

# Textile mills in Friuli (XIX-XX century). Building technique analysis and seismic refurbishment

Giorgio Croatto, Angelo Bertolazzi\*, Umberto Turrini

---

## Highlights

The paper analyzes the building techniques used in the Friulian textile industry buildings (XIX and XX century), identifying the most reversible technological solutions, to improve the behaviour of the buildings in the event of an earthquake. This led to identify criteria and guidelines to be applied to all the interventions meant to prevent seismic risks, assessing within new cultural coordinates the problem of the relation between the built environment sites to be safeguarded and the present-day requirements to be met, i.e. the preservation as well as economic sustainability.

---

## Abstract

The conservation of industrial architectures and the refurbishment project, must take into account the growing attention to the seismic risk of the built heritage, which the recent events of central Italy have made dramatically current. The different constructive nature and structural behavior of industrial buildings, impose a different approach, combining the new functional needs - and therefore the safety of the building - with its conservation as a testimony for future generations. The work focuses the Friulian textile industry buildings (XIX and XX century), studying their constructive techniques and identifying some guidelines for the refurbishment.

---

## Keywords

Industrial architectures, Seismic risk, Construction techniques, Refurbishment, Reversibility

---

## 1. INTRODUCTION

For about thirty years industrial buildings have been regarded as belonging to a country's cultural heritage. Their versatility allows them to be suitable for new uses, which – together with their role as landmarks in modern culture – has made their refurbishment viable wherever interventions have proved vastly more feasible than in pre-industrial buildings.

In the past few years, refurbishment buildings belonging to industrial archaeology [1] has therefore taken on both a national and international relevance, both from a theoretical point of view and project-related practice. Studies have underlined the cultural role of such inherited buildings as evidence of the social, economic and material transformations underlying contemporary society [2]; moreover, refurbishment projects have emphasized

### Giorgio Croatto

DICEA - Dipartimento di  
ingegneria Civile edile ed  
Ambientale, Università degli  
Studi di Padova, via F. Marzolo,  
Padova, 35131, Italia

### Angelo Bertolazzi

DICEA - Dipartimento di  
ingegneria Civile edile ed  
Ambientale, Università degli  
Studi di Padova, via F. Marzolo,  
Padova, 35131, Italia

### Umberto Turrini

DICEA - Dipartimento di  
ingegneria Civile edile ed  
Ambientale, Università degli  
Studi di Padova, via F. Marzolo,  
Padova, 35131, Italia

\* Corresponding author  
Tel.: +39-0498275483;  
Fax: +39-0498275483;  
e-mail: angelo.bertolazzi@unipd.it

the potentials of abandoned industrial sites, making their refurbishment profitable from several points of view [3]. In particular, it has proved to be economically rewarding to involve in the project both old retrieved and newly-built buildings [4], so that their life-span can be extended [5]. This may lead to better environmental sustainability [6], not only limiting demolition waste materials and reducing CO2 emissions, but also getting land reclamation under way and curbing soil consumption [7].

Knowing construction-related aspects, the materials and laying down techniques is the starting point of any refurbishment project [8]. In particular, the hybrid character of industrial archaeology deriving from the presence of modern materials (such as cast iron or reinforced concrete) coupled to traditional ones (mainly brick and wood) requires a purposely-devised inquiry into the building systems and the materials and how they will interact should an earthquake occur. From this point of view, the Umbria and Marche (1997), Abruzzo (2009), Emilia (2012) and Lazio (2016) earthquakes have underlined not only how vulnerable our Country's monuments and historical centers are, but also how necessary it is upgrade our boundless cultural heritage so as to enforce seismic risk measures that will be applied also to industrial archaeology, by which we mean both not yet retrieved buildings and the newly-used but not yet upgraded ones [9].

