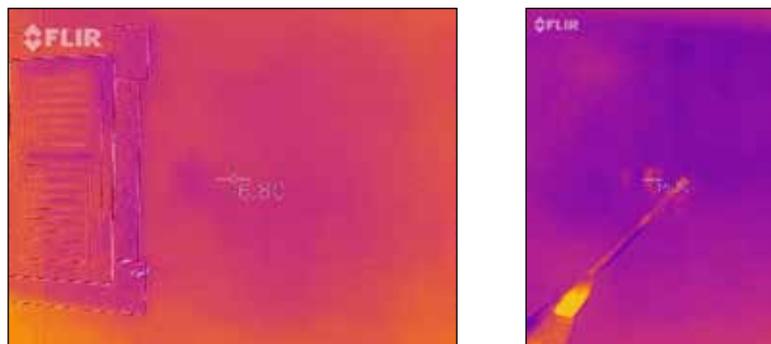


Figura 42:
Immagine termografica di
posizionamento del termoflus-
simetro, a sinistra esterno e a
destra interno. Magazzino 9 -
termografie effettuate durante
la campagna di rilievo.

Sono riportati gli andamenti delle temperature delle pareti esterne e interne. L'andamento del livello termico esterno è ben espresso dal clima invernale di Trieste, con valori medi di temperatura intorno ai 12 °C durante il giorno e valori minimi intorno a 2°C nella notte. La temperatura interna è di circa 16 °C, con un valore abbastanza stabile a causa della grande inerzia termica dell'edificio. Pertanto, è stata registrata una differenza di temperatura media, tra i lati interno ed esterno, adatta per un'adeguata misurazione della conduttanza termica.

Solamente una anomalia è stata individuata nell'intervallo tra le 15:53 e le 16:03 del 13 febbraio, rispettivamente per le misurazioni che n° 1745-1755, in cui la sonda è stata direttamente irradiata con i raggi solari, a tal punto in cui la temperatura rilevata esternamente ($t_{max, intervallo}=18,1^{\circ}C$) risulta superiore della temperatura interna (che si mantiene costante a $t_{int, intervallo}=16,9^{\circ}C$), invertendo così il flusso termico e per cui sono stati rilevati valori perturbati della trasmittanza dell'involucro.

Alla stessa ora del giorno precedente e del giorno successivo, a causa della nuvolosità del cielo, i dati rilevano un leggero scostamento dalla situazione imperturbata che si tende a ristabilire quando il sole viene coperto dal magazzino 25 antistante.

Figura 43:
Ricostruzione della posizione
del sole alle ore 16:00 vista dal-
la sonda esterna, Magazzino
9 - immagine da elaborazione
dell'autore.

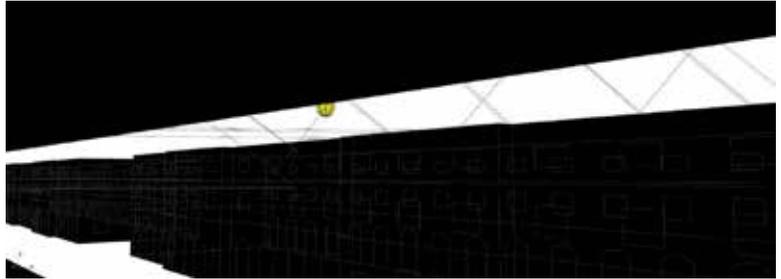


Figura 44:
Restituzione andamento
temperatura esterna 72h -
immagine da elaborazione
dell'autore.

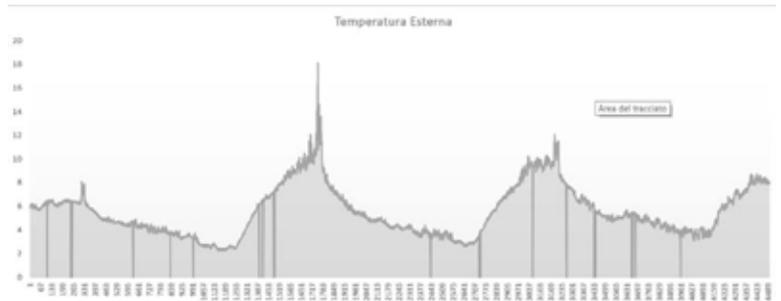


Figura 45:
Restituzione andamento
temperatura interna 72h - -
immagine da elaborazione
dell'autore.

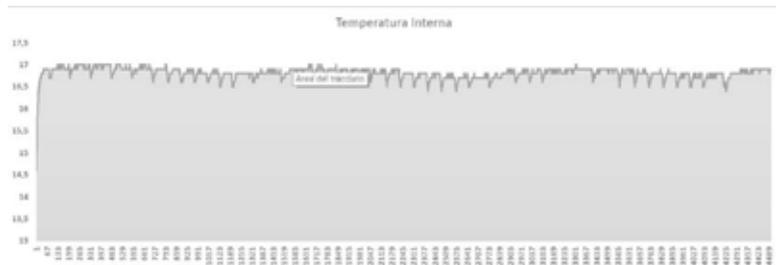
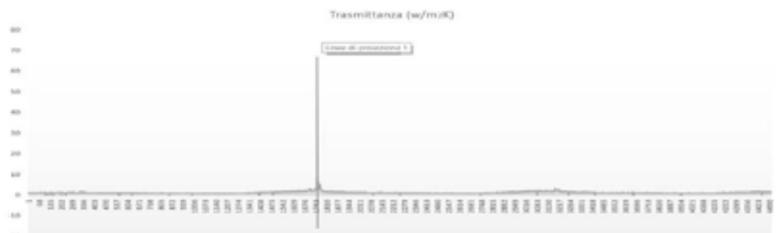


Figura 46:
Restituzione andamento della
trasmittanza misurata 72h
- immagine da elaborazione
dell'autore.



Pertanto, dopo le grandi deviazioni che hanno caratterizzato l'anomalia del primo giorno di monitoraggio, la tendenza della conduttività termica è stata interessata da una rapida tendenza alla stabilizzazione. La misurazione e la sua tendenza, secondo le indicazioni della norma ISO 9869, confermano la validità del test condotto. Con riferimento alla parete verticale esaminata, secondo lo standard internazionale ENISO 6946, sono state considerate le seguenti resistenze termiche interne (R_{si}) ed esterne (R_{se}):

$$R_{si} = 0.13(\text{m}^2 \text{K})/\text{W} \quad \rightarrow \quad h_i = 7.7\text{W}/(\text{m}^2 \text{K});$$
$$R_{se} = 0.04(\text{m}^2 \text{K})/\text{W} \quad \rightarrow \quad h_e = 25\text{W}/(\text{m}^2 \text{K}).$$

Pertanto, la trasmittanza termica globale, valutata con riferimento a condizioni di stato stazionario, è pari a $1,22094 \text{ W} / (\text{m}^2\text{K})$.

Analisi termoigrometrica dell'involucro massivo

Negli ambienti le cui pareti raggiungono, sulla loro superficie interna, temperature inferiori alla temperatura di rugiada dell'aria ambiente si ha il fenomeno della condensazione superficiale con il conseguente depositarsi, sulla superficie delle pareti stesse, della quantità di acqua che non può essere contenuta nell'aria sotto forma di vapore. Tale evenienza, oltre a pregiudicare le caratteristiche strutturali e termofisiche dei materiali da costruzione, può portare alla formazione di muffe e zone di ristagno di umidità, in cui possono proliferare muffe, microrganismi, virus e batteri in quantità tale da compromettere la qualità dell'aria indoor. Il fenomeno della condensa superficiale è strettamente connesso con la temperatura alla quale si trova la faccia interna della parete e quindi dipende, oltre che dalla temperatura e dall'umidità relativa dell'aria ambiente, anche dal grado di iso-

lamento che la parete stessa offre. Per questo sono particolarmente pericolosi i ponti termici, cioè le zone della costruzione dotate di minor resistenza termica rispetto alle zone circostanti: in corrispondenza di essi, infatti, la temperatura superficiale interna è piuttosto bassa e si ha quindi la possibilità di formazione di condensa. La sola verifica dell'impossibilità di condensa superficiale non esaurisce però l'esame termoigrometrico che è opportuno compiere su una parete; infatti in alcuni casi la condensa si forma all'interno della parete anziché sulla sua superficie interna provocando, oltre agli inconvenienti di carattere igienico-ambientale, che compromettono la qualità dell'aria interna, anche una sensibile diminuzione della resistenza termica della parete, in quanto il contenuto di umidità incrementa notevolmente la conducibilità termica dei materiali da costruzione. Lo studio del comportamento termoigrometrico di una parete riveste notevole importanza sia in fase di progetto, per una corretta scelta della sequenza degli strati costituenti, sia in occasione di interventi di rinforzo dell'isolamento termico di una parete esistente, al fine di un corretto posizionamento del materiale isolante ed una corretta determinazione del suo spessore.

