

ARCHEOGRAFO TRIESTINO

EDITO DALLA SOCIETÀ DI MINERVA

SERIE IV - VOLUME LXXIX (CXXVII DELLA RACCOLTA)



TRIESTE
2019

INDICE

ARCHIVI

- ALESSANDRA GAROFALO - Studio sulla fregata francese Danae. pag. 1-36

STORIA

- GIAN LUIGI BRUZZONE - Fra i corrispondenti di Mgr Luigi Cesare Pavissich. „ 39-85
- SILVA BON - Passione politica e letteratura in Giuseppina Martinuzzi „ 87-94
- SILVA BON - Storia di un possibile «giusto». Filiberto Ambrosini e la famiglia Benedict „ 95-104
- ENRICO MASCILLI MIGLIORINI - Quella scelta di italianità . „ 105-123
- FRANCO STENER - Servola attraverso le sue lapidi - Da Villa a Rione „ 125-213

ARCHITETTURA

- CARLO ANTONIO STIVAL - La sfida tecnologica del Porto Vecchio di Trieste. I brevetti sperimentali per la realizzazione dei Lagerhäuser „ 217-245
- FERRUCCIO CANALI - Pola nel segno dell'avanguardia urbanistica (1936-1942). Architetti del razionalismo italiano per il Nuovo Piano Regolatore: il contributo di Giovanni Michelucci. „ 247-266

- DIANA BARILLARI - L'Albergo Americano a Barcola, architettura al tempo del Governo Militare Alleato nel Free Territory of Trieste pag.267-288

TECNOLOGIA

- ALESSANDRO PUHALI - I collegamenti ferroviari di Trieste con l'Europa Centro-Orientale all'epoca dell'Impero Asburgico ,, 291-314
- PAOLO ALBERI AUBER - Il Castello di Miramare a Trieste. Implicazioni gnomoniche ,, 315-338
- Scambi ,, 341-346
- Pubblicazioni ,, 347
- Quaderni di Minerva ,, 349

CARLO ANTONIO STIVAL*

LA SFIDA TECNOLOGICA
DEL PORTO VECCHIO DI TRIESTE
I BREVETTI SPERIMENTALI PER LA REALIZZAZIONE
DEI LAGERHÄUSER

Introduzione

Gli edifici del Porto Vecchio – senza dimenticare alcuni fabbricati notevoli siti nell’area Porto Nuovo e in questa sede brevemente richiamati – sono testimonianza di un’applicazione di caratteri tipologici e costruttivi delle costruzioni portuali, evidenti nella presenza di funzioni amministrative, doganali o comunque ancillari, ma soprattutto costituiscono una straordinaria testimonianza di sperimentazione di tecnologie costruttive afferenti alla tecnica del cemento armato, allora poco più che agli albori, eccezionalmente riscontrabili nello stesso contesto.

Questi edifici costituiscono un patrimonio immobiliare che ha comportato la trasformazione di Trieste, in particolare nella seconda metà del XIX secolo in seguito agli sforzi economici e tecnici dell’Impero Asburgico, realizzando un legame che, per quanto forte e tutt’ora perdurante, è stato a più riprese indebolito dagli eventi storici degli ultimi centotrenta anni, a partire da quel 1891 in cui si colloca la revoca da parte del Governo austriaco della patente di Porto Franco all’intera città di Trieste.

Leggendo questo patrimonio, è possibile ripercorrere e studiare una fase decisiva della storia della tecnica delle costruzioni, e del cemento armato in particolare, vista l’attività svolta da progettisti pionieristici e da imprese costruttrici che hanno mutuato conoscenze e hanno implementato prove empiriche e modalità di realizzazione dei fabbricati industriali, apportando *in situ* modifiche e miglioramenti a modelli già di per loro sperimentali.

Il Porto Vecchio è contesto complesso che, per la natura e l’onerosità dei problemi tecnici affrontati, la dimensione dei lavori eseguiti, la concezione moderna e la versatilità dei contenuti tecnologici, si configura come

* Università di Trieste, cstival@units.it

la prima grande opera di una Trieste moderna. La conoscenza di tali contenuti e il riconoscimento della straordinarietà di queste realizzazioni sperimentali costituisce la premessa insopprimibile a qualsiasi intervento volto alla restituzione del patrimonio alla città, alla sua economia e ad un desiderato livello di operatività. Questa è condizione fondamentale per la preservazione dei suoi valori storici, culturali, architettonici e tecnologici, pur accettandone una transizione verso nuove destinazioni d'uso anche solo parzialmente diverse dalle istanze originarie che ne hanno governato progettazione e costruzione.

Criteria generali nella formazione del patrimonio edilizio del Porto Vecchio e caratteristiche tecnico-costruttive dei Lagerhäuser

La costruzione degli impianti portuali di Trieste è sintetizzabile in quattro momenti. Nel primo periodo, iniziato nel 1868 in seguito all'approvazione del progetto Talabot-Pascal¹, si avvia l'opera di bonifica dei terreni e la realizzazione di un nuovo profilo di costa nell'area del Porto Vecchio, con la realizzazione di cinque nuovi moli e la costituzione di quattro bacini, protetti da una Diga Foranea. Tale prima fase termina nel 1883 con l'entrata in esercizio dei Magazzini n. 5, 8, 11, 15 e 16 e degli Hangar n. 12A, 13A e 14.

A partire dal 1887 si verifica l'ampliamento dell'area portuale con la realizzazione del Molo IV ad integrazione dei Moli 0, I, II e III già operativi e si avvia la realizzazione dei *Lagerhäuser* e della Centrale Idrodinamica e l'ampliamento dell'area portuale con la realizzazione del Molo IV; questo periodo, termina nel 1894 con l'entrata in esercizio degli Hangar n. 6, 9, 17, 21, 22, 24, 25 e dei magazzini n. 7, 10, 18, 19, 20, 26, 31, 32.

Il periodo dal 1901 allo scoppio della I Guerra Mondiale vide l'ampliamento delle Rive e la realizzazione dello Scalo Legnami a Servola e del Porto S. Andrea con i Moli V e VI; nell'area del Porto Vecchio, entrano in funzione il Magazzino n. 1, 2, 2A e 4.

¹ L'ingegnere francese Paulin François Talabot (1799-1885), incaricato dalla compagnia KK. Priv. Südbahn della progettazione generale del Nuovo Punto Franco, era responsabile della realizzazione di ferrovie in Algeria e, più in generale, nei territori francesi e austriaci; nella progettazione della trasformazione della rada adiacente il Lazzaretto di Santa Teresa, fu affiancato da Hilarion Pascal (1815-1896), Ingegnere Capo dei Ponti e delle Strade di Marsiglia e, in seguito, Ispettore Generale di Francia. Entrambi, dunque, operavano in quella temperie che si preparava alla realizzazione e gestione dell'apertura del Canale di Suez che si sarebbe rivelato motore formidabile per lo sviluppo dei traffici commerciali triestini.

Infine, al periodo 1924-1936 risalgono le realizzazioni in cemento armato per le costruzioni portuali ai moli V e VI, nonché la realizzazione del Silo, della Stazione Marittima e dell'Idroscalo, costruzioni avvenute con il passaggio di Trieste al Regno d'Italia.

Se l'architettura dei fabbricati del Porto Vecchio, nelle sue forme sobrie, è caratterizzante dell'attività portuale dell'epoca che annoverava quali modelli i porti nordeuropei di Amburgo e Brema, le sfide tecnologiche dell'allora *Neuen Hafen* riguardavano concretamente il reperimento ed il trasporto del materiale lapideo, il controllo dell'equilibrio idrogeologico del bacino idrografico dell'area, la realizzazione di nuovi terrapieni e, d'altro canto, lo scavo dei fondali, la realizzazione della diga foranea, delle nuove rive e dei moli 0 e I-IV, nonché la realizzazione dei nuovi Hangar e delle infrastrutture necessarie alla movimentazione delle merci.

I *Lagerhäuser* del Porto Vecchio di Trieste afferiscono ad una classificazione disciplinata da regole formali e costruttive già collaudata nel Nord Europa; fabbricati parte del tessuto cittadino declinati secondo le norme della portualità, costruiti dall'insieme di edifici di notevoli dimensioni e dalle caratteristiche monumentali, in grado di coniugarsi alle tipologie edilizie storiche delle città che li accolgono, penetrando il sistema urbano con arterie di circolazione e vie di navigazione, in un insieme unico di scenario urbano di affaccio al mare e funzioni portuali. Specificamente, il *Lagerhaus* identifica un fabbricato destinato al deposito, conservazione e sosta delle merci dall'arrivo al porto fino all'avvio per una successiva spedizione. Escludendo dal novero oggetto di studio le strutture destinate alle forniture idrauliche ed elettromeccaniche e agli edifici aventi funzioni civili ed amministrative, è possibile effettuare una distinzione in due grandi famiglie².

Gli edifici di dimensioni maggiori, denominati Magazzini, si collocano in posizione retrostante rispetto agli hangar, in quanto destinati ad ospitare le merci per periodi più lunghi o per consentire un primo trattamento delle merci stesse. Lo sviluppo più diffuso dei Magazzini è pari a due-tre piani fuori terra, con ballatoi interposti tra gli avancorpi, caratteristiche riscontrabili nei Magazzini n. 7, 10, 18, 19 e 26. Diversamente, i Magazzini n. 2, 2A e 4 presentano quattro piani fuori terra oltre alle cantine, e sono caratterizzati da

² Nella terminologia tedesca, comune alla realizzazione delle infrastrutture portuali di Amburgo e di Brema, sono individuati *Schuppen* (capannoni e rimesse, paragonabili agli hangar triestini), *Lagerhaus* (deposito) e il più generale *Speicher* (magazzino, in origine propriamente il granaio), a cui può essere accunato il termine silo. Infatti, termini più specifici come *Kältespeicher* e *Kaispeicher* indicano, rispettivamente, i magazzini frigoriferi e i magazzini che consentono la movimentazione delle merci.