The paper aims to analyses buildings considering their several components – related to materials, to construction and to structure – focusing on textile mills set up in Friuli between late XIX and early XX centuries. Such analysis has been the instrument leading to laying down criteria and guidelines underlying refurbishment and reuse interventions of our wealth of industrial archaeology in Friuli; they will allow to take on new roles in perfect safety, totally preserving the historical value of the buildings, with particular regard to the economic sustainability of the intervention. The case study proves relevant as far as seismic prevention is concerned, since Friuli is not only a high-risk area – sorely struck by the 1976 earthquake – but has also been in the forefront in passing a bill aimed to retrieve and upgrade its industrial archaeology heritage [10].

## 2. TEXTILE INDUSTRY IN FRIULI: DEVELOPMENT AND REFURBISHMENT

Within the framework of industrial development in Friuli, the main role has been played by the textile industry, as far as both production and architectural relevance are concerned [11]. Its development dates back to the 1850s, when even this area saw the step change from craft to industrial production,

### 1. INTRODUZIONE

*Da circa trent'anni le architetture industriali sono state accettate come parte del patrimonio culturale [1]. La loro versatilità nell'ospitare nuove funzioni e il riconoscimento del valore identitario per la cultura moderna, hanno consentito di avviare un processo di riqualificazione e riuso, dove le possibilità di intervento si sono rivelate maggiori rispetto a quelle offerte dall'edilizia preindustriale.*

*Il recupero degli edifici industriali ha assunto da anni una rilevanza a livello nazionale ed internazionale, sia dal punto di vista teorico che nella pratica progettuale. Il dibattito ha sottolineato l'importanza culturale di questo patrimonio costruito quale testimonianza delle trasformazioni sociali, economiche e materiali che sono alla base della società contemporanea [2], mentre il progetto di recupero ha esaltato le potenzialità degli spazi industriali dismessi, rendendo conveniente il loro riuso da diversi punti di vista [3]. La convenienza economica è emersa in particolare dalla possibilità di coinvolgere nel progetto sia il recupero che la nuova edificazione [4], estendendo quindi il ciclo di vita utile dell'edificio [5]. Questo può avere positive ricadute sulla sostenibilità ambientale [6], non solo limitando lo smaltimento dei materiali provenienti dalla demolizione, avviando azioni di bonifica del terreno e contenendo il consumo del suolo [7].*

*La conoscenza degli aspetti costruttivi, dei materiali e delle tecniche di posa è il punto di partenza per ogni progetto di recupero [8]. Nel caso specifico dell'archeologia industriale il carattere 'ibrido' dettato dalla presenza di materiali 'moderni' (come la ghisa o il calcestruzzo armato) accoppiato con quelli tradizionali (principalmente laterizi e legno) impone un'indagine specifica dei sistemi costruttivi e dei materiali e della loro interazione nel caso di evento sismico. Da questo punto di vista i terremoti in Umbria e Marche (1997), Abruzzo (2009), Emilia (2012) e Lazio (2016) hanno evidenziato la necessità di aprire alle tematiche di prevenzione dal rischio sismico un patrimonio culturale a trecento sessanta gradi, che comprenda anche l'archeologia industriale, sia gli edifici ancora da recuperare, sia quelli già riutilizzati, da adeguare [9].*

*L'obiettivo del paper è l'analisi dell'organismo edilizio nelle sue diverse componenti – materiale, costruttiva e strutturale – relativamente alle filande realizzate in Friuli tra la fine del XIX secolo e gli inizi del XX secolo. Tale analisi ha costituito lo strumento per individuare criteri e linee guida per interventi di recupero e riuso del patrimonio di archeologia industriale del Friuli, che consentano l'esercizio delle nuove funzioni in piena sicurezza nel pieno rispetto del valore storico dell'edificio, con un'attenzione particolare alla sostenibilità economica dell'intervento. Il caso studio risulta interessante in relazione alla prevenzione del rischio sismico in quanto il Friuli, non solo è una Regione ad alto rischio, duramente provata dal sisma del 1976, ma è stata anche una delle prime che ha varato una legge per il recupero*

featuring serial, mostly machine-produced. This change is typical of the Second Industrial Revolution and involved several areas of production. Even as far as textile industry is concerned, such transformation was enacted by entrepreneurial bourgeoisie that – seizing the opportunities of making money it afforded – invested large capitals, so furthering the development of industrial production. The change entailed the need to set up new buildings, especially for cotton textiles, which required purposely-meant, planned for industrial production buildings; on the other hand, silk goods were often produced in rural existing buildings.