In generale si può dire che il fenomeno della condensazione superficiale è strettamente legato al grado di isolamento termico che la parete offre in quanto, per un ambiente di date caratteristiche termoigrometriche (temperatura e umidità dell'aria), dipende dalla temperatura alla quale si trova la faccia interna della parete stessa. Per evitare il fenomeno della condensazione superficiale è sufficiente mantenere la temperatura interna delle pareti al di sopra della temperatura di rugiada dell'aria ambiente.

Tuttavia, al fine di evitare la formazione di muffe sulla parete si fa riferimento alla norma UNI EN ISO 13788 che prevede il rispetto di una condizione più severa.

L'aggiunta di opportuni spessori di materiali isolanti consente di evitare il fenomeno della condensazione superficiale perché la presenza del coibente innalza la temperatura superficiale della parete al di sopra di quella di rugiada.

Le differenze di temperatura, di umidità relativa e quindi di pressione di vapore determinano un movimento di vapore nella direzione delle pressioni decrescenti (diffusione) dall'ambiente a pressione parziale maggiore (generalmente a temperatura superiore) all'ambiente a pressione minore (generalmente a temperatura inferiore). La maggior parte dei materiali isolanti e da costruzione sono infatti più o meno permeabili al vapore acqueo a seconda della loro porosità. Inoltre le temperature, e quindi le pressioni di saturazione, decrescono lungo lo spessore della parete dall'ambiente più caldo a quello più freddo. Può avvenire allora che, se la pressione di saturazione all'interno della parete si abbassa in qualche punto al di sotto del valore della pressione parziale di vapore esistente nello stesso punto, si ha formazione di condensa sulla superficie verticali isoterme corrispondenti o nella fascia di parete fra esse comprese.

La conoscenza della distribuzione della temperatura e quindi delle pressioni di saturazione del vapore, lungo lo spessore degli strati interni di una parete è necessaria per poter studiare e quindi prevedere i fenomeni di condensazione nella parete stessa.

Per calcolare le pressioni di saturazione all'interno della parete è necessario, innanzitutto, determinare i valori della temperatura in corrispondenza della faccia esterna ed interna e sulle superfici di separazione dei vari strati di cui si compone la parete.

Per poter studiare i fenomeni di condensazione del vapore all'interno di una parete, dopo aver valutato l'andamento del-

la temperatura e della pressione di saturazione all'interno dei diversi strati, è necessario conoscere anche l'andamento della pressione di vapore negli stessi strati. Per il calcolo delle pressioni del vapore nei vari punti è possibile operare come già fatto in precedenza per il calcolo delle temperature, imponendo la costanza del flusso di vapore areico nei vari strati della struttura.

Come si è già detto, tra due ambienti separati da una parete il vapore migra dall'ambiente a pressione parziale maggiore (normalmente quello più caldo) verso quello a pressione parziale minore (normalmente quello più freddo) filtrando attraverso la parete divisoria (che si comporta come una membrana filtrante); inoltre, la temperatura e quindi la pressione di saturazione si abbassa lungo lo spessore della parete, dall'ambiente più caldo a quello più freddo. Se la curva della pressione parziale di vapore interseca la curva delle pressioni di saturazione, nella zona di intersezione si forma condensa con conseguenti inconvenienti igienico-sanitari e con riduzione del potere isolante della parete. Nella zona ove si ha condensazione la pressione del vapore diviene pari alla pressione di saturazione alla corrispondente temperatura e così si mantiene finché la pressione parziale non diviene nuovamente minore della pressione di saturazione.

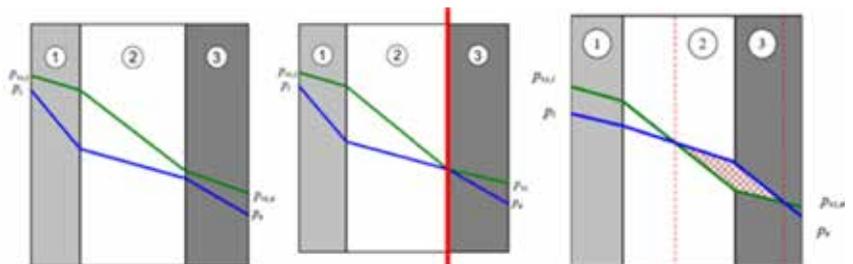


Figura 47:
 Diagrammi di glazer rappresentativi delle condizioni limite
 -elaborazione dell'autore.

Per la muratura si è scelto di produrre un'analisi semplificata, ma in regime dinamico, utilizzando PAN 7, software della suite ANIT per l'analisi delle stratigrafie opache dell'involucro edilizio (pareti, coperture e pavimenti). Il software si basa su modelli di calcolo conformi alle norme vigenti per l'analisi termica, igrometrica e dinamica ed è allineato alle modalità di verifica definite a livello nazionale dal DM 26/6/2015. PAN implementa i modelli di calcolo forniti dalle seguenti norme:

UNI EN ISO 6946:2008	Componenti ed elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodo di calcolo
UNI EN ISO 13788:2013	Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia - Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e la condensazione interstiziale - Metodi di calcolo
UNI EN ISO 13786:2008	Prestazione termica dei componenti per edilizia - Caratteristiche termiche dinamiche - Metodi di calcolo
UNI EN ISO 13370:2008	Prestazione termica degli edifici - Trasferimento di calore attraverso il terreno - Metodi di calcolo
UNI EN ISO 10456:2008	Materiali e prodotti per edilizia - Proprietà igrometriche - Valori tabulati di progetto e procedimenti per la determinazione dei valori termici dichiarati e di progetto

Una volta determinata la trasmittanza U della parete dell'involucro storico, si procede andando a determinare le singole componenti che caratterizzano in pacchetto murario. Attraverso le ricerche d'archivio e i sopralluoghi effettuati, si può giungere alla conclusione che si susseguono i diversi strati, dall'esterno all'interno, di intonaco, blocco d'arenaria, miscela di calce e cemento, nuovamente arenaria e intonaco.

La muratura oggetto dell'analisi risulta essere così composta:

Tipi	Descrizione	Spessore [m]	Densità [kg/m³]	Conduttività [W/m K]	Calore specifico [J/kg K]	Fattore resistenza vapore	Massa superficiale [kg/m²]	Resistenza inerziale [m²K/W]	Resistenza statica [m²K/W]	Spessore equivalente [m]	Diffusività [m²/s]	
*	Superficie esterna							0,040	0,074			
1	INT	Matta di calce e di calce e cemento	0,0300	1800	0,900	837	20	54,0	0,033	0,033	0,600	0,598
2	RCC	Arenaria PV	0,3000	2300	1,510	1000	30	690,0	0,199	0,199	9,000	0,657
3	GLS	MattaCalceCemento_PV	0,0400	1800	0,900	7000	8	72,0	0,044	0,044	0,320	0,500
4	RCC	Arenaria PV	0,3000	2300	1,510	1000	30	690,0	0,199	0,199	9,000	0,657
5	INT	Matta di calce e di calce e cemento	0,0300	1800	0,900	837	20	54,0	0,033	0,033	0,600	0,598
	Superficie interna							0,130	0,125			



Figura 48:
Illustrazione del modello numerico utilizzato per l'analisi - immagine da elaborazione dell'autore.

L'analisi che viene fatta sulla stratigrafia è monodimensionale dinamica attraverso il programma ANIT PAN 7.0.

Il software consente di calcolare e verificare:

- la trasmittanza termica invernale ed estiva;
- il rischio di muffe e condense interstiziali;
- il tempo di asciugatura delle struttura;
- l'analisi agli elementi finiti per il comportamento estivo "cool roof";
- la valutazione semplificata del lambda di progetto;

Le forzanti termiche esterne sono definite in base alla locazione geografica del sito, conformemente alla UNI 10349:2016, mentre il DPR 412/93 per i gradi giorno (GG) definiti come la somma, estesa a tutti i giorni di un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura dell'ambiente e la temperatura media esterna giornaliera; è una misura fittizia che indica il fabbisogno di riscaldamento di un edificio in una determinata area geografica. Per definizione nella UNI EN ISO 15927-6:2008:

$$GG = \sum_{e=1}^n (T_0 - T_e)$$

dove

- n : numero di giorni del periodo convenzionale di riscaldamento;
- T_0 : temperatura ambiente convenzionale;
- T_e : temperatura media esterna giornaliera;

e

- $1 \leq n \leq 365$;
- $T_e \leq T_0$

I dati visualizzati sono i valori medi mensili (B), le trasmittanze di riferimento e trasmittanze limite in accordo con il DM 26/6/15 (C), i valori orari del giorno tipico estivo (D) e una serie di ulteriori informazioni utili (E). Le informazioni climatiche sono ricavate dalla norma UNI 10349 versione 2016 o versione 1994 e dal DPR 412/93(F).