Figura 1 – Vista parziale del prospetto lato mare del Magazzino n. 10.

ballatoi continui ad ogni livello (*Figura 1*). Il fabbricato n. 11, pur essendo un fabbricato ad un solo livello, è denominato ‘Magazzino’ in quanto di molto antecedente agli altri esemplari (1861) e situato in posizione arretrata rispetto al Bacino dei Moli II e III, in prossimità della linea ferroviaria. Il ruolo del Magazzino n. 11, peraltro, fu fondamentale nella funzione di supporto alla stazione delle merci e al deposito delle locomotive, in un periodo in cui (1875) era ancora in essere il dragaggio dei fondali³.

Per quanto concerne la seconda famiglia tipologica, il criterio prevalente nella definizione degli Hangar, o Capannoni, è quello di un edificio avente una banchina rialzata, collocato negli spazi prospicienti la zona di calata delle merci e quindi dotato di sistemi per il sollevamento quali gru a banchina e montacarichi⁴. All'interno di questa tipologia si colloca una prima tipologia di edifici ad un solo piano fuori terra, quali il Capannone n. 1 edificato sul Molo IV nel 1904, i vicini Capannoni n. 1A e n. 3 prospicienti il bacino tra i Moli III e IV e risalenti al 1897. Questi edifici, dato il limitato sviluppo in altezza, non richiedevano strutture fondali particolarmente robuste; la proble-

³ Zeno SARACINO, *Trieste Asburgica...*, op. cit., p. 17.

⁴ AUTORITÀ PORTUALE DI TRIESTE, *Il Porto di Trieste*, op. cit., p. 34.

matica della scarsa portanza del terreno di fondazione caratterizza invece le vicende progettuali e costruttive dei rimanenti Hangar – i fabbricati n. 6, 9, 17, 24 e 25, aventi due o tre livelli fuori terra e quindi assimilabili, dal punto di vista statico, ai Magazzini.

Nel Porto Vecchio di Trieste sono presenti hangar lungo le calate per l'immediato deposito delle merci – per questo motivo attrezzati con gru di banchina per la calata delle merci e con montacarichi e gru di sollevamento per l'allocazione delle merci ai piani superiori – e magazzini retrostanti, disposti su file parallele alla linea di costa, per consentire depositi di maggiore durata. Tra le file dei fabbricati trovano collocazione i binari per il transito di vagoni e carri ferroviari, provvisti di piattaforme rotanti a punti di snodo.

I magazzini furono disposti su tre file parallele, disposte lungo un asse distributivo principale e due strade secondarie; la più distante dal mare è tutt'ora adiacente all'area dei binari ferroviari della Stazione Centrale di Trieste.

Hangar e Magazzini – con l'esclusione dei Magazzini provvisti di cantinato, aventi accessi a sbalzo – sono caratterizzati dal *perron*, un piano sopraelevato rispetto al piano stradale dotato di rampe inclinate alle estremità, concepito per facilitare le operazioni di carico e scarico delle merci vettorate dai carri ferroviari e dagli autocarri. Sui *perron* avevano sede i binari delle gru idrauliche 'a capra zoppa', così denominate per la loro struttura asimmetrica avente appoggio basso sulla banchina. Il progetto iniziale non prevedeva la presenza della rotaia delle gru, così fu necessario sovradimensionare i *perron* per la disposizione dei binari, con conseguente ispessimento del muro che sostiene la banchina. Per facilitare l'accesso ai magazzini, in alcune sezioni i *perron* presentano dei gradini. Le operazioni di carico e scarico erano protette da pensiline in lamiera zincata ondulata prodotta nella fabbrica di Teschen sita nella proprietà dell'arciduca Alberto Federico Rodolfo d'Asburgo.

Nella realizzazione dei magazzini, il principale problema era rappresentato dalla scarsa portanza del terreno, dovuta a progressivi ripascimenti con materiale da riporto su un terreno comunque limoso: ciò comportò, per alcuni fabbricati, ritardi alla consegna per difficoltà insorte in corso d'opera. Il caso più eclatante delle difficoltà sorte a causa della configurazione geologica dell'area, che ha comportato anche la modifica della geometria dei sedimi di alcuni fabbricati portuali – altrimenti quadrangolare, regolare, 'storicista' – quali gli Hangar n. 21 e n. 23, è quello del Magazzino n. 26 il cui apparato fondale si doveva confrontare con il nuovo tracciato del torrente Martesin che ne attraversava pienamente il sedime. Su scala urbanistica, al fine di bilanciare le azioni complessive gravanti sul terreno in fase di realizzazione, i corpi di fabbrica furono realizzati a gruppi, in quattro fasi: la prima, comprendente

il Magazzino n. 19 e gli Hangar n. 6 e 17 (1888-1890); la seconda, i Magazzini n. 7 e 10 e gli Hangar n. 21 e 22 sul Molo I (1889); la terza concernente la realizzazione dei Magazzini n. 18 e 20 e gli Hangar n. 9 e 24; l'ultima, il Magazzino n. 26 e l'Hangar n. 25, come il suo 'gemello' n. 24 destinato a terminal animali vivi.

Le caratteristiche tipologiche dei magazzini denotano la presenza di linee guida comuni che coordinarono le imprese costruttrici, pur operanti in periodi diversi e secondo modalità costruttive peculiari. Tale coordinamento emerge essenzialmente nelle linee verticali e orizzontali che scandiscono un'armonica composizione architettonica degli opposti prospetti longitudinali – uno rivolto al mare ed uno alla città – e nella geometria dei basamenti e delle bucatore di portoni e finestre. Questi elementi, al piano terra, presentano un andamento regolare sui prospetti longitudinali e sono caratterizzate da aperture ad arco ribassato, con cornice e chiave di volta in pietra calcarea; ai piani superiori, le aperture singole divengono binate e si riducono in altezza in corrispondenza della soffitta dell'ultimo livello (*Figura 2*).

Lo sviluppo delle strutture è interrotto da corpi sporgenti che interrompono e così scandiscono la partitura orizzontale e verticale dei fronti principali.



Figura 2 – Vista prospettica dell'Hangar n. 9. Si evidenzia la composizione delle linee orizzontali, sottolineate dai marcapiani, dall'abbozzato sporto di copertura, dal basamento del perron, e delle linee verticali definite da lesene ed avancorpi.

Le strutture in elevazione, impostate secondo una disposizione modulare, sono costituite al perimetro da setti in massi squadrate di pietra arenaria, all'interno da pilastri in arenaria negli spazi interni del piano terra, su cui si innestano colonne in ghisa riscontrabili nei livelli superiori; analoghe colonnine in ghisa sorreggono i ballatoi sui fronti longitudinali. Sui capitelli terminali sono disposte le travi principali, il cui asse risulta centrato sulle colonnine sottostanti, mentre le colonnine proseguono oltre i solai. La sezione cava svolge una duplice funzione: l'alleggerimento del carico complessivo gravante sulle fondazioni a gradoni e la possibilità di alloggiamento impiantistico per le tubazioni che trasportavano il vapore prodotto nella Centrale Idrodinamica al fine di alimentare le apparecchiature meccaniche degli edifici.

L'utilizzo del calcestruzzo si riscontra nella realizzazione di solai e orizzontamenti, corroborato nella funzione di resistenza strutturale da elementi metallici e talvolta integrato da elementi in laterizio. La molteplicità di materiali e tecniche costruttive impiegate conferma l'elevato grado di sperimentazione che è possibile riscontrare nei fabbricati del Porto Vecchio.

L'elemento connotante che definisce la funzionalità dei *Lagerhäuser* in termini di portanza strutturale sono gli orizzontamenti realizzati secondo tecnologie sperimentali in combinazione di ferro e conglomerato cementizio.

Il cemento armato, a differenze di altri materiali tradizionali dell'edilizia, alla fine del XIX secolo era una tecnica costruttiva sviluppata, e contemporaneamente protetta, da brevetto. All'inizio commercializzati da ditte straniere, come la società *Wayss & Freitag* o la *Maison Hennebique*, questi brevetti ben presto furono dati in concessione a imprenditori locali come la ditta *Odorico & C.* di Milano, la Società *G. A. Porcheddu* di Torino o la *S. A. Ferrobeton*, che ben presto iniziarono a introdurre proprie varianti brevettando così i primi sistemi nazionali italiani⁵.

L'analisi delle note tecniche relative ai metodi costruttivi impiegati per la realizzazione dei magazzini del Porto Vecchio evidenziano così l'impiego diffuso di alcuni brevetti, in particolare il sistema Monier per una notevole quota parte dei magazzini – in particolare i primi, a struttura mista, collocati a lato della ferrovia – il sistema Melan, riscontrabile nell'Hangar n. 9 e nei Magazzini n. 10, n. 20 e n. 21, infine il sistema Fritz von Emperger, impiegato nei Magazzini n. 1A, n. 2, n. 2A e n. 4.

Il contributo di Marco Pozzetto pubblicato sulla rivista *L'Industria Italiana del Cemento* nel 1981 rileva, nelle realizzazioni oggetto di studio, il

⁵ Tullia IORI, *Il ruolo dei brevetti...*, op. cit, p. 155.

ricorso a numerose tecnologie innovative che hanno permesso di superare «l'applicazione dei formulari dello storicismo maturo» nella loro forma architettonica e di intraprendere un corso pionieristico nella sperimentazione delle costruzioni in cemento armato. Queste sperimentazioni furono condotte dalle grandi imprese di costruzione che avevano proprie filiali a Trieste, anche introducendo modifiche all'atto della realizzazione dei manufatti.

Anche nel Porto Nuovo furono impiegati brevetti sperimentali, dei quali si citano Wayss, Hyatt⁶, Freytag & Meinong, Hennebique⁷, Cottancin, Bordenave, Odorico & Co⁸ (Figura 3, Figura 4).