Figure 1. a) Aerial view of Makò mill (Cordenons); b) View of Cotonificio Veneziano mill (Torre di Pordenone)

Towards the end of the XIX century, the increase in capitals and investments in the Friuli textile industry led to defining a new industrial architecture, meant to achieve mass-production at the lowest possible cost and in the quickest possible time: spaces were planned rationally in order to optimize production times, while buildings were increasingly economic and fire-resistant, so as to guarantee continuous production [12]. To this phase, between 1840 and 1901, belong the great cotton mills: Beloz and Blanch at Torre di Pordenone (1840), Rorai (1846), the large Amman and Wepfer cotton mill at Borgo Meduna (1875), the Società Anonima Cotonificio Udinese at Comor (1884), followed by the Ancona mill (1888), the Morganti mill at Gemona (1900) and finally the last mill, Mako`at Cordenons (1902).

The Friuli cotton mills reveal an underlying problem that they share with industrial archaeology and is related to the refurbishment project. In spite of their acknowledged cultural value as evidence of the social and economic transformations between the XIX and XX centuries, whose effects are still felt today, the refurbishment of the industrial heritage proves still difficult. Beside environmental problems (toxic waste disposal, cleansing soil and water) and achieving new functions (finding activities capable of making the intervention economically sustainable while preserving the features of the

e la valorizzazione patrimonio di archeologia industriale [10].

## 2. L'INDUSTRIA TESSILE FRIULANA: SVILUPPO E RECUPERO

*Nell'ambito dello sviluppo industriale del Friuli, il settore tessile è quello che ha svolto un ruolo fondamentale, sia dal punto di vista produttivo che da quello architettonico [11]. Le origini di tale sviluppo risalgono alla metà dell'800, quando si manifestò il passaggio da una produzione di tipo artigianale ad una di tipo industriale, caratterizzata da una lavorazione seriale aiutata da macchine. Nell'industria tessile questa*

*trasformazione è stata promossa dalla borghesia imprenditoriale, che, cogliendo le possibilità di profitto da questa attività, investì ingenti capitali agevolando così la trasformazione dalla produzione artigianale a quella industriale. Questo comportò la necessità di predisporre edifici specializzati per la lavorazione, in particolare quella del cotone, per la quale erano necessari nuovi tipi edilizi specificatamente progettati e costruiti con la destinazione d'uso di edificio produttivo, a differenza invece di quelli rivolti alla lavorazione della seta che risultavano spesso l'adattamento di altri edifici rurali esistenti, come cascine o barchesse.*

*L'aumento dei capitali e degli investimenti nell'industria tessile friulana favorì, verso la fine dell'800 alla definizione di una nuova architettura industriale, che doveva rispondere con il minor costo possibile e nel minor tempo possibile a grandi esigenze produttive, i cui spazi erano progettati in maniera razionale per ottimizzare i tempi della produzione, mentre la costruzione era sempre più economica e resistente agli incendi, quale garanzia per la continuità produttiva [12]. A questa fase, compresa tra il 1840 e il 1901, risale la costruzione dei grandi cotonifici: lo stabilimento Beloz e Blanch a Torre di Pordenone (1840), quello di Rorai (1846), il grande cotonificio Amman e Wepfer a Borgo Meduna (1875), quello della Società Anonima Cotonificio Udinese a Comor, (1884) seguito da un altro ad Ancona (1888), da quello Morganti a Gemona (1900) ed infine l'ultimo stabilimento, il*

building), existing structures must be upgraded so as to suit their new roles and particular attention will be paid to their seismic resistance.