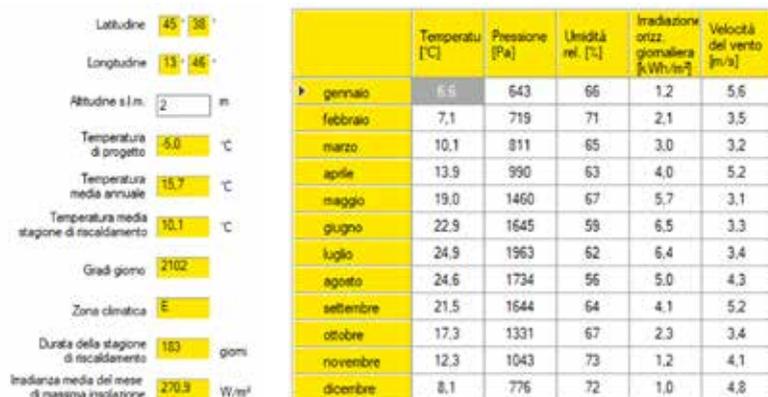


Figura 49:
Analisi dei risultati, dati mensili
- immagine da elaborazione
dell'autore.

La provincia di appartenenza è l'informazione da inserire per richiamare i dati climatici provinciali in accordo con la norma UNI 10349. I dati riguardano i valori medi mensili di temperatura dell'aria esterna, pressione di vapore, irradiazione solare globale giornaliera sul piano orizzontale e velocità del vento per le stazioni di rilevazione dei dati climatici di riferimento. Le coordinate geografiche della stazione di riferimento sono riportate tra le informazioni utili (E).

La selezione del comune modifica il valore di altitudine sul livello del mare e conseguentemente:

- i valori medi mensili di temperatura e pressione di vapore;
- i valori orari di temperatura e irradianza;
- il valore di gradi giorno per la località.

La selezione della seconda provincia di riferimento serve per modificare i dati climatici della località. Questa modifica avviene secondo due criteri differenti in base alla norma utilizzata:

- secondo UNI 10349:2016, la selezione di una seconda provincia diversa dalla prima serve per sostituire i dati climatici

- della località per quanto riguarda tutti i valori medi mensili e i valori di temperatura oraria del giorno tipico estivo;
- secondo UNI 10349:1994, la selezione di una seconda provincia diversa dalla prima serve per mediare geograficamente il valore dell'irradianza del mese di massima insolazione in base alle latitudini delle due province selezionate e del comune di riferimento.

Una volta definiti i parametri climatici è necessario andare a considerare la forzante climatica interna, direttamente relazionata alla destinazione d'uso ed al tipo di utenza. La definizione di tali valori si basa sulla scelta della tipologia dei dati noti e porta a identificare i valori critici per la verifica del rischio muffa e i valori medi mensili interni.

In riferimento alle condizioni standard del DM 26/06/15, la classe di concentrazione del vapore all'interno dell'ambiente è la Classe 2, ovvero quella prevista per gli uffici, negozi e alloggi con ventilazione meccanica controllata. Tale ipotesi di destinazione d'uso è legittimata dagli interventi previsti di recupero che si terranno nel Magazzino 25.

	Temperatura esterna (°C)	Pressione esterna (Pa)	Temperatura interna (°C)	Pressione interna (Pa)	Umidità relativa interna (%)	Pressione statiche interna medio molla (Pa)	Temperatura superficiale interna medio molla (°C)	Temperatura superficiale esterna condensatione (°C)	Fattore di temperatura medio molla	Fattore di temperatura condensatione
gennaio	6,6	643,5	20,0	1104,4	47,3	1380,5	11,8	8,4	0,384	0,138
febbraio	7,7	719,3	20,0	1187,2	48,9	1456,0	12,8	9,3	0,426	0,169
marzo	10,1	810,8	20,0	1177,3	50,4	1471,6	12,7	9,4	0,264	-0,076
aprile	13,9	990,2	20,0	1096,0	53,7	1576,8	13,7	10,3	-0,021	-0,573
maggio	18,0	1480,2	19,0	1087,5	72,3	1994,3	17,4	13,9	0,000	0,000
giugno	22,9	1645,2	22,9	1745,3	82,5	2181,5	18,9	15,4	0,000	0,000
luglio	24,9	1982,7	24,9	2082,7	85,5	2578,4	21,8	18,0	0,000	0,000
agosto	24,6	1730,9	24,6	1830,9	89,3	2290,4	19,7	16,1	0,000	0,000
settembre	21,5	1644,3	21,5	1794,3	83,1	2180,3	18,9	16,4	0,000	0,000
ottobre	17,3	1330,8	20,0	1503,1	64,3	1876,9	16,5	13,1	-0,297	-1,589
novembre	10,3	1043,2	20,0	1300,3	57,8	1687,8	14,8	11,4	0,328	-0,117
dicembre	8,1	776,5	20,0	1196,9	51,2	1496,1	13,0	9,6	0,409	0,426

Figura 50:
Tabella riassuntiva delle variabili climatiche - immagine da elaborazione dell'autore.

Ulteriori due informazioni sono definite dal programma, quali:

- Mese critico per la condensa: Febbraio. Resistenza minima della parete per evitare condensa: $R_{\min}=0.300\text{m}^2\text{K/W}$
- Mese critico per il rischio muffe: Febbraio. Resistenza minima per evitare il rischio muffe: $R_{\min}=0.436\text{m}^2\text{K/W}$

Dal momento che si sta analizzando una parete, in cui l'ambiente interno è riscaldato, al contrario di quello esterno, secondo l'UNI EN ISO 6946:2007, si determinano le adduttanze come segue:

- $R_{\text{sup,int}}=0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$
- $R_{\text{sup,est}}=0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$

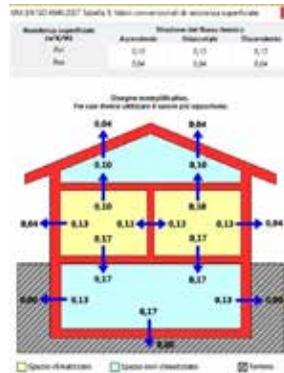


Figura 51: Schema rappresentativo delle adduttanze secondo UNI 6946:2007 - immagine da software PAN di Anit.

In definitiva, l'elemento verticale dell'involucro presenta le seguenti caratteristiche:

Risultati		Valori	
		Invernali	Estivi
Spessore [m]	0.700	1,474	1,414
Massa superficiale [kg/m²]	1560.00	0,034	0,027
Massa superficiale esclusi intonaci [kg/m²]	1452.00	0,023	0,018
Resistenza [m²K/W]	0.68	29h 10'	29h 31'
Trasmittanza [W/m²K]	1.474	69.29	71.07
Capacità termica totale [kJ/m²K]	1542.3	122.16	95.33
		5.062	5.190
		8.912	6.955

Figura 52: Riepilogo risultati - immagine da elaborazione dell'autore.

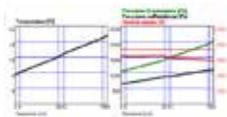
In cui:

- Fattore di attenuazione (F_a): la capacità che ha una parete di moderare le fluttuazioni termiche che si verificano nell'ambiente interno a causa delle variazioni cicliche dell'ambiente interno. Indica il rapporto tra il flusso termico entrante nell'ambiente attraverso la struttura e quello uscente se il fenomeno fosse stazionario.
- Coefficiente di sfasamento: definisce il ritardo temporale del picco di flusso termico della parete capacitiva rispetto a quello istantaneo. Il protocollo ITACAI ha fissato come valore ottimale quello di 12h e si evince da subito di come quello della muratura considerato sia molto più elevato a causa delle caratteristiche massive. Questo comporta uno sfasamento dell'onda termica ed una attenuazione del picco.

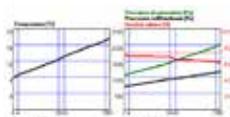
La condizione per cui rischio di muffa e di condensa avvenga, è impedita dalla Resistenza della parete pari a $R_{mur} = 0.76 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ che è superiore a R_{min} definito precedentemente.

Sono successivamente riportati i grafici igrometrici per ciascun mese. La linea che definisce la pressione di vapore non raggiunge mai la pressione di saturazione, condizione per la quale si creerebbe condensa.