⁶ Il sistema Hyatt, dal nome del suo sperimentatore, l'avvocato americano Thaddeus Hyatt (1816-1901), fu il risultato di alcuni esperimenti volti proprio a verificare la qualità del conglomerato cementizio come strato protettivo antifuoco. In un lavoro a carattere privato stampato nel 1877, *An account of some experiments with Portland-cement-concrete combined with iron as a building material with reference to economy of construction and for security against fire, in the making of roofs, floors and walking surfaces*, Hyatt evidenzia l'efficacia della collaborazione tra acciaio e calcestruzzo alle alte temperature e suggerisce l'impiego di profili piani e di tondini al posto dei profilati ad L, aprendo così la strada alla concezione delle moderne barre ad aderenza migliorata, superando la mera funzione di protezione dal fuoco espressa dal calcestruzzo e delineando le modalità di attribuzione dei singoli materiali alle specifiche funzioni: il ferro per riprendere le sollecitazioni di trazione, il conglomerato per garantire la resistenza agli sforzi di compressione.

⁷ Anche per François Hennebique (1842-1921) la sperimentazione sul cemento armato muove dalla ricerca di soluzioni contro gli effetti dell'incendio, tanto da imprimere sugli elaborati grafici prodotti dalla sua società (fondata nel 1892) la dicitura *'Plus d'incendies desastreux'*. L'inglobamento delle putrelle in ferro in uno strato di cemento gli rese evidente un notevole incremento del peso della costruzione, perciò Hennebique teorizzò l'impiego del calcestruzzo per fornire resistenza a compressione e quello del ferro per la resistenza a trazione. Il componente assumeva dunque l'aspetto di una lastra in *beton* rinforzata da nervature all'interno delle quali erano posizionate delle *poutrelles* di dimensioni contenute, collegate rigidamente con la porzione superiore della lastra per consentire la collaborazione tra i due materiali (connessione denominata *étrier*, responsabile della ripresa delle sollecitazioni di taglio). Il brevetto Hennebique costituisce un momento fondamentale nell'evoluzione tecnica del cemento armato in quanto concerne elementi lineari verticali e orizzontali definitivamente composti in un sistema strutturale monolitico.

⁸ Marco Pozzetto, nella citata ricerca pubblicata nel 1981, delinea la storia costruttiva di alcuni Magazzini nell'area del Porto Nuovo (Porto Emanuele Filiberto Duca d'Aosta). Il concorso per la costruzione dei Magazzini n. 69 e n. 71 fu vinto nel 1909 dall'impresa *Wayss & Freitag A.G. und Meinong G.m.b.H.* di Innsbruck; i due fabbricati, di dimensioni pari a circa 16.000 mq per un piano fuori terra, furono calcolati dall'Ing. Meinong e da lui dimensionati con il sistema Wayss. La copertura è costituita da una lastra continua in c.a., coadiuvata da travi armate che permettono una più efficace trasmissione dei carichi alle travi principali; queste ultime sono strutturalmente connesse ai pilastri per mezzo delle rispettive armature. Nel 1910 sono oggetto di concorso appalto i Magazzini n. 55 e n. 58 collocati in prossimità del molo VI nel

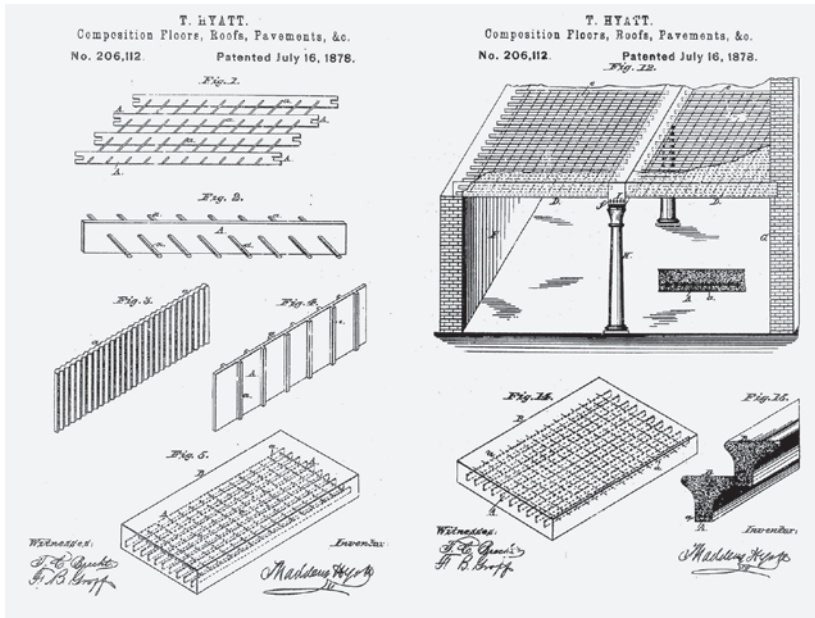


Figura 3 – Brevetto N. 206112 di Thaddeus Hyatt (1878) per la realizzazione di solai, coperture e pavimenti.

I sistemi di orizzontamento con struttura in ferro si differenziano dalle altre tipologie in quanto gli elementi a completamento dell'orditura strutturale e di pavimentazione sono realizzati in combinazione con laterizio e calcestruzzo, capaci di conferire un'adeguata resistenza al fuoco alla struttura metallica. Infatti, se agli albori della sperimentazione la costruzione in ferro era

Punto Franco Nuovo. Rispetto alla costruzione dei precedenti, l'impresa *Ways-Meinong* vincitrice del concorso si avvale della collaborazione dell'impresa *Odorico & C.* che condusse anche i calcoli dei cementi armati a firma dell'Ing. Odorico in adozione del sistema Hennebique. Questi ultimi due fabbricanti, perciò, vedono realizzata l'applicazione di un sistema costruttivo che non comprende più le sole opere di orizzontamento, ma è esteso, nella sua concezione, a veri e propri telai in cemento armato. Pozzetto conclude la sua analisi evidenziando come il sistema Ways abbia comportato, nelle travi, un utilizzo di ferro d'armatura inferiore del 10% rispetto al sistema Hennebique utilizzato nei Magazzini n. 55-58; nei pilastri e nelle solette armate, invece, il rapporto risulta inverso. Detto ciò, Pozzetto argomenta che il risparmio di ferro nell'adozione del sistema Ways sia bilanciato da un minore onere in termini di manodopera riscontrabile nel sistema Hennebique, dettaglio che comportò l'impiego di questo sistema nei Magazzini n. 55 e n. 58, più recenti.

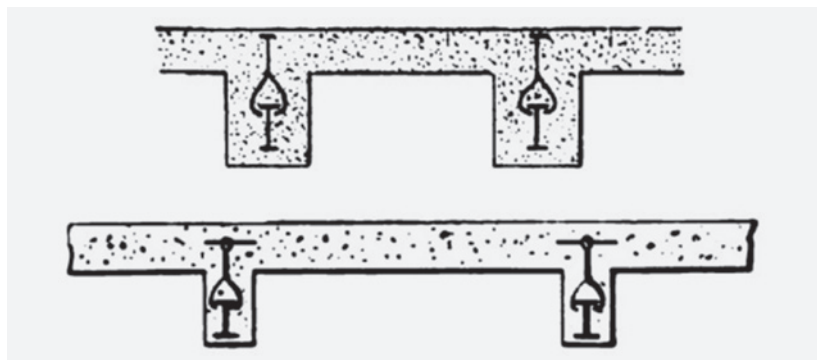


Figura 4 – Prototipo del solaio Hennebique, a lastra nervata con annegamento di puzelle in ferro collaboranti con la soletta in calcestruzzo mediante connettori (*étriers*). L'immagine è tratta da Cesare Pesenti, *Il cemento armato ed il cemento semiarmato*, Bergamo, 1906.

sinonimo di sicurezza contro gli effetti dell'incendio, alcune esperienze negative, verificatesi in particolare in Gran Bretagna, suggerirono che la pratica costruttiva ricorresse al conglomerato cementizio per incrementare la resistenza alle alte temperature, generando soluzioni di tipo *fire-proof*. Alla fine del XIX secolo, la tecnologia del cemento armato risultava ancora parzialmente sperimentale e, data la maggiore maturità dei sistemi costruttivi in ferro, progettisti e costruttori esprimevano la necessità di disporre di orizzontamenti resistenti al fuoco, immuni agli effetti degli agenti atmosferici, dal costo contenuto e capaci di un'elevata portanza⁹.

Il sistema Monier

Nel 1891, la rivista *Allgemeine Bauzeitung für den öffentlichen Bau-dienst* offre nuove notizie sulla realizzazione del Neuen Hafen di Trieste¹⁰. Il contributo dell'Ing. K. Muck propone gli elaborati grafici di un tipico

⁹ Donald FRIEDMAN, *Analysis of archaic fireproof floor systems*, op. cit, p. 130.

¹⁰ La rivista costituisce un importante riferimento per la ricostruzione della storia del Porto Vecchio, in quanto se ne riporta notizia nelle uscite degli anni 1874-1876, 1882, 1884, 1891 e 1893, con riferimento a temi quali la scelta delle cave, le modalità di prelievo e di trasporto del materiale, lo scavo dei fondali e la realizzazione delle nuove rive e dei moli, infine la costruzione dei nuovi magazzini e le tecnologie costruttive ivi utilizzate.

Magazzino, evidenziando le tecnologie utilizzate e, in particolare, l'impiego dell'innovativo sistema costruttivo Monier per i solai a voltine.