Earthquakes may destroy XIX and early XX centuries industrial buildings. Their hybrid nature, flimsy internal structures, the transformations they have undergone make refurbishment and refurbishment difficult and may lead to drastic interventions, even to substituting original construction elements with new systems.

On the contrary, a refurbishment project must as far as possible preserve architectural elements, structures and original materials unchanged, though refurbishment or improving them so as to withstand earthquakes. In order to achieve this, guaranteeing the preservation of existing buildings with a view to economic sustainability, it is necessary to reconsider industrial buildings from a construction-related point of view (materials and techniques) bearing in mind their seismic vulnerability – as it has been done for both monumental and common pre-industrial buildings - in order to lay down a sustainable and reversible refurbishment project.

### 3. FROM HANDBOOKS TO BUILDINGS: MATERIALS, TECHNIQUES AND TYPOLOGIES

Knowing material and construction-related features is the starting point of any refurbishment project. As far as industrial archaeology is concerned, its hybrid nature caused by the presence of modern materials (such as cast iron and reinforced concrete) side by side with traditional materials (mainly brick and wood) requires a specific assessment of construction systems, of materials and of their related behavior should an earthquake occur.

Comparing the analyses of the handbooks with the results of the case studies, it is possible to trace two main – chronologically well identified – types of buildings [13].

At first – up to the 1850s – the buildings had a rectangular plan, two or sometimes three floors above ground and their basic construction elements were: a metal internal weight-bearing structure (mainly cast iron columns), wooden floors and masonry (brick or stone-chips) perimeter walls. The construction systems and materials used in these early buildings were low-cost and their fire-resistance was scanty; in the textile industry the greatest danger was caused by the oils seeping through the wooden floors and by the large amounts of either raw or finished cotton within the buildings [14].

From the 1850s onwards, the investment of sizable capitals in the Friuli textile industry caused (as elsewhere in Europe) a quick transformation of work places both from a typological and construction-related point of view [15].

*Makò a Cordenons (1902).*

*I cotonifici del Friuli evidenziano una problematica di fondo, comune a tutta l'archeologia industriale, relativa al progetto di recupero. Nonostante il riconosciuto valore culturale quale testimonianza delle trasformazioni sociali ed economiche tra '800 e '900, il recupero del patrimonio industriale risulta ancora difficoltoso. A problematiche di natura ambientale (smaltimento di sostanze tossiche, bonifica dei terreni e delle acque) e di rifunzionalizzazione (individuazione di attività che rendano economicamente sostenibile l'intervento nel rispetto del manufatto) si sono aggiunte quelle di adeguamento delle strutture esistenti alle nuove destinazioni d'uso, con particolare attenzione al rischio sismico.*

*Quest'ultimo aspetto può essere fatale alle architetture industriali dell'800 e della prima metà del '900. La natura mista della costruzione, l'esilità delle strutture interne, le trasformazioni nel tempo rendono difficile il recupero in termini di adeguamento e possono portare ad interventi pesanti, se non alla sostituzione degli elementi costruttivi originali. Un progetto di recupero dovrebbe invece consentire il più possibile il mantenimento delle invarianti architettoniche, delle strutture e degli aspetti materiali originari, anche alla luce delle nuove esigenze di adeguamento o miglioramento sismico.*

*Per fare questo, garantendo il rispetto e la conservazione dell'esistente, è necessario ristudiare gli edifici industriali dal punto di vista costruttivo (materiali e tecniche) alla luce delle problematiche sismiche – come è stato fatto per l'edilizia pre-industriale, monumentale o meno – nell'ottica di un progetto di recupero sostenibile e reversibile.*