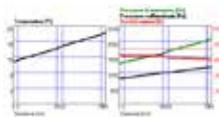
Gennaio



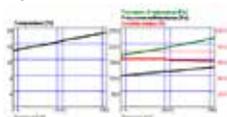
Febbraio



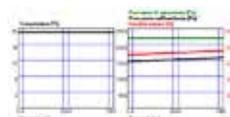
Marzo



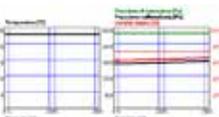
Aprile



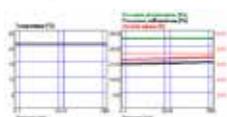
Maggio



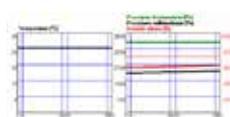
Giugno



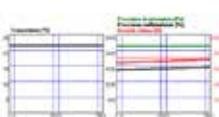
Luglio



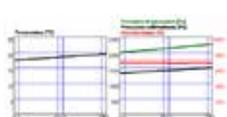
Agosto



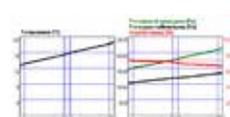
Settembre



Ottobre



Novembre



Dicembre

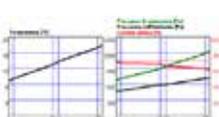


Figura 53:
Diagrammi igrometrici mensili
- immagine da elaborazione
dell'autore.

Indagine per lo sfruttamento idrotermico dell'adduttrice principale

Monitoraggio con sonde CTD

Obiettivo del monitoraggio della rete di adduzione dell'Acquedotto della città di Trieste è fornire l'insieme delle condizioni al contorno per la definizione di un piano energetico razionale ed innovativo, per garantire il benessere ambientale negli edifici del Porto Vecchio di Trieste e ridurre l'uso di fonti primarie, nel rispetto dell'ambiente, con l'obiettivo di ottenere sistemi a "emissioni quasi zero".

I risultati del monitoraggio serviranno da base per uno studio di fattibilità tecnico-economico per la realizzazione di un impianto di scambio idrotermico nella previsione di attingere alla risorsa idrica sia per la climatizzazione estiva che per quella invernale degli edifici, impiegando sinergicamente le diverse tecnologie oggi disponibili, per ridurre i costi energetici, le emissioni inquinanti e climalteranti, rispettare le peculiarità dell'ambiente e del territorio e promuovere le nuove tecnologie energetiche.

Il raggiungimento di tali obiettivi e la riqualificazione delle aree del Porto Vecchio non può essere disconnesso da una visione strategica che preveda l'impiego di impianti ad altissima efficienza e flessibilità, a basso impatto ambientale quali le pompe di calore. Per l'alimentazione di tali sistemi, in prossimità dell'a-

rea del Porto Vecchio è già disponibile una rete di trasporto di fluidi che può supportare con flessibilità i nuovi insediamenti: la rete dell'Acquedotto della città di Trieste.

La pompa di calore è la soluzione innovativa che offre il miglior compromesso in termini economici e tecnici: essa coniuga l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili, l'elevata efficienza energetica, il basso consumo di energia primaria, l'assenza di emissioni inquinanti localizzate e offre la possibilità di contemporaneo raffrescamento degli edifici in regime estivo e riscaldamento in regime invernale.

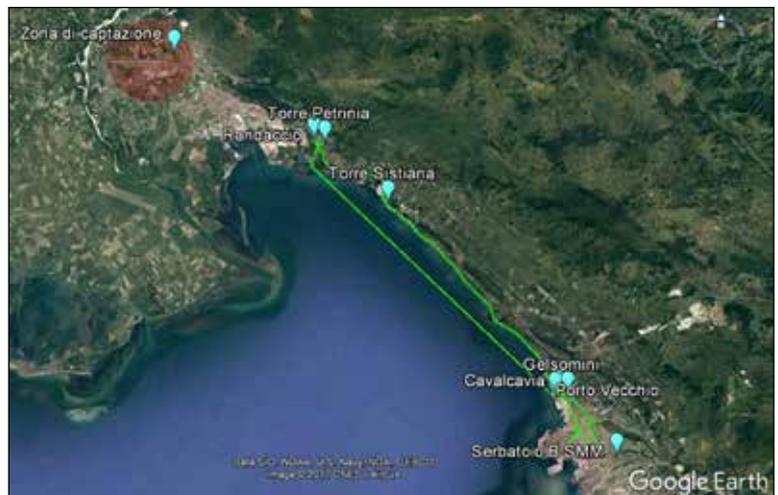


Figura 54:
Tracciati delle condotte di ad-
duzione dell'Acquedotto della
città di Trieste.Elaborazione da
Google Maps.

Le pompe di calore acqua-acqua possono essere quindi sfruttate per le loro peculiarità qualora si disponga di un risorsa idrica idonea: è quindi di interesse valutare la fattibilità tecnico-economica di un impianto a pompa di calore per il Comprensorio del Porto Vecchio di Trieste in cui l'acqua venga prelevata, quale risorsa "quasi geotermica" e venga poi restituita alla rete in condizioni di temperatura leggermente diverse; poichè si tratta di sfruttare acqua potabile lo scambiatore opererà in

modo indiretto in modo da evitare contaminazione della risorsa. La successiva miscelazione con i flussi idraulici non derivati e lo scambio termico attraverso le tubazioni interrato consentono il rapido ripristino anche delle condizioni iniziali di temperatura.

Scopo del monitoraggio è quindi di valutare il carico termico della risorsa disponibile, osservando sul lungo periodo quali sono le condizioni che maggiormente lo influenzano.

La rete di distribuzione dell'acqua potabile gestita da AcegasApsAmga è composta da due linee di adduzione, una che raggiunge la città lungo la strada Costiera ed una sottomarina che corre parallela alla linea di costa; le due adduttrici si congiungono in prossimità del Porto Vecchio di Trieste. Il sistema è integrato da 16 stazioni di sollevamento, oltre 30 serbatoi di stoccaggio, una rete globale di condotte, per uno sviluppo di oltre 1000 km.

L'acqua greggia, captata principalmente dai pozzi della Bassa Pianura Isontina, viene convogliata all'Acquedotto G. Randaccio di San Giovanni di Duino. Qui viene tratta e convogliata al sollevamento principale distinto per le due adduttrici; in particolare il gruppo pompe "DN 900" che solleva sull'adduttrice interrata lungo la strada Costiera e il gruppo pompe "DN 1300" che solleva sull'adduttrice sottomarina.

Le due adduttrici arrivano a Trieste nella località Madonna di Gretta e sono collegate da un by-pass in prossimità del cavalcavia ferroviario di Viale Miramare; in particolare l'adduttrice sottomarina riemerge a Molo "0" nel Comprensorio del Porto Vecchio, attraversa il piazzale a nord dei Magazzini 25 e 26 in prossimità della Centrale idrodinamica, prosegue in galleria sotto la ferrovia fino al by-pass. Dopo, le due condotte proseguono nella zona bassa della città formando un sistema ad anello, da cui partono le derivazioni principali, e che si chiude in Piazza

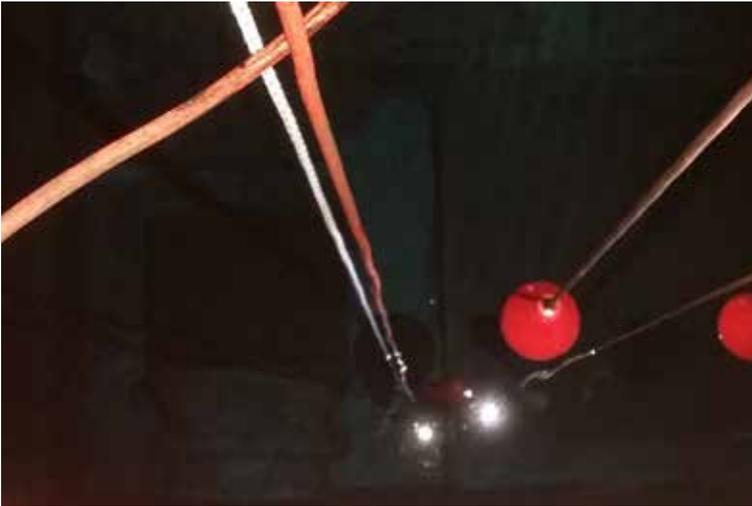
dei Foraggi.

L'intero sistema acquedottistico triestino è monitorato attraverso un sistema di telecontrollo gestito da AcegasApsAmga che raccoglie i principali parametri idraulici e di qualità dell'acqua quali ad esempio le portate e i carichi piezometrici.

Si è scelto di effettuare il monitoraggio tramite sonda CTD, dispositivo che contiene la strumentazione necessaria per la misura della Conduttività elettrica (C), della Temperatura (T) e della Profondità (D) dell'acqua. In particolare i tre parametri sono misurati rispettivamente in: mS/cm, °C e in cmH₂O, tenendo presente che la sonda misura la colonna d'acqua e di aria sovrastante, quindi anche la pressione atmosferica.

Installazione nuovi sensori

Prima dell'inizio del monitoraggio le tre sonde CTD sono state calibrate a circa 2.5 metri di profondità nel Serbatoio B di Santa Maria Maddalena (circa 14000 mc) a Trieste (Figura 2) per verificarne il corretto funzionamento e controllarle fra loro; il risultato della calibrazione è riportato in Figura 4 e 5.