Il sistema Monier rappresenta il primo impiego documentato del cemento armato. A partire dal 1867 il giardiniere francese Joseph Monier (1823-1906) si rese protagonista della registrazione di diversi brevetti tutti afferenti alla tecnologia del cemento armato: vasi per orticoltura – che egli realizzava già dal 1849 – con inserimento di una rete in ferro per prevenirne la rottura (1867, anno dell'Esposizione Universale di Parigi dedicata all'agricoltura, all'industria e alle arti), brevetto seguito da quelli per tubazioni di acquedotti e fognature (1868), pannelli bidimensionali per l'edilizia residenziale (1869), ponti e passerelle (1872), infine travi (1878). Risalente allo stesso periodo, il ponte del castello di Chazelet, nella regione della Valle della Loira, è considerato come uno dei primi esempi di ponte in cemento armato. A differenza delle esperienze condotte in Gran Bretagna, in cui il ricoprimento della struttura in metallo fungeva da protezione contro l'incendio, in Francia la funzione di cementi e malte era deputata alla protezione dall'acqua, sicché le prime sperimentazioni riguardarono vasi, serbatoi, tubi e cisterne, con studio della possibilità di realizzare superfici curve. Monier intuì per primo le potenzialità del nuovo materiale per realizzare elementi rettilinei per orizzontamenti. Contemporaneamente a Hyatt e indipendentemente da quest'ultimo, Monier intuì la specifica funzione da attribuire alla rete di armatura, annegata nel conglomerato, da posizionare nella zona della soletta soggetta a trazione disponendo un copriferro di 15 mm.

Nel 1885, all'Esposizione Universale di Anversa, l'ingegnere tedesco Gustav Adolf Wayss (1851-1917) vide un'applicazione per cisterne del sistema Monier e ottenne dalle ditte *Freytag & Heidschuch* (di Neustadt an der Weinstrasse) e *Martenstein & Josseaux* (di Offenbach am Main) la possibilità di adoperare il sistema nella Germania settentrionale e a Berlino, qui costituendo la società *G. Wayss & Cie*, denominata successivamente – ed esplicitamente – '*Actien-Gesellschaft für Beton und Monierbau*'. Il sodalizio creatosi con Mathias Koenen (1849–1924) durante la realizzazione del Palazzo del Reichstag a Berlino, portò alla pubblicazione di un opuscolo, *Das System Monier. Eisengrippe mit Cementumhüllung in seiner Anwendung auf das Gesammte Bauwesen*. Questo riportava le basi per calcolo e dimensionamento delle armature del sistema Monier a seguito delle prove effettuate a Berlino, Vienna e Breslavia per determinarne le caratteristiche di capacità portante, resistenza al fuoco, resistenza agli urti e mutuo comportamento sotto stress di conglomerato e ferro¹¹ (*Figura 5*).

¹¹ Gustav Adolf WAYSS, *Das System Monier...*, op. cit., pp. 35-72.

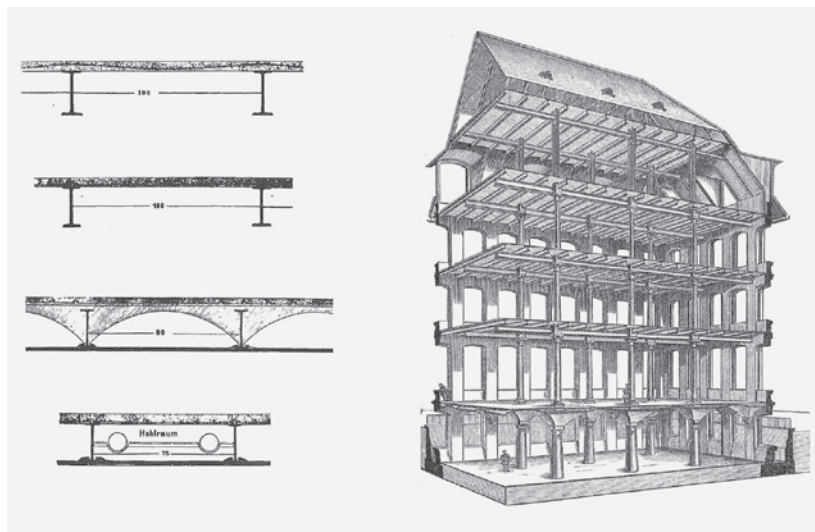


Figura 5 – Applicazione del sistema Monier nella costruzione di edifici. A sinistra, dall'alto verso il basso: soletta autoportante, realizzata in opera secondo lo schema proposto da Koenen; pavimento in pannelli realizzati fuori opera; sistema a voltine con pavimentazione lignea e controsoffitto ignifugo; pavimento galleggiante con possibilità di alloggiamento impiantistico. A sinistra, magazzino con solette Monier agli interpiani e al sottotetto (G. A. Wayss, *Das System Monier...*, op. cit).

Nel 1892 Wayss fondò la *Wayss & Freitag* con Konrad Freytag (1846-1921), società di cui fece parte fino al 1903 quando si trasferì in Austria¹²; la società sostanzialmente deteneva i diritti per i brevetti di Joseph Monier per la Germania e L'Impero Austro-Ungarico. La fiducia di cui godeva la *Wayss & Freitag* risiedeva inoltre nell'utilizzo di un metodo di calcolo, messo a punto da Koenen, che permetteva di calcolare l'area di armatura necessaria a riprendere gli sforzi di flessione. La qualità delle opere realizzate e l'espressione di un metodo di calcolo sempre più svincolato dall'empirismo costituiscono il motivo per cui il sistema Monier ebbe la sua maggiore diffusione in Germania e nell'Impero Austro-Ungarico. Una delle principali differenze che separavano la società *Wayss & Freitag* dalla *Maison Hennebique* consisteva appunto nell'approccio al dimensionamento degli elementi portanti: un meto-

¹² Wayss acquistò da Freytag la società Freytag & Heidschuch che deteneva i diritti di commercializzazione dei brevetti Monier per la Germania meridionale.

do di calcolo scientifico verificato attraverso prove sperimentali per la prima, un sistema empirico confluito in un apparato di tabelle predisposto dal preposto Ufficio Studi centrale per la seconda.

Il sistema Monier ebbe larga diffusione nella realizzazione dei *Lagerhäuser* in virtù del fatto che le voltine possedevano una indiscutibile leggerezza senza inficiare la resistenza meccanica e la portanza degli orizzontamenti (*Figura 6*). La pubblicazione delle modalità di calcolo delle solette e dei resoconti delle prove effettuate funse da attestazione dei molteplici vantaggi insiti nel sistema Monier: la riduzione delle dimensioni dei sostegni, una maggiore rapidità di esecuzione e, non ultima, la resistenza opposta all'azione del fuoco.

Le voltine Monier, in base alle caratteristiche del sistema fornite dalla filiale triestina della società *G. A. Ways*, sono realizzate per un carico variabile tra i 1200 e i 2000 kg/m² a seconda della destinazione d'uso dei fabbricati e della quota di piano. Le barre ad arco sono disposte secondo una rete 6 cm x 6 cm, con superfici di posa distanti 6,5-7 cm l'una dall'altra, con copriferro minimo di 5 mm. Lo spessore della volta è pari a 5 cm in corrispondenza della sezione di mezzeria, volta realizzata in conglomerato costituito nel rapporto 2:7 di cemento Portland e di sabbia mista a inerti di piccolissima pezzatura. Gli spazi in corrispondenza delle travi in ferro battuto sono stati riempiti di calcestruzzo ottenuto dalla miscela di cemento Portland e ghiaia secondo un rapporto 1:8. In seguito al livellamento della soletta, il completamento della soluzione tecnologica avviene mediante la posa di un massetto di spessore 4 cm irrobustito con rete d'armatura, finito superiormente da una pavimentazione in cemento Thiel-Portland misto a sabbia.

Nel Magazzino 19 la soluzione originaria prevedeva la preparazione della malta con miscela di cemento Portland e sabbia, in parti uguali, malta che a sua volta era mescolata con inerti di piccolissima pezzatura nel rapporto 1:4; tale soluzione non fu replicata poiché si verificarono cedimenti con creazione di vuoti all'interno della pavimentazione, dovuta al transito dei carrelli di spostamento delle merci.

Nel caso specifico dei solai a voltine realizzati nei *Lagerhäuser* del Porto Vecchio, il calcolo si basa su un carico proprio uniformemente distribuito pari a 2400 kg/m², valutato secondo due ipotesi di carico: la prima con un carico distribuito sull'intera volta che genera la massima sollecitazione flettente alla chiave di volta, la seconda con un carico distribuito su metà della volta per ottenere la parzializzazione – in compressione e in trazione – della sezione maggiormente sollecitata, vale a dire il caso in cui si verifica la modalità di carico più sfavorevole.