#### 3. DAL MANUALE ALLA PRATICA: MATERIALI, TECNICHE E TIPI EDILIZI

*La conoscenza degli aspetti materiali e costruttivi è il punto di partenza per ogni progetto di recupero. Nel caso specifico dell'archeologia industriale il carattere ibrido dettato dalla presenza di materiali moderni (come la ghisa o il calce-struzzo armato) accoppiato con quelli tradizionali (principalmente laterizi e legno) impone un'indagine specifica dei sistemi costruttivi, dei materiali e della loro interazione nel caso di evento sismico.*

*Intersecando l'analisi della manualistica dell'epoca con i casi studio, è possibile individuare due tipi edilizi principali, cronologicamente ben identificati [13]. In un primo momento, fino alla metà dell'800, gli edifici avevano una pianta rettangolare, un'altezza di due o massimo tre piani fuori terra ed erano caratterizzati da due elementi fondamentali: una struttura portante interna in metallo (principalmente colonne in ghisa) solai in legno, mentre l'altra le murature perimetrali (soprattutto laterizi o pietrame). Queste prime strutture erano realizzate con sistemi costruttivi e materiali economici, il cui punto debole era la loro scarsa resistenza al fuoco, che poteva essere causato dall'impiego di olii che impregnavano i pavimenti di legno e dalle grandi*

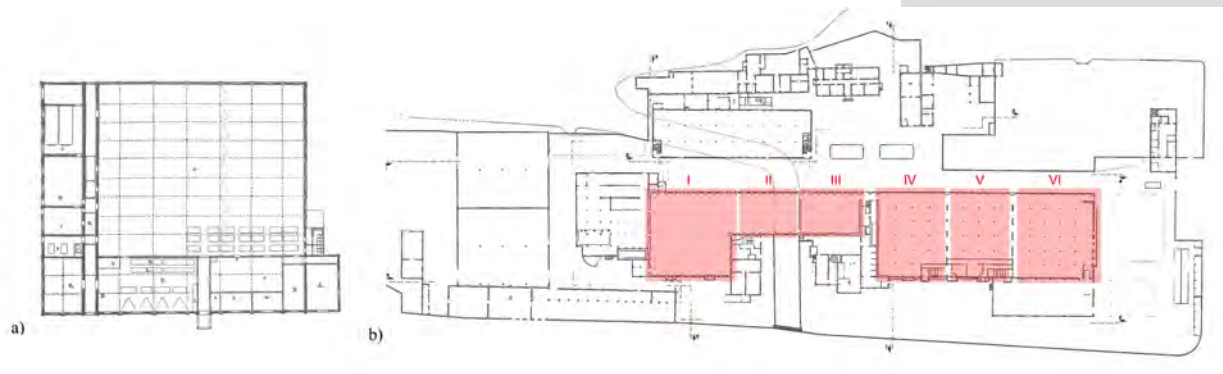


Figure 2. a) Sketch of a medium-sized cotton-weaving mill [Utz, 1911]; b) Plan of the Torre di Pordenone Cotton Mill, where the joined four-sided modules making up the mill can be seen (I-VI)

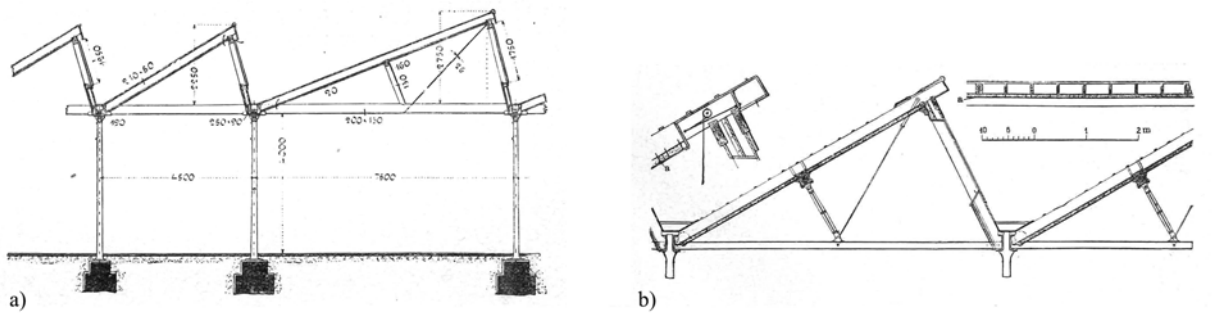


Figure 3. a) Wooden shed ceiling for textile mills, with between 4.50 and 7.50 metres high openings; b) shed ceiling with wooden joists and metal connecting rods [Utz, 1911].