*Figura 55:
I tre datalogger calati con la
fune bianca nel Serbatoio B
di Santa Maria Maddalena,
assieme ai galleggianti di Ace-
gasApsAmga. Foto dell'autore.*

In seguito alla calibrazione le sonde sono state portate nei punti di misura scelti e messe in opera. Il monitoraggio CTD si concentra sulla rete di adduzione, con particolare attenzione alla condotta sottomarina, poichè attraversa per un tratto il Porto Vecchio, si parte dal canale di convogliamento subito a monte del sollevamento principale e si finisce alla prima grande derivazione in città.

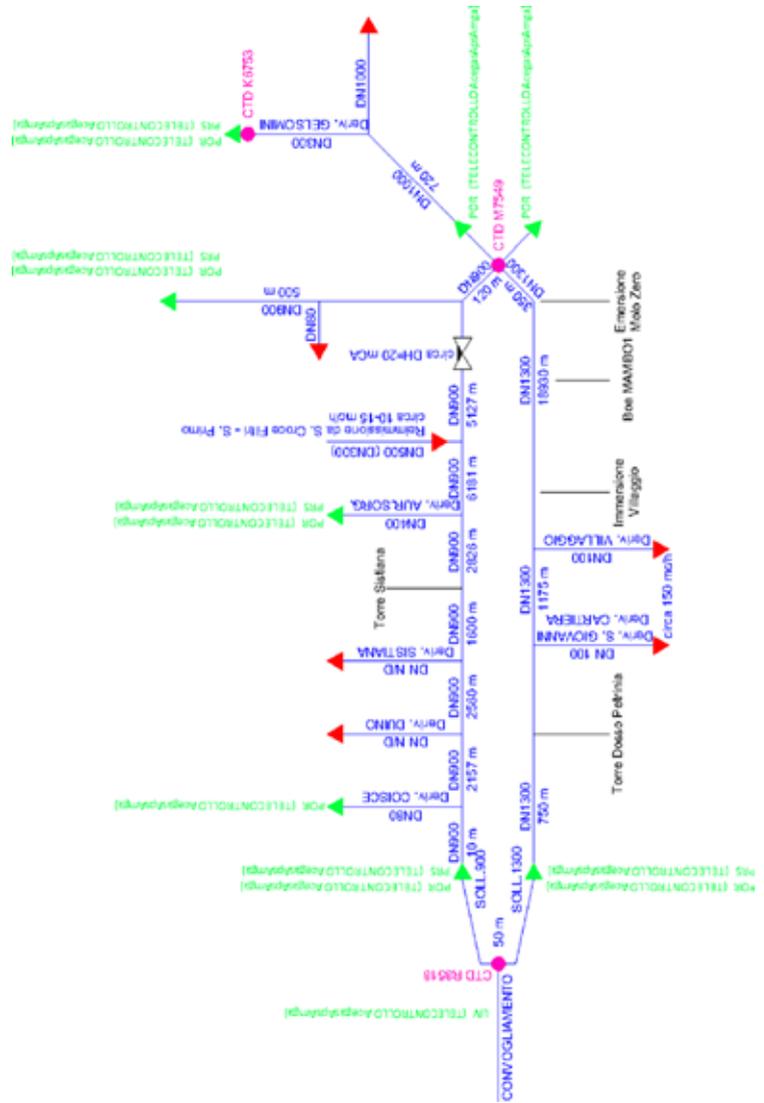


Figura 56:
 Schema del tratto di acquedotto interessato. In magenta sono segnate le posizioni dei CTD, in verde i parametri idraulici misurati dal Telecontrollo di AcegasApsAmga.
 Fonte AcegasApsAmga.

L'installazione delle sonde CTD è stata valutata in modo che le misure siano il più possibile rappresentative dei processi che avvengono in condotta; i tre punti significativi della rete di adduzione sono:

- RANDACCIO - Sonda: D1273 100m, 120 mS/cm, sn.R8518 (NERO) - Canale di convogliamento a pelo libero verso le due sale di sollevamento. (Aquedotto G. Randaccio di San Giovanni di Duino)



Figura 57: Canale di convogliamento verso le sale pompe. L'acqua presente viene convogliata nei bacini di aspirazione (la sonda si trova a monte dei due bacini specifici) pertanto può finire indistintamente su entrambe le adduttrici. Il canale è interessato da un significativo flusso d'acqua che dipende dal funzionamento delle pompe di sollevamento. Al fine pratico, il punto è considerato come la sorgente della risorsa da sfruttare. Foto dell'autore.

- CAVALCAVIA - Sonda: D1273 100m, 120 mS/cm, sn.M7549 (GRIGIO) - Nodo del cavalcavia ferroviario di Viale Miramare. (Trieste)



*Figura 58:
Camera di Viale Miramare.
La sonda è immersa in un
piccolo accumulo rifornito
da un rubinetto già utilizza-
to per il monito- raggio del
cloro residuo; la presa si trova
effettivamente sulla condotta
DN1300, due metri a monte
del by-pass. Al fine pratico,
il punto è quello più vicino
alla zona di interesse per la
realizzazione dell'impianto di
scambio idrotermico (circa a
200 metri). Foto dell'autore.*



- GELSOMINI - Sonda: D1273 100m, 120 mS/cm, sn.K6753 (GIALLO) - Collettore di aspirazione della stazione di risolle-
vamento di Gelsomini. (Via dei Gelsomini, Trieste)



*Figura 59:
Sala pompe dalla stazione di Gelsomi- ni. La sonda è im-
mersa in un piccolo accumulo
rifornito da un rubinotto
sul tubo di aspirazio-
ne della
pompa n.1; la presa si trova
effettiva- mente sulla condotta
(DN300) di derivazione a circa
50 metri dall'adduttrice princi-
pale. Al fi- ne pratico, questo è
il primo a punto a monte della
distribuzione che risentirebbe
del disturbo dovuto all'eserci-
zio dell'impianto di scambio.
Foto dell'autore.*

Risultati e conclusioni sul monitoraggio febbraio – maggio 2017

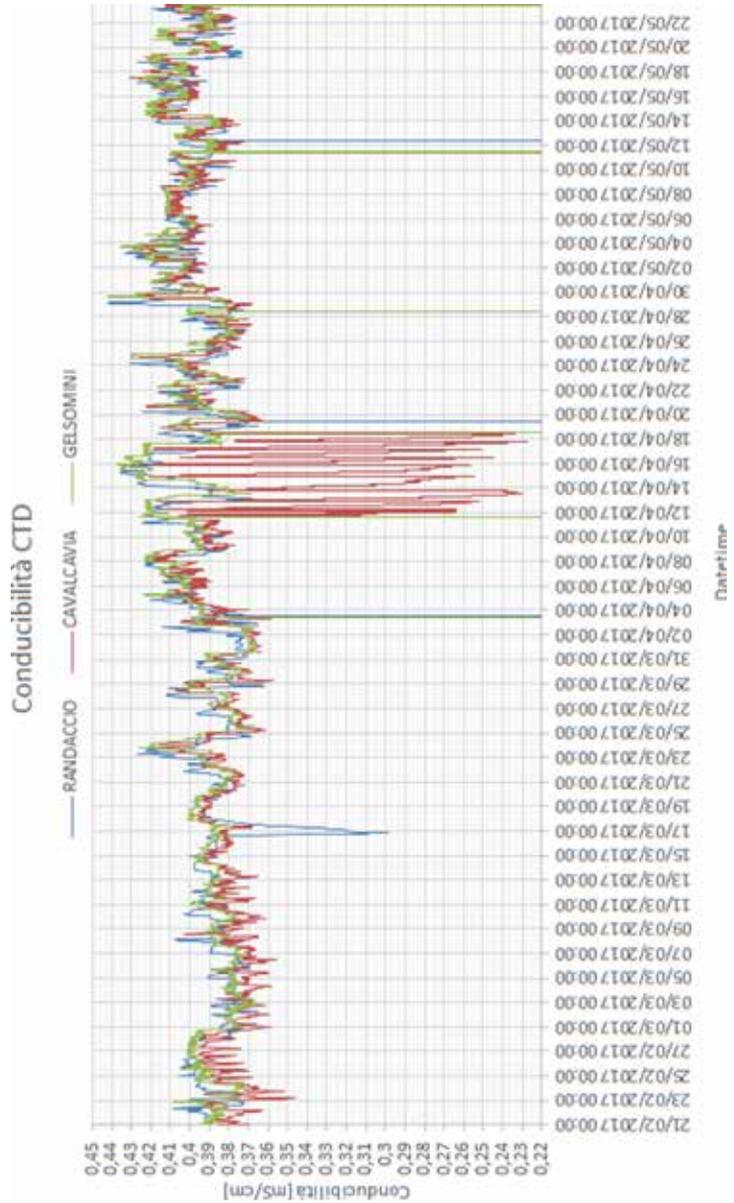


Figura 60:
Grafico riepilogativo del
monitoraggio relativo alla
conducibilità. Elaborazione
dell'autore.