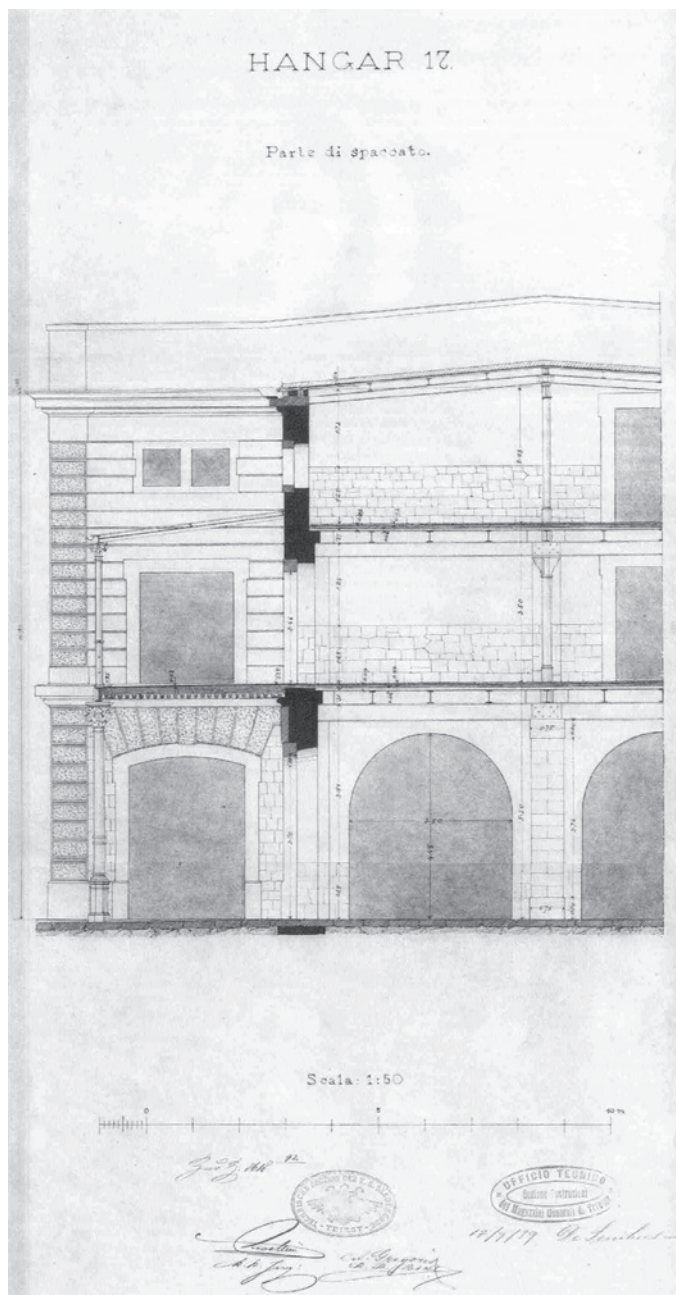


Figura 6 – Spaccato dell’Hangar n. 17, diretta applicazione della soletta Monier su più appoggi proposta da Koenen nel 1886, fonte Archivio Storico dell’Autorità Portuale.

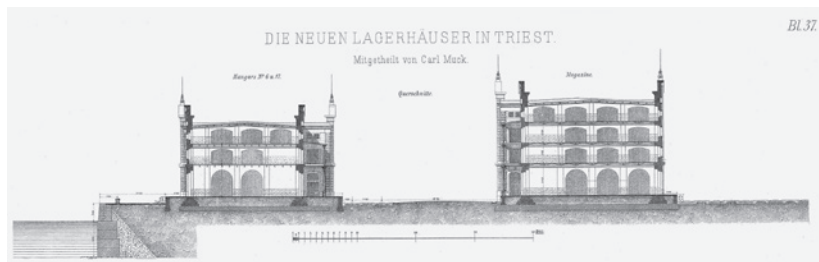


Figura 7 – Sezione trasversale dell’Hangar n. 6 e del Magazzino n. 17 riportata nelle tavole a corredo del contributo di K. Muck, *Über die Bau...*, op. cit., 1891.

La resistenza ai carichi è assicurata dalle putrelle in ferro, aventi interasse pari a 2,63 ml, e dalle volte in cemento armato, di spessore variabile fra 30 cm alle estremità – in corrispondenza degli appoggi alle travi in ghisa – e 10 cm in mezzeria, alla chiave della voltina stessa (Figura 7).

Gli sforzi di trazione a cui la volta risulta soggetta sono ripresi dal conglomerato cementizio, mentre gli sforzi di trazione sono ripresi dal ferro posizionato nella porzione inferiore della voltina stessa¹³. L’elemento di novità del sistema utilizzato va ricercato nell’approccio scientifico dato al calcolo della volta in cemento armato, capace di far assorbire gli sforzi di trazione al ferro posto nel lembo inferiore della volta e quelli di compressione al conglomerato cementizio (Figura 8).

Con riferimento all’esempio del Magazzino n. 26, l’applicazione dei so-lai in voltine Monier è ben riscontrabile nei ballatoi, poggianti su colonne in ghisa grigia, per una portanza complessiva di 800 kg/m², al netto del carico indotto dalla presenza di gru e montacarichi.

Considerando il Magazzino n. 18 – edificato a partire dal 1893 dal *Consorzio Triestino Costruttori* – dalla Relazione Tecnica relativa alla ristrutturazione occorsa nel 1932 si legge un sistema strutturale a doppia orditura di travi in ferro, dove l’orditura secondaria regge un sistema di voltine dello spessore di 5 cm, integrate da una soletta spessa 6 cm ordita in senso ortogo-

¹³ Karl Muck, *Über die Bau der neuen Lagerhäuser in Triest ...*, op. cit., pp. 70. Questo contributo, inoltre, fornisce il resoconto delle problematiche relative alla demolizione del Lazzaretto di Maria Teresa d’Austria nel 1769, all’interramento del relativo Mandracchio e alla realizzazione dei Magazzini n. 18, 19 e 20.

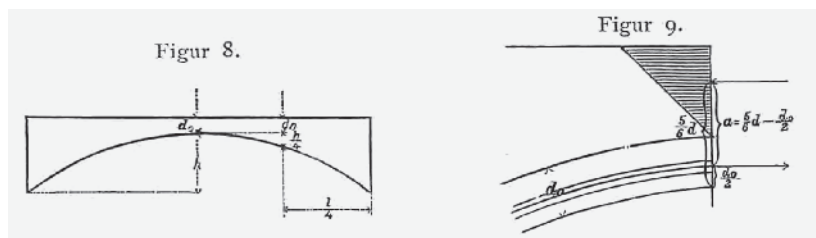


Figura 8 – Schema di calcolo delle voltine Monier in cemento armato con distribuzione degli sforzi di trazione e compressione, come riportato da K. Muck, *Über dien Bau...*, op. cit., 1891.

nale alle voltine; l'imposta delle voltine stesse alle travi è irrobustita con prismi in calcestruzzo¹⁴ (Figura 9).

Il Magazzino n. 7 faceva parte del secondo gruppo di magazzini la cui costruzione era stata commissionata alle imprese *Geiringer, Vallon & C. e N. Körösy* secondo il contratto di appalto dell'ottobre 1888. L'inizio dei lavori fu posticipato di quattro mesi al marzo 1889, stante un inverno particolarmente rigido e una insufficiente fornitura di pietra di Santorini. Il laborioso consolidamento del calcestruzzo, il cedimento di alcune murature in arenaria e la difficoltà di fornitura dei materiali procrastinarono il collaudo provvisorio del magazzino all'agosto 1890, senza l'applicazione di penali all'impresa da parte della Direzione dei Magazzini Generali.

Nel caso del Magazzino n. 7, l'originaria caratterizzazione dei pavimenti a lamiere ondulate con getto collaborante in calcestruzzo fu sostituita dall'adozione del sistema Monier, che a fronte di un allungamento dei tempi di realizzazione comportò una maggiore affidabilità dell'opera in termini di sicurezza strutturale. Inoltre, il sistema consentì di ridurre il numero di travi appartenenti all'orditura principale, contenendo il costo complessivo del fabbricato.

Il 7 luglio 1926 un imponente incendio danneggiò buona parte della struttura del Magazzino n. 7, rendendone necessaria una incisiva ristrutturazione per superare l'intercorsa inagibilità del fabbricato. Il ripristino della sua funzionalità, avvenuto a fine novembre 1926, ha comportato l'alterazione delle strutture originarie nell'ottica di un incremento delle prestazioni di

¹⁴ La ristrutturazione parziale del Magazzino n. 18, già nel 1932, fu trasformato per accogliere un distaccamento di 210 unità CC.NN. a servizio della Coorte Autonoma della Milizia Portuaria di Trieste.

81. Entrepôts de Trieste. — La presque totalité des planchers des entrepôts de Trieste a été exécutée en voûtes MONIER, d'après le type fig. 153.

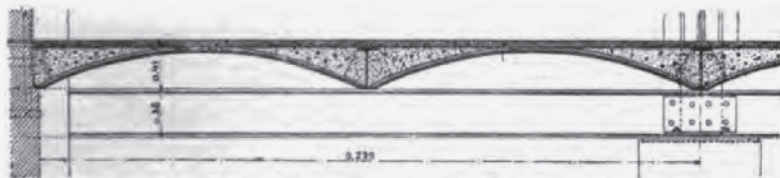


Fig. 153. — Plancher des entrepôts de TRIESTE.

Les poutrelles, de 0,35 m. de hauteur, sont espacées de 2,50 m. environ. La surcharge est de 1 200 kg. par mètre carré.

Un enduit en ciment termine supérieurement les planchers.

La construction des planchers et terrasses (voy. n° 190) des entrepôts de Trieste, d'une surface totale de 260 000 mètres carrés, a été entreprise par la *Société des constructions Monier* de Berlin.

Figura 10 – Citazione relativa ai Magazzini del Porto Vecchio di Trieste da parte di P. Christophe in *Le béton armé et ses applications*, op. cit., 1899.

primi trattati sul calcestruzzo armato che include la descrizione e le modalità di realizzazione di numerosi sistemi all'alba del XX secolo (*Figura 10*). Nella citazione, l'autore riporta valori leggermente diversi da quelli dichiarati da K. Muck, inoltre stima in 260000 mq la superficie totale di solai realizzati con il sistema Monier. Tale valore, ripreso poi da R. Gabetti in *Origini del calcestruzzo armato*, pubblicato a Torino nel 1955, è giudicato eccessivo da M. Pozzetto secondo cui tale valore è da attribuirsi alla superficie di tutti i solai realizzati nel Porto Vecchio secondo sistemi sperimentali¹⁵.

Il sistema Melan

Gli edifici realizzati nell'ultimo decennio del XIX secolo, quali l'Hangar n. 9 e i Magazzini n. 10 e n. 20, adottano il sistema messo a punto dal professor Joseph Melan (1853-1941) al Politecnico di Praga¹⁶, consistente in

¹⁵ Marco POZZETTO, *Cemento armato...*, op. cit., p. 428.