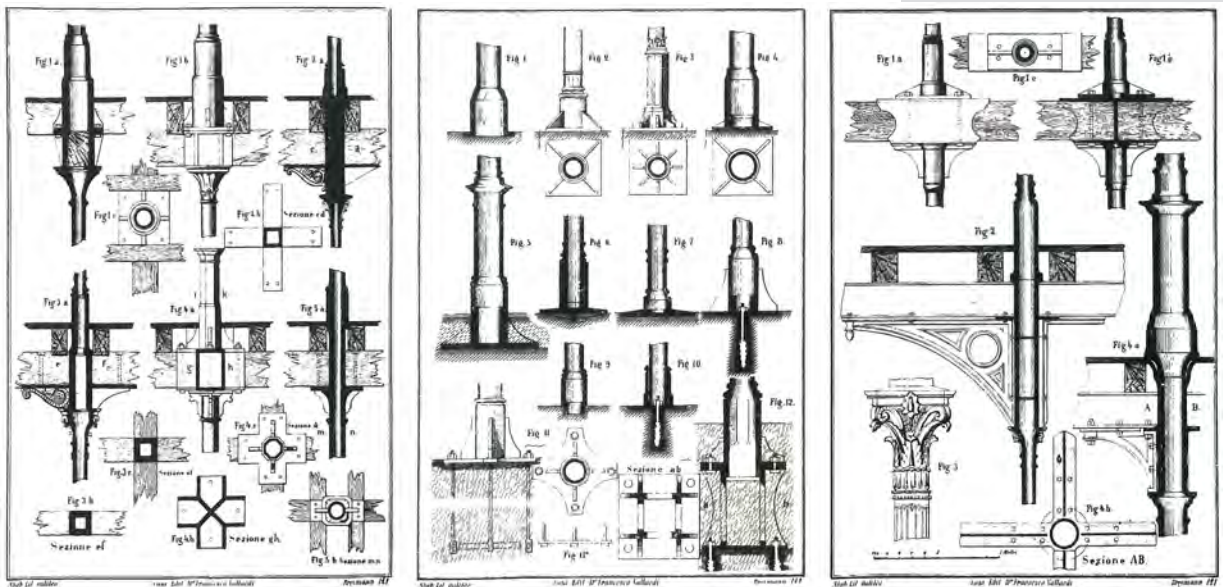


Figure 4. Cast iron columns details, [Breyman, 1884].

In this way a new industrial architecture came to be defined: it was to achieve targets of economy and efficiency even more than former industrial architecture. Though preserving the serial and repetitive features of the architectural elements, these later buildings generally had one or sometimes

quantità di cotone, grezzo o lavorato presenti nell'edificio [14].  
A partire dalla metà dell'800, l'investimento di importanti capitali nell'industria tessile friulana comportò, come nel resto d'Europa, una rapida trasformazione dei luoghi di lavoro sia dal punto di vista tipologico che costruttivo [15]. Si venne a

two floors and their layout was functional to production, with well-defined construction features [16].

One-floored buildings were advisable for industrial productions liable to develop fires, or large amounts of particulate, as in textile production. However, this implied the need to optimize spaces, making the rooms larger and better equipped according to the principle of the shortest route [17]. The typical plan – a regular rectangle – where most of the space was taken by the weaving room, with the looms were placed along regular rows [18]; on either of two of its sides there were service spaces (offices, engine rooms, conveniences, storage rooms for raw materials and finished goods). The weaving room received light from above thanks to its shed ceilings, with either wooden or metal elements, later also reinforced concrete elements.