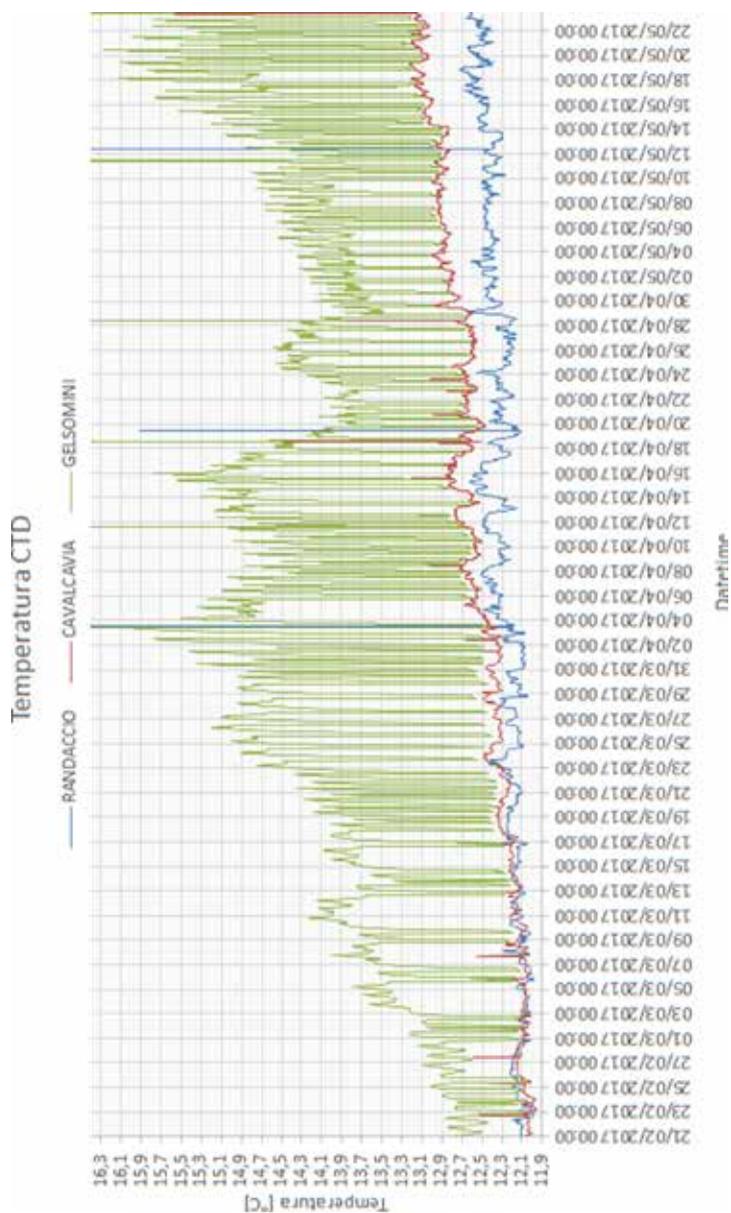


Figura 61:
Grafico riepilogativo del
monitoraggio relativo alla
temperatura. Elaborazione
dell'autore.

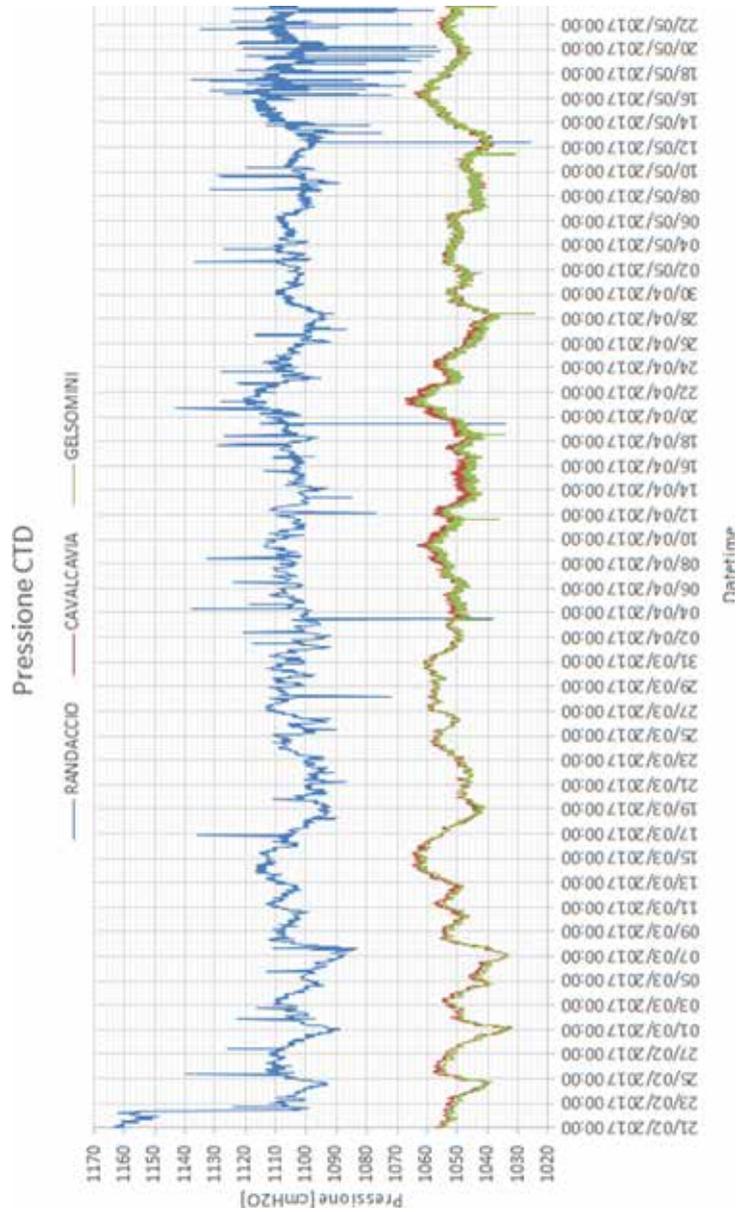


Figura 60:
 Grafico riepilogativo del monitoraggio relativo alla pressione. Elaborazione dell'autore.

La scelta della disposizione delle sonde CTD è stata fatta in base alla necessità di avere dati significativi per lo studio di fattibilità tecnico-economico per la realizzazione dell'impianto di scambio idrotermico indiretto nel Complesso del Porto Vecchio di Trieste sfruttando la risorsa costituita dall'acqua addotta in città dall'Acquedotto di Trieste; inoltre l'installazione fisica della rete di monitoraggio è stata vincolata dalla geometria dell'impianto acquedottistico triestino: la prima sonda è stata installata alla "sorgente" della risorsa all'Acquedotto G. Randaccio di San Giovanni di Duino, la seconda sonda è stata installata presso il nodo idraulico delle due adduttrici della città, in prossimità del punto di interesse per la realizzazione dell'impianto e infine la terza sonda misura le proprietà dell'acqua del canale di aspirazione della stazione di risollevarmento di Gelsomini, cioè sulla prima grande derivazione dall'adduttrice che risentirebbe del disturbo creato dal funzionamento dell'impianto a monte.

Prima di mettere in opera le tre sonde CTD, queste sono state calibrate nello stesso punto presso il Serbatoio B di Santa Maria Maddalena a Trieste per verificarne il corretto funzionamento in condizioni, come quelle offerte da un grande bacino, sufficientemente ben isolate dalle condizioni ambientali esterne, e constatare la presenza di eventuali errori sistematici nei valori misurati. Dalla calibrazione è emerso che gli scostamenti delle tre sonde non sono significativi.

Successivamente le tre sonde sono state messe in opera nei punti scelti; il monitoraggio CTD della rete di adduzione dell'Acquedotto di Trieste dei primi 80 giorni, con particolare riferimento al parametro di temperatura mette chiaramente in evidenza che i valori di temperatura dell'acqua in condotta a Trieste tendono a scostarsi sempre più sensibilmente dai valori misurati alla "sorgente" di Randaccio: infatti, mediamente, mentre alla "sorgente" la temperatura aumenta di 1 millesimo di grado ogni

5 ore, a Trieste l'incremento è di 1 millesimo di grado ogni 2 ore. Considerando questi valori, l'acqua avrebbe mediamente un'escursione termica teorica annua di 1.75°C a Randaccio e 4.38°C a Trieste.

(Quasi certamente l'evento è spiegabile tenendo conto dello scambio termico fra condotta e mare (in contatto per 18 km), ma attualmente non è possibile un confronto con i dati della Boa MAMBO1 gestita dall'OGS per mancanza di monitoraggio della temperatura del mare nel periodo contemporaneo al monitoraggio CTD.