¹⁶ Joseph Melan, negli ambienti scientifici e professionali austriaci, rappresentava un'autorità nella teoria e nella pratica della costruzione di ponti. Già nel 1886,

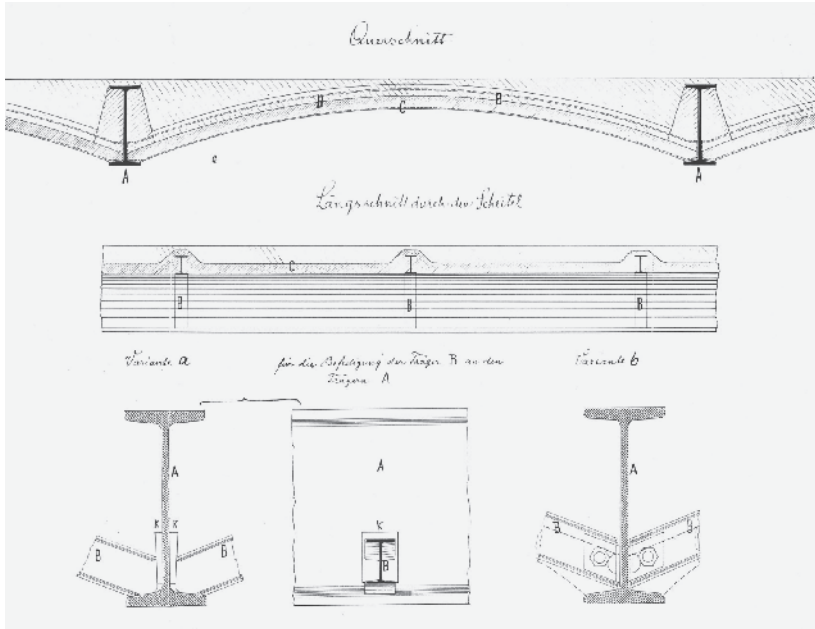


Figura 11 – Brevetto per l'Europa N. 42/3211 del prof. Joseph Melan (1892), riferibile come la «realizzazione di soffitti con collegamento di travi in ferro con volte in calcestruzzo»: dall'alto, sezione trasversale del sistema, sezione longitudinale su una generatrice, particolare del collegamento tra le travi di orditura e gli archi in ferro.

un sistema di voltine in cemento incastrate nelle travi a doppia T in ghisa e guidate da archi in ferro, ulteriormente rivestite in calcestruzzo. Il brevetto, depositato nel 1892 in Europa e nel 1893 negli Stati Uniti, si poneva l'obiettivo di alleggerire le strutture voltate in conglomerato cementizio ricorrendo ad armature reticolari a profilati in ferro, il che permetteva una maggiore aderenza tra gli elementi metallici stessi ed il calcestruzzo (Figura 11).

Il sistema Melan, dunque, nacque specificamente per un'applicazione edilizia, e solo successivamente fu applicato alla costruzione di ponti. Grazie all'elevata capacità di carico, superiore a quella assicurata dal sistema

trentatreenne, divenne professore di Meccanica Strutturale e di Statica Grafica a Brno; dal 1902 al 1923 fu professore di Costruzione di Ponti all'Università Tecnica Tedesca in Praga. Lo sviluppo del sistema omonimo avvenne in collaborazione con l'Associazione Austriaca degli Ingegneri e degli Architetti (ÖIAV), nella quale il primo comitato per archi, solai e volte si occupò dei relativi test a partire dal 1893.

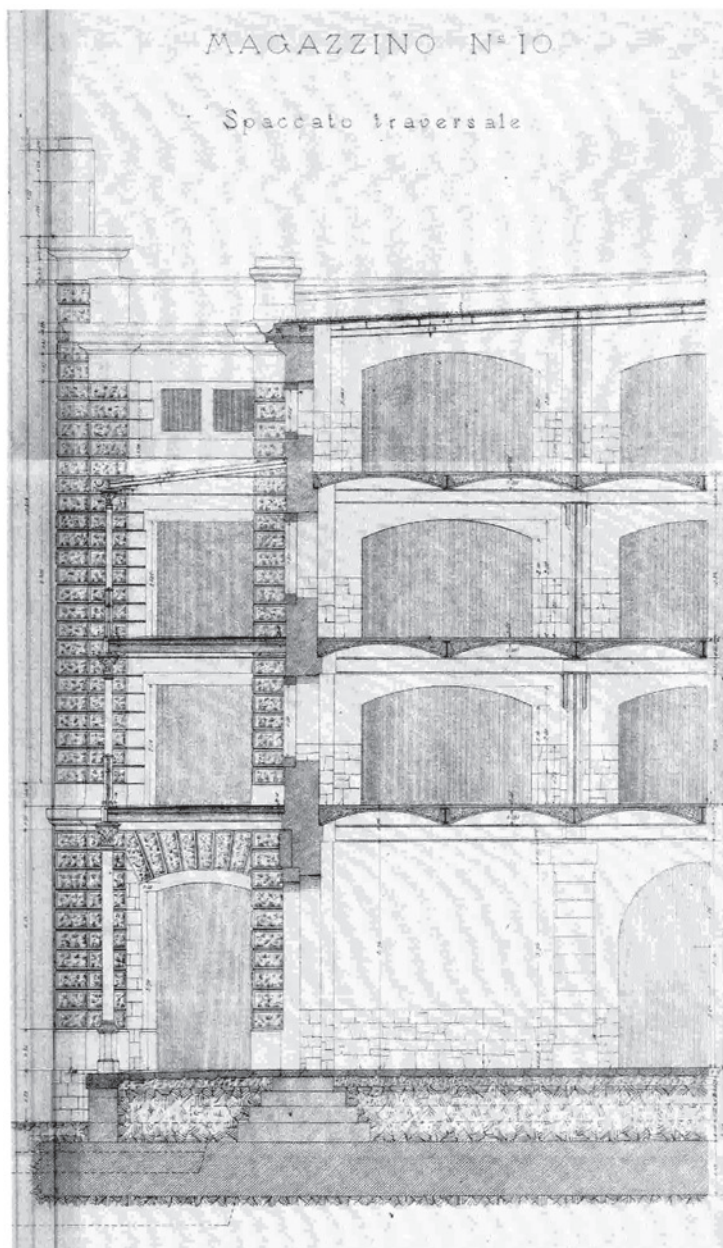


Figura 12 – Spaccato trasversale del Magazzino n. 10, a firma dell’Impresa di costruzione Geiringer, data 20 settembre 1892 in revisione del progetto, fonte dell’elaborato Archivio Storico dell’Autorità Portuale di Trieste.

Monier, il sistema fu prevalentemente impiegato proprio per la realizzazione di solai portanti¹⁷. Nella documentazione di deposito del brevetto, Melan scrive che

L'essenza nella costruzione del solaio [...] consiste nella combinazione di archi in ferro e di volte in cemento, queste ultime opportunamente rinforzate. Questo rinforzo è particolarmente importante in presenza di un carico non uniformemente distribuito sul solaio che generi sollecitazioni di trazione. [...] Le nervature ad arco consentono un comodo fissaggio alle alette della cassaforma per il getto delle volte in cemento, dimodoché la casseatura risulta del tutto non necessaria, anche su luci maggiori. [...]

Joseph Melan conferì la licenza per la commercializzazione del brevetto in Germania e nell'Impero Austroungarico al produttore industriale Viktor Brausewetter, con cui collaborava già dal 1892 nell'applicazione del sistema a edifici civili e, successivamente, a ponti. Dal 1894, la compagnia *Pittel & Brausewetter* si occupò della realizzazione, in applicazione del sistema Melan, di oltre 100.000 m² di solai in fabbriche e magazzini, oltre alla costruzione di tre ponti stradali in Boemia.

La notevole diffusione nel periodo 1900-1920 è riconducibile all'autoportanza della struttura che non richiedeva l'approntamento di opere provvisorie durante la realizzazione, che diventò un fattore apprezzato più dell'elevata capacità di carico in quanto consentiva una drastica riduzione dei tempi di cantiere. Il sistema Melan si diffuse soprattutto negli Stati Uniti, mercato nel quale esso soppiantò il sistema Monier nella costruzione di ponti stradali¹⁸; in Europa, la maggiore diffusione si ebbe in Spagna, in accordo con una variazione al brevetto originale denominata sistema Ribera¹⁹.

L'applicazione di questo brevetto non fu però integrale, ma caratterizzata dalle modifiche in opera apportate dall'ing. Geiringer. In particolare l'impresa *Geiringer & Vallon*, nella realizzazione dei Magazzini n. 10 e n. 20 a partire dal 1890, pur adottando la tecnologia del sistema Melan ne apporla, a firma dell'ing. Geiringer, una sostanziale variante: pur permanendo l'orditura principale in travi di ferro, l'intradosso delle voltine è con tutta probabilità prefabbricato a piè d'opera e ingloba già a quel momento l'orditura secondaria (*Figura 12*).

¹⁷ Holger EGGEMANN, Karl-Eugen KURRER, *On the International Propagation...*, op. cit., p. 518.

¹⁸ *Ibidem*.

¹⁹ L'ingegnere José Eugenio Ribera era possessore della licenza per il mercato spagnolo del sistema Hennebique e, per l'appunto, propose nel 1902 una variazione al sistema Melan con rinforzo rigido, principalmente applicato alla costruzione di ponti ad arco in cemento armato (oltre 300 realizzati nel periodo 1902-1935).



Figura 13 – Primo solaio dell’Hangar n. 9: sono ben visibili le voltine in cemento armato incastrate in travi in ghisa con profilo a doppio T rivestite in calcestruzzo.

Una volta poste in opera le voltine, l’armatura principale è foderata con un manto in calcestruzzo²⁰ (*Figura 13*). Tale realizzazione consiste nella sperimentazione degli *Einbetonierte Eisensaeulen*, ossia pilastri in ferro anegati nel calcestruzzo, prospettato dal Politecnico viennese con l’impiego della Terra di Santorini; si tratta di schemi tipici del sistema Fritz von Emperger.