Ricordando che sono presenti delle anomalie dovute al fatto che sono stati registrati anche i valori CTD durante le operazioni di scaricamento della memoria delle sonde, l'anomalia di conducibilità di una settimana al cavalcavia probabilmente dovuta al fatto che il getto d'acqua nel bagno creava bolle d'aria in prossimità del sensore e che i valori sono stati allineati tenendo conto dell'ora legale, analizzando nello specifico dati raccolti si possono trarre ancora altre conclusioni legate principalmente all'idraulica dell'acquedotto.

L'acqua impiega circa 11 - 12 ore ad arrivare in città dal sollevamento, con una velocità media di 0,5 m/s.

Al cavalcavia si notano picchi di temperatura anomali, con un incremento di circa 0.5°C, corrispondenti a picchi di pressione al canale di convogliamento a Randaccio. Si è osservato che la pressione misurata nel canale tiene conto della variazione del livello del canale di convogliamento dovuta principalmente ai cicli di avviamento delle pompe di sollevamento: il cambio dei gruppi e i fermi pompa generano un'onda che viene registrata come anomalia di pressione a Randaccio e come anomalia di temperatura dalle due sonde di Trieste. Visti gli andamenti dei

valori si è deciso di cambiare la frequenza di campionamento da 1 campione/ora a 1 campione/minuto per definire la forma dei picchi. (2uesti picchi registrati al cavalcavia si notano anche a Gelsomini, se non coperti da altri eventi più significativi.

I valori di temperatura misurati alla stazione di Gesomini presentano un'anomalia sistematica dovuta all'avviamento della pompa n.1: se avviata la temperatura dell'acqua torna sui valori misurati al cavalcavia, a pompa ferma si ha un incremento di temperatura a causa dello scarso flusso d'acqua nel collettore di aspirazione e dello scambio termico con la sala; con una quarta sonda (K8599) si è verificato che i valori massimi si stabilizzano su quelli misurati sull'aspirazione della pompa n.2 (sempre ferma, poichè di riserva).

Delle tre sonde, quella di Gelsomini (K6753) è quella che risente di più delle condizioni ambientali, in particolare di quelle della camera di sollevamento veicolate dagli avviamenti delle pompe; quella di Randaccio e del cavalcavia trovandosi in condizioni più protette: la prima ad almeno un metro di profondità in un canale di convogliamento interrato, la seconda in una camera interrata praticamente sempre chiusa.

Sono stati raccolti anche i dati misurati dalla strumentazione installata da AcegasApsAmga (i cosiddetti "Totem" o "Armadi") che dal 20 aprile misurano la temperatura dell'acqua sulle due adduttrici, circa 100 m a valle del sollevamento di Randaccio. Sostanzialmente si nota che qualitativamente, non quantitativamente, la conducibilità è la stessa delle misure CTD, mentre la temperatura non presenta andamenti simili, ma si avvicina ai valori CTD di Gelsomini a pompa ferma.

Fino al 20 aprile erano disponibili solo le misure del "Totem-DN1300" che misurava le proprietà dell'acqua presa dalla rete

di distribuzione di San Giovanni di Duino, sulla discendente DN1300 dalla Torre Petrinia (circa 1500 m a valle del sollevamento principale). I valori di conducibilità hanno lo stesso andamento di quelli CTD con una differenza di misura costante su tutto il periodo; i valori di temperatura seguono qualitativamente lo stesso andamento dei massimi CTD misurati a Gelsomini con valori anche simili.

Dal 20 aprile le misure del "TotemDN1300" e dell'appena attivato "TotemDN900" sono riferite all'acqua prelevata sulle prementi rispettive a circa 100 metri a valle del sollevamento; sulla valvola motorizzata sulla DN1300 e sul ritardatore per la misura del cloro residuo sulla DN900.

Dal confronto fra i valori di conducibilità CTD e quelli dei Totem si nota la similitudine dell'andamento per entrambe le condotte, ragionevolmente i valori "DN1300" si avvicinano maggiormente alle misure CTD, mentre quelli "DN900" presentano uno scostamento costante. Nel periodo considerato sembra non esserci corrispondenza fra i valori di temperatura, tranne che non quelli misurati dalla quarta sonda K8599 sullo scarico del ritardatore per la misura del cloro residuo sulla DN1300. Dal 23 maggio entrambi i Totem sono stati collegati a valle dei ritardatori per la misura del cloro residuo e sono stati ricalibrati.

Infine si è effettuata una stima della potenza istantanea teoricamente estraibile dalla risorsa, in particolare per valutare gli effetti termici sull'acqua a valle dell'impianto. Considerando le temperature misurate sull'adduttrice e imponendo un salto termico allo scambiatore di 5 °C o 10 °C per evitare fenomeni di congelamento in inverno e fenomeni di proliferazione batterica in estate, si può ottenere una potenza istantanea da 0.2 a 2 MW prevedendo variazioni della geometria delle condotte e delle proprietà idrauliche.

Piattaforma informativa BIM-GIS

La costruzione della Piattaforma informativa parte da un inquadramento territoriale dell'area, impiegando in una prima fase la cartografia regionale in scala 1:5000 georeferenziata, corredata dalla cartografia storica disponibile, pcon lo scopo di ottenere un quadro evolutivo quanto più possibile completo, in ambiente GIS.

La struttura della base dati è stata sviluppata in modo da poter raccogliere informazioni di diversa natura e interfacciabile con i "Common Data Enviroment" definiti dalle metodiche di Building Information Modeling.

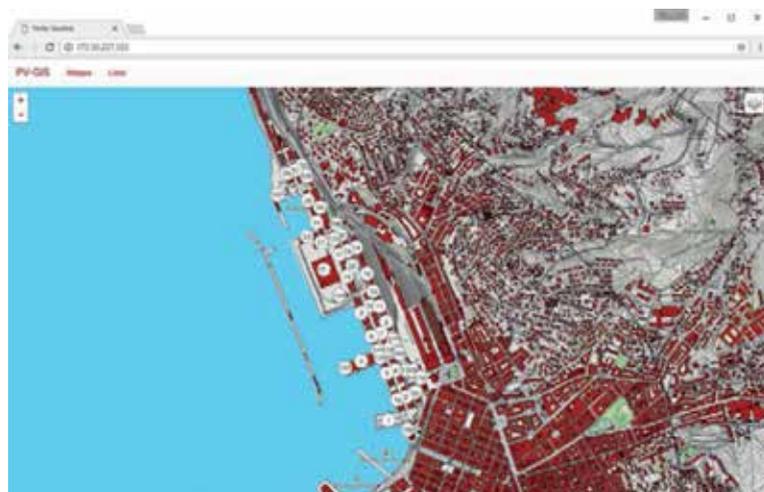


Figura 50:
Pagina web-gis sviluppato
per il Porto Vecchio di Trieste.
Elaborazione dell'autore.

Sotto l'aspetto tecnico la piattaforma nasce per relazionare e interfacciare informazioni tipiche di un ecosistema GIS con informazioni a scala di edificio, tipiche di un ecosistema BIM. A titolo di esempio garantisce la possibilità di condivisione e modifica di un parametro relativo all'infrastruttura energetica dalla modellistica BIM, e viceversa.



Figura 50:
Pagina web-gis sviluppato
per il Porto Vecchio di Trieste,
accesso alla scheda edificio.
Elaborazione dell'autore.

Alla scala del singolo organismo edilizio, la piattaforma è predisposta per raccogliere informazioni afferenti le caratteristiche spaziali, integrate con le tradizionali rappresentazioni architettoniche quali piante, sezioni, prospetti, con il profilo storico, implementando i dati di costruzione dei manufatti, le specifiche dei precedenti interventi di recupero, restauro o modifica dell'edificio, infine i flussi informativi sulle possibili proposte di trasformazione e modifica, rendendoli disponibili a specifici motori di simulazione per approfondimenti.

Oltre alle caratteristiche distributive e funzionali, ogni organismo può riportare informazioni sulle proprie tecniche costruttive, con particolare attenzione alle soluzioni di interesse storico e tecnologico, completando infine il quadro con i vincoli presenti, fornendo una piattaforma per pianificatori, progettisti e *decision makers*.

La piattaforma rende infine scaricabile, consultabile ed accessibile tramite interfaccia web il modello BIM dell'edificio e l'accesso a specifiche nuvole di punti che ne riportano precise informazioni geometriche e sullo stato di conservazione degli elementi.

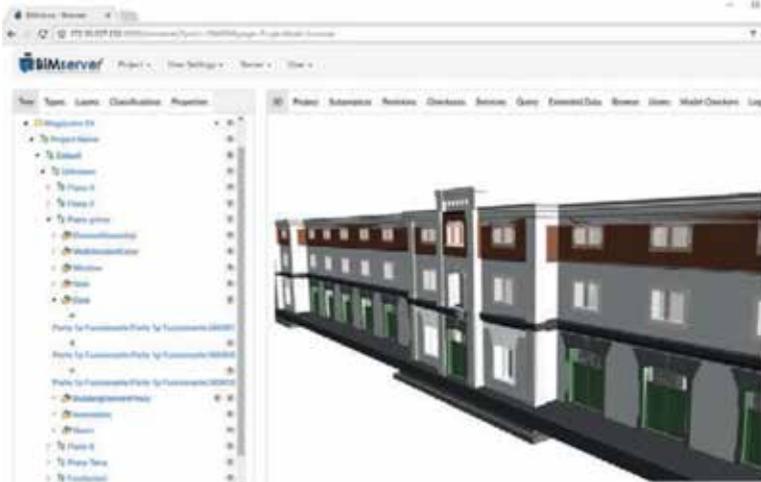


Figura 50:
Consultazione da browser web di un modello BIM del Porto Vecchio. Elaborazione dell'autore.

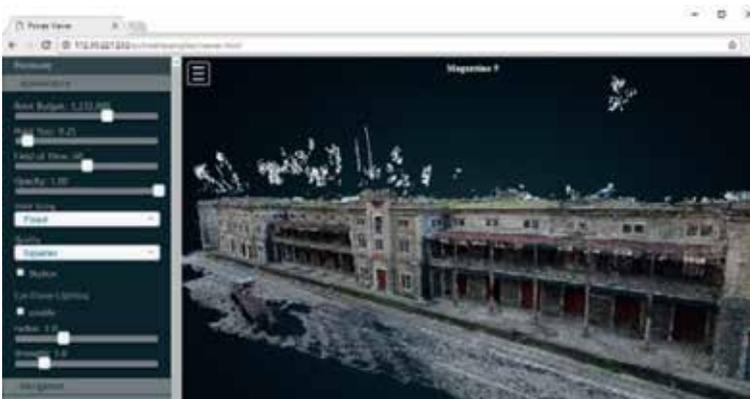


Figura 50:
Consultazione da browser web delle nuvole di punti relative agli edifici del Porto Vecchio. Elaborazione dell'autore.

I principali componenti e formati utilizzati per la realizzazione della piattaforma sono: LeafletS, Server Lamp, Potree, Quantum GIS, Standard *.ifc , *.gbxml, CityGML .

Bibliografia

22@ Barcelona - El districte de la innovació (no date). Available at: <http://www.22barcelona.com/> (Accessed: 8 January 2017).

Aste, N. et al. (2014) 'Local energy efficiency programs: A monitoring methodology for heating systems', *Sustainable Cities and Society*. Elsevier B.V., 13, pp. 69–77. doi: 10.1016/j.scs.2014.04.006.

Burchell, R. W. and Listokin, D. (1981) *The adaptive reuse handbook: Procedures to inventory, control, manage, and reemploy surplus municipal properties*. Rutgers Univ Center for Urban.

Chen, C. S., Chiu, Y. H. and Tsai, L. (2018) 'Evaluating the adaptive reuse of historic buildings through multicriteria decision-making', *Habitat International*. Elsevier, 81(September), pp. 12–23. doi: 10.1016/j.habitatint.2018.09.003.

Commissione Europea (2011) *Tabella di marcia per l'energia 2050*.

Delft Smart City project (2016). Delft.

'Energy retrofit and conservation of built heritage using multi-objective optimization: demonstration on a medieval building' (no date).

Fabbri, K. (2013) 'Energy incidence of historic building : Leaving no stone unturned', *Journal of Cultural Heritage*. Elsevier Mas-

son SAS, 14(3), pp. e25–e27. doi: 10.1016/j.culher.2012.12.010.

Global Alliance for Buildings and Construction (2016) Towards zero-emission efficient and resilient buildings - GLOBAL STATUS REPORT 2016.

Jafari, A. and Valentin, V. (2017) 'An optimization framework for building energy retrofits decision-making', *Building and Environment*, 115, pp. 118–129. doi: 10.1016/j.buildenv.2017.01.020.

Kolokotsa, D. Diakaki, C. Grigoroudis, E. Stavrakakis, G. K. (2009) 'Decision on the energy support efficiency methodologies and energy manage'.

Konstantinou, T. (2014) *Facade Refurbishment Toolbox. Supporting the Design of Residential Energy Upgrades*, A+ BE| Architecture and the Built Environment. doi: 10.7480/abe.2014.9.

Lavagnini, A., Sempreviva, A. M. and Barthelmie, R. J. (2003) 'Estimating wind energy potential offshore in Mediterranean areas', *Wind Energy*, 6(1), pp. 23–34. doi: 10.1002/we.81.

'Lee, E. S., Selkowitz, S. E., DiBartolomeo, D. L., Klems, J. H., Clear, R. D., Konis, K., Hitchcock, R., Yazdanian, M., Mitchell, R. and Konstantoglou, M. (2009). *High Performance Building Façade Solutions - PIER final report*. California, Lawrence Berkeley' (no date).

'Li, H., Salonvaara, M., Zhang, J., Grunewald, J. 2007. *Characterizing and modeling leakage airflows through building envelope and its effects on heat and moisture transport*. Proc. 12th Symp. Building Physics. Dresden.: TU Dresden.' (no date).

Lund, H. et al. (2014) '4th Generation District Heating (4GDH). Integrating smart thermal grids into future sustainable energy

systems', *Energy*. Elsevier Ltd, 68, pp. 1–11. doi: 10.1016/j.energy.2014.02.089.

Ma, Z. et al. (2012) 'Existing building retrofits: Methodology and state-of-the-art', *Energy and Buildings*, 55, pp. 889–902. doi: 10.1016/j.enbuild.2012.08.018.

Maspoli, R. (2014) 'Patrimonio industriale. Conservazione, patrimonializzazione, trasformazione sostenibile/Industrial heritage. Conservation, patrimonialisation, sustainable transformation', *Il Progetto Sostenibile*, (32), pp. 50–61.

Mazzarella, L. (2015) 'Energy retrofit of historic and existing buildings. the legislative and regulatory point of view', *Energy and Buildings*. Elsevier B.V., 95, pp. 23–31. doi: 10.1016/j.enbuild.2014.10.073.

Morandotti, M. et al. (2011) *Studio, sviluppo e definizione di linee guida per interventi di miglioramento per l'efficienza energetica negli edifici di pregio e per la gestione efficiente del sistema edificio-impianto.*

Novi, F. (1999) *La riqualificazione sostenibile. Applicazioni, sistemi e strategie di controllo climatico naturale.* Alinea editrice.

Pascucci, M. and Lucchi, E. (2016) '2D-Hygrothermal Simulation of Historical Solid Walls', (July). doi: 10.3311/CAADence.1640.

Pultrone, G., Melissari, V. and Cal, R. (no date) 'Trieste e il suo waterfront fra storia e futuro : problemi e prospettive', pp. 1–7.

Regione Veneto (2010) *ATTESS Edilizia Storica e Sostenibilità ambientale - Linee Guida.* Available at: https://www.veneto.beniculturali.it/sites/default/files/ATTESS_LINEE_GUIDA.pdf (Ac-

cessed: 4 January 2017).

Roberti, F. et al. (2015) 'Energy retrofit and conservation of built heritage using multi-objective optimization: Demonstration on a medieval building. BSA 2015 Build. Simul. Appl'.

Roberti, F. et al. (2017) 'Energy retrofit and conservation of a historic building using multi-objective optimization and an analytic hierarchy process', *Energy and Buildings*. Elsevier B.V., 138(December), pp. 1–10. doi: 10.1016/j.enbuild.2016.12.028.

Roudsari, M. S., Pak, M. and Smith, A. (2013) 'Ladybug: a parametric environmental plugin for grasshopper to help designers create an environmentally-conscious design', in *Proceedings of the 13th international IBPSA conference held in Lyon, France Aug.*

Sala, M. and Romano, R. (2011) 'Building envelope innovation: smart facades for non residential buildings', *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, 1(2), pp. 158–169. doi: 10.13128/Techne-9938.

Sanguinetti, P. (2012) 'INTEGRATED PERFORMANCE FRAMEWORK TO GUIDE FAÇADE RETROFIT'. Available at: https://smartech.gatech.edu/bitstream/handle/1853/45814/sanguinetti_paola_201212_phd.pdf (Accessed: 28 May 2017).

De Santoli, L. (2015) 'Guidelines on energy efficiency of cultural heritage', *Energy & Buildings*, 86, pp. 534–540. doi: 10.1016/j.enbuild.2014.10.050.

Troi, A. (2011) 'Energy Management in Cultural Heritage Historic buildings and city centres – the potential impact of conservation compatible energy refurbishment on climate protection

and living conditions’.

Troi, A. and Bastian, Z. (2014) Energy Efficiency Solutions for Historic Buildings. EURAC research/Passive House Institute.

‘UNI EN ISO 6946:2007’ (no date).

Della Vedova, B. et al. (2014) ‘Geothermal Heating and Cooling in the FVG Region: the Grado District Heating and the Pontebba Ice Rink Plants’, in Workshop on Geothermal Energy.