Il sistema Fritz von Emperger

I magazzini edificati all’alba del nuovo secolo, come ad esempio il Magazzino n. 4 – iniziato nel 1906, soggetto a sopraelevazione nel 1908-1909 ed avente funzione di stoccaggio delle merci – furono realizzati seguendo una tecnica mista: le strutture portanti in materiale lapideo erano completate da strutture orizzontali tessute secondo il brevetto ideato dall’ingegnere

²⁰ Marco POZZETTO, *Strutture portuali triestine...*, op. cit., p. 74.

e professore boemo Friedrich Ignaz (Fritz) von Emperger (1862-1942) del Politecnico di Vienna²¹. Questo Magazzino risulta la precisa applicazione di tale metodo, nel quale sono previsti pilastri in ferro annegati nel conglomerato²². Tale era la caratteristica connotante del sistema secondo lo stesso Fritz von Emperger che, nella sua *Relazione sullo stato attuale delle costruzioni in cemento armato* al VIII Congresso Internazionale degli Architetti a Vienna (1909), dichiara:

Sono prove fatte con colonne e travate [messe a disposizione] da tre ditte che allora a Vienna s'occupavano di cemento armato – Ed. Ast. & Co., Pittel & Brausewetter, G.A. Wayss & Co. – nel 1901. I lavori [...] furono da me completati con una serie di colonne in ferro foderate con calcestruzzo. [...] Ritengo di molta importanza di essermi riuscito a dimostrare con queste prove che il carico di rottura di una colonna in cemento armato, come quello di una colonna di ferro rivestita di calcestruzzo si può stabilire [...] del tutto indipendentemente dai coefficienti di elasticità dei materiali. I pezzi di colonna esposti [...] servono più per l'istruzione intuitiva che ci dimostra l'evidenza di questa addizione delle resistenze dei due materiali.

Fritz von Emperger aveva già esposto i suoi studi su colonne e solai all'Esposizione di Parigi del 1900; questi ultimi a quell'epoca venivano applicati da imprese dell'area viennese, tra cui la società *Ed. Ast & Co.* che operava a Trieste nell'ambito delle costruzioni industriali²³.

Tra i sistemi ad armatura doppia, questo sistema si connota per l'impiego di profili sagomati in ferro, in luogo delle barre di armatura a sezione circolare. Nella concezione originaria, il sistema consiste di una lastra nervata sagomata a voltine in cui le putrelle sono collegate per mezzo di barre; una variante del sistema prevede la sagomatura delle putrelle con nervature superiori atte a fornire resistenza a compressione (*Figura 14*).

Nel Magazzino n. 4 la portanza assicurata ai solai è pari a 1800 kg/m² al piano terra e 1200 kg/m² ai cinque livelli superiori. Il calcolo del carico ultimo dei pilastri in ferro, immersi in una camicia di cemento Portland, considera che la resistenza a compressione e flessione dei pilastri stessi sia offerta dalla somma delle prestazioni offerte dai due materiali, senza dipendere dal modulo di elasticità. La struttura portante in elevazione si potrebbe configu-

²¹ Fritz von Emperger ebbe inoltre un ruolo di primo piano nella diffusione dell'uso del sistema Melan nel mercato statunitense, successo che lo stesso Emperger documentò nel *Giornale dell'Associazione Austriaca degli Ingegneri e degli Architetti (ÖIAV)* in un contributo del 1895 «Betonbrücken, 'System Melan' in Nordamerika».

²² Marco POZZETTO, *Cemento armato...*, op. cit., p. 419.

²³ AUTORITÀ PORTUALE DI TRIESTE, *Il Porto di Trieste*, op. cit., p. 191.

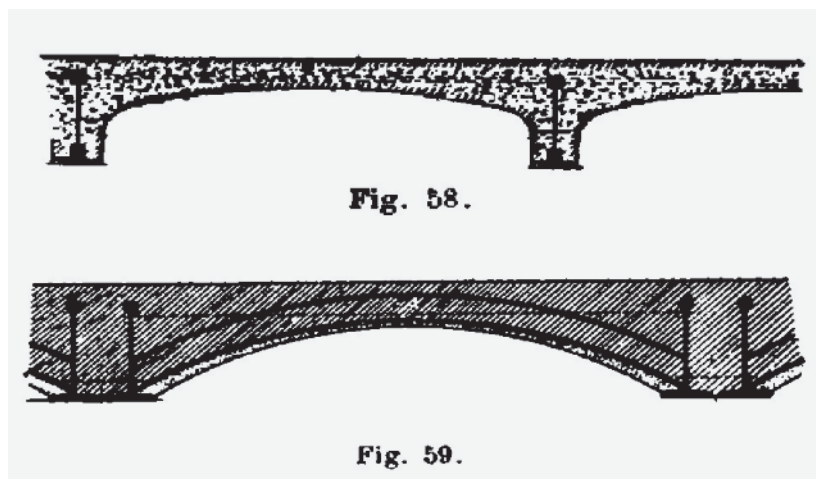


Figura 14 – Schematizzazione dei sistemi strutturali proposti da Fritz von Emperger. Immagini tratte da P. Christophe, *Le béton armé et ses applications*, op. cit., p. 43.

rare quindi come composita in acciaio-calcestruzzo, piuttosto che cemento armato (Figura 15).

La struttura portante è integrata dal largo impiego di travi in ferro a sostegno dei ballatoi presenti sui fronti principali, paralleli alla linea di banchina.

Simili per geometria e struttura sono i magazzini 2 e 2A (Figura 16, Figura 17). Il primo, destinato allo stoccaggio del caffè, è una realizzazione dell'impresa di costruzioni *Pittel & Brausewetter*²⁴. Il magazzino 2A fu invece oggetto di sopraelevazione a partire dal 1926: la costruzione dell'imponente volumetria era stata interrotta dalle vicende della Prima Guerra Mondiale, che aveva visto erigersi sulle fondazioni e scantinati, risalenti al 1907, un modesto edificio ad un solo livello, in vece del volume originariamente previsto su cinque piani e cantina. Tale condizione vincolò la geometria strutturale definitiva del Magazzino al carico massimo di circa

²⁴ L'imprenditore boemo Adolph von Pittel (1838-1900) aveva iniziato la produzione di cemento a Weissenbach and der Triesting, nella Bassa Austria, già dal 1870, tre anni dopo il deposito del primo brevetto di Joseph Monier. Con la collaborazione dell'ingegnere Viktor Brausewetter (1845-1926), originario della Prussia Orientale, fondò la società che si occupò dello sviluppo ed applicazione di brevetti del cemento armato, collaborando con gli architetti Adolf Loos e Karl Mayreder. La società *Pittel+Brausewetter* risulta attiva ancora oggi con sede principale a Vienna.

140.000 kg per pilastro a livello delle cantine.

L'appalto per la fornitura delle costruzioni in ferro fu appannaggio della ditta *Waagner, Birò & Wurz* per tutti i Magazzini realizzati con il sistema Fritz von Emperger²⁵; il Magazzino n. 4 vide la partecipazione delle imprese triestine *Buttoraz & Ziffer* per le opere murarie e *Janesch & Schnell Bauleitung* per gli orizzontamenti e i solai. Ogni ditta doveva ottemperare alle prescrizioni tecniche prestabilite; detto ciò, poteva impiegare sistemi di propria elaborazione oppure riferirsi a metodi di calcolo diversi, perseguendo un approccio di ottimizzazione tecnica ed economica in assenza di una normativa specifica e a protezione delle proprie tecniche di realizzazione²⁶.

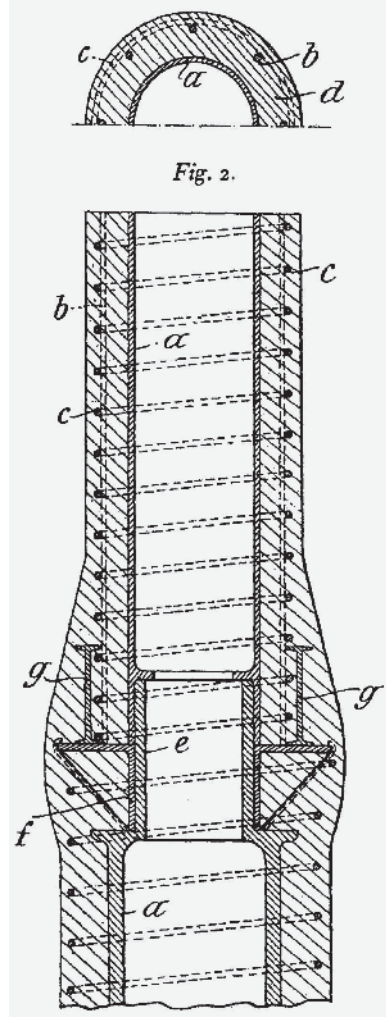


Figura 15 – Brevetto N. 291068 di Fritz von Emperger (1911) per colonne in ghisa inglobate in conglomerato cementizio con armature circolari.

²⁵ Il commerciante austriaco Rudolf Waagner (1827-1888) aveva fondato la propria azienda nel 1854 a Vienna come piccola casa commerciale di ferramenta, avvalendosi della collaborazione del fabbro Anton Birò (1820-1882). A partire dal 1880, la società orientò il proprio target di mercato nella costruzione di ponti in acciaio; inoltre, tra il 1888 e il 1896 fu attiva nell'Impero Ottomano (a Sofia e a Istanbul) nella realizzazione di manufatti in ferro. Come la società *Pittel+Brausewetter*, un ramo della società *Waagner-Birò* è attivo ancora oggi, anch'essa con quartier generale a Vienna.

²⁶ Massimo CHILLON, Alberto DE GÖTZEN, *Ingegneri, imprenditori e tecniche costruttive*, op. cit., p. 218.

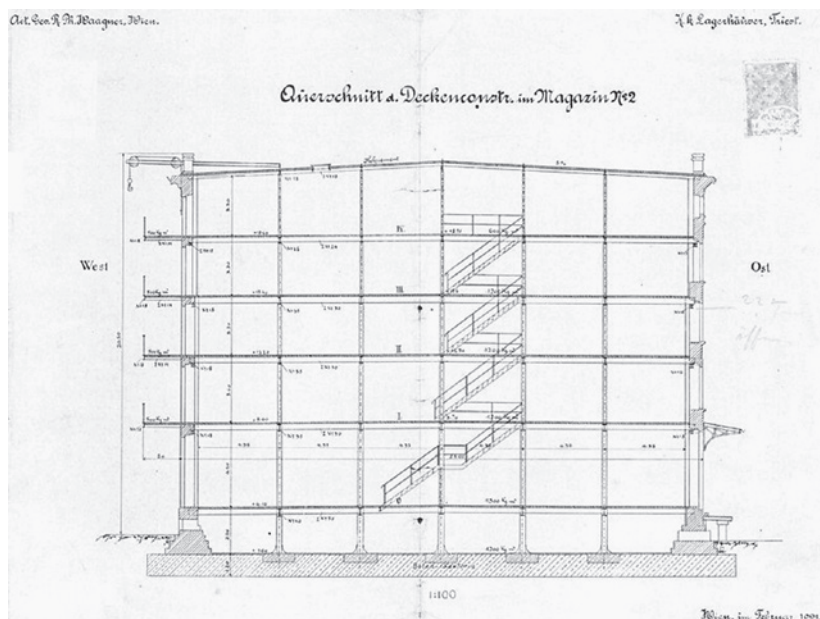


Figura 16 – Sezione del Magazzino n. 2, tracciata nel 1891. Fonte Archivio Storico dell’Autorità Portuale di Trieste, adattamento da cianografia originale.

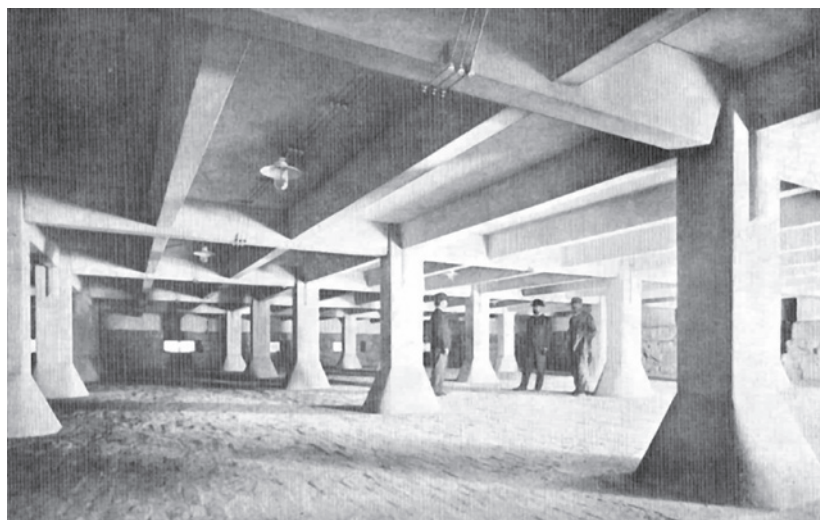


Figura 17 – Vista interna delle cantine del Magazzino n. 2 (*Kafeemagazin*), fonte Archivio Storico dell’Autorità Portuale). La tessitura dei pilastri evidenzia chiaramente l’adozione di pilastri in ferro incamiciati in conglomerato, con allargamento graduale alla base per la riduzione degli effetti di punzonamento.

Conclusioni

Il Magazzino n. 4, con la capacità portante dei solai offerta dal sistema Fritz von Emperger – pari a 1800 kg/m² al piano terra, 1200 kg/m² ai livelli superiori, addirittura 800 kg/m² per gallerie e ballatoi esterni – apre una riflessione conclusiva sul ruolo futuro attribuibile a questo patrimonio. Si parla di prestazioni assolutamente eccezionali per un fabbricato storico che, pur ricorrendo a congrui fattori di confidenza, assicurano una amplissima flessibilità – perlomeno in termini di sicurezza strutturale – ed aprono ad una molteplicità di destinazioni d'uso che questi fabbricati possono accogliere.

Certamente le vicende peculiari che hanno riguardato i singoli fabbricati – azioni di ristrutturazione e modifica del layout funzionale, danneggiamenti bellici, durata del periodo di inutilizzo – da un alto, dall'altro la mancanza di dettagli relativi alle soluzioni originari e alcune localizzate carenze documentali richiedono la verifica della funzionalità dei sistemi strutturali: il riuso non è mai privo di difficoltà di adeguamento. Tuttavia, l'insicurezza relativa alla reale capacità portante di una struttura che ha funzionato appropriatamente per decenni non costituisce una ragion sufficiente per una sua radicale trasformazione o per una sua integrale rimozione: quest'ultima determinerebbe il mantenimento di facciate storiche a celare un edificio essenzialmente nuovo per concezione, distribuzione, tecnologia e comportamento²⁷.

Gli orizzontamenti dei *Lagerhäuser* possiedono prestazioni di resistenza al fuoco e capacità portante sotto carico d'incendio non incompatibili con gli standard odierni: ciò soprattutto tenendo conto dei nuovi approcci prestazionali alla sicurezza contro l'incendio, nei quali la resistenza al fuoco risulta come una misura da garantire nell'ambito di una più ampia strategia, in cui le singole misure possono compensarsi mutuamente. In entrambi gli ambiti di sicurezza, statica e contro l'incendio, il riuso può richiedere l'apposizione di strati aggiuntivi o nuovi elementi di ancoraggio alle strutture verticali.

Il Porto Vecchio è un'opera complessa che, considerate la natura dei problemi tecnici e logistici affrontati, la magnitudine dei lavori eseguiti, la volumetria delle masse movimentate e delle risorse impiegate, si caratterizza come la prima grande opera della Trieste moderna e, in quanto tale, con i suoi

²⁷ A partire dagli Anni Settanta, e con particolare intensità negli Anni Novanta, il Porto Vecchio è stato oggetto di verse proposte a scala urbanistica e edilizia per un riuso, almeno parziale degli edifici. Si citano, a tal proposito, la proposta di K. Tange (1971), la proposta di G. Canella (1974), il Progetto Bonifica (1990), il Progetto Polis (1991), il Progetto Tergeste (1995), la proposta di Associazione Trieste Futura (1997), la proposta TriestExpo (1999), la proposta di S. Boeri *et al.* (2001).

contenuti, una testimonianza di un'epoca storica per alcuni aspetti pionieristica. I suoi *Lagerhäuser*, un patrimonio che preserva – vetusto, ma pressoché intatto – il proprio fascino architettonico e tecnologico che Marco Pozzetto definì «libro aperto di storia dello sviluppo del calcestruzzo armato»²⁸, costituiscono una miniera preziosa di dati per coloro che svolgono attività di ricerca nella Storia delle Tecniche Architettoniche e nella Storia delle Tecnologie, la cui importanza non deve essere in alcun modo trascurata o sottovalutata conferendo nuove, compatibili, destinazioni d'uso ai Lagerhäuser.

²⁸ Marco POZZETTO, *Cemento armato...*, op. cit., p. 426.

BIBLIOGRAFIA

- Gustav Adolf WAYSS, *Das System Monier. Eisengrippe mit Cementumhüllung in seiner Anwendung auf das Gesammte Bauwesen*, Berlino 1887.
- Karl MUCK, *Über dien Bau der neuen Lägerhauser in Triest*, in «Allgemeine Bauzeitung für den öffentlichen Baudienst», n. 56 (1891), pp. 53-54, 62-64, 67-71.
- Paul CHRISTOPHE, *Le béton armé et ses applications*, Parigi, 1899.
- Marco POZZETTO, *Cemento armato, materiale nuovo nella scuola di O. Wagner*, in «Industria Italiana del Cemento», n. 8 (1981), pp. 417-434.
- Marco POZZETTO, *Strutture portuali triestine nella storia delle tecniche architettoniche*, in Antonella CAROLI, *Punto Franco Vecchio. Tecnologie, sistemi costruttivi, opere professionali e normativa nel Porto di Trieste*, Trieste 1996, pp. 73-75.
- Tullia IORI, *Il ruolo dei brevetti d'invenzione nella storia del cemento armato*, Atti del Primo Convegno Nazionale do.co.mo.mo. Italia «Architettura moderna in Italia. Documentazione e conservazione» (Roma, 21-23 gennaio 1998), a cura di Mariastella CASCIATO, Stefania MORNATI, Sergio PORETTI, Roma 1999, pp. 155-164.
- AUTORITÀ PORTUALE DI TRIESTE, *Il Porto di Trieste. Cronaca e storia delle costruzioni portuali*, Trieste 2002.
- Massimo CHILLON, Alberto DE GÖTZEN, *Ingegneri, imprenditori e tecniche costruttive*, in Antonella CAROLI (a cura di), *Trieste e Amburgo: mito e realtà delle città porto*, Celebrazione del Cinquantenario di Italia Nostra Trieste, Trieste 2005, pp. 207-255.
- Donald FRIEDMAN, *Analysis of archaic fireproof floor systems*, in Dina D'AYALA, Enrico FODDE (a cura di), *Structural Analysis of Historic Construction: Preserving Safety and Significance*, Londra 2008, pp. 129-136.
- Holger EGGEMANN, Karl-Eugen KURRER, *On the International Propagation of the Melan Arch System since 1892*, Atti del Terzo Congresso Internazionale sulla Storia delle Costruzioni (Cottbus, 20-24 maggio 2009), Cottbus 2009, pp. 517-526.
- Diana BARILLARI, *Porto Vecchio a Trieste: storia, architettura e tecnica*, in «Archeografo Triestino», serie IV, vol. LXXVI (2016), pp. 161-188.
- Zeno SARACINO, *Trieste Asburgica: l'arte al servizio dell'industria*, Trieste, 2018.