Particular attention was paid to the placing of vertical (generally cast iron columns) structures. They constitute a typical feature of textile mills, in Friuli, as elsewhere in Europe: resorting to them, in fact, not only allowed to optimize the relation between form, material and resistance, but even a further reduction of costs, since they could be turned out through serial production.

Inside the sheds, several cast iron columns supporting the ceiling were placed at regular intervals: their positioning was not at random, being strictly dependent on the size of the mill and of the looms, as well as the kind of productive process. Comparing the case studies with the handbooks of those times, one can notice the correspondence between measurements, placing, and above all construction-related criteria. In the case study examined, this modular pattern is kept in the four-sided plan of each section: the plan develops longitudinally, owing to the functional role of each successive section. Beside the functional pattern of textile factories, another typological pattern was applied to their construction-related features, resulting from widespread employment of new materials, such as cast iron and iron [19].

The vertical structures generally consisted of cast iron columns. Their stems were hollow, generally 2.50- 3.00 m. high, 2-3 cm. thick, their sections varied between 140 and 200 mm, and had a 20-30 mm. marked thickness. Their capitals were provided with mantels where ledges were placed, while at the bases there were slabs connecting the columns to the foundation, generally consisting of a stone or concrete block, beneath the walking surface area. If the shed was higher, columns were split in two and co-axially joined by means of flanged joints secured by bolts or rivets; two-or-more-storied buildings were provided with harnesses or bridles that supported the main beams on top of which the floors were laid and with stems polished inside where the polished foot of each column was fitted and therefore held upright.

*definire così una nuova architettura industriale, che doveva rispondere, ancora di più di quella precedente, a criteri di economia ed efficienza. Gli edifici della seconda generazione, pur mantenendo la serialità e la ripetitività degli elementi costruttivi, erano sviluppati generalmente su uno o due piani al massimo, assumendo caratteristiche costruttive ben definite e conformazioni planimetriche funzionali alla produzione[16].*

*Gli edifici ad un piano erano consigliati per quelle produzioni industriali facili a sviluppare incendi o lavorazioni con grande sviluppo di particolato, come appunto quelle del settore tessile. Questo implicava tuttavia l'esigenza di ottimizzare gli spazi, ampliandoli e razionalizzandoli secondo il principio del minor cammino [17]. Lo schema planimetrico tipo era costituito da un rettangolo regolare nel quale la maggior parte dello spazio era occupato dalla sala di tessitura, che ospitava i telai su file regolari [18], e che era affiancata su due lati dagli ambienti di servizio (uffici, sala macchine, servizi, depositi per il materiale greggio e quello lavorato). L'illuminazione della sala di tessitura era garantita da coperture 'a capannone' con elementi lignei o metallici, e successivamente anche in calcestruzzo armato.*

*Particolare attenzione veniva posta nella disposizione delle strutture verticali, quasi sempre colonne in ghisa. Queste rappresentano uno degli elementi caratteristici delle filande, in Friuli, come nel resto d'Europa: il loro impiego infatti non solo permetteva l'ottimizzazione del rapporto tra materiale e resistenza, ma costituivano un elemento che era possibile fabbricare in serie, riducendone ulteriormente quindi i costi.*

*L'interno dei capannoni era caratterizzato dal posizionamento modulare di numerose colonne in ghisa che sorreggevano la copertura a shed, secondo un ordine che non era mai casuale, ma strettamente vincolato alle dimensioni dello stabilimento e delle macchine, oltre che al tipo di lavorazione. Confrontando i casi studio con la manualistica dell'epoca si può notare una corrispondenza tra le misure, gli aspetti distributivi e, soprattutto per quanto riguarda quelli costruttivi. Nei casi studio presi in esame questa modularità rimane nella configurazione planimetrica quadrilatera dei singoli reparti, la cui successione funzionale da luogo ad uno sviluppo prevalentemente longitudinale. Accanto a quella dello schema funzionale dello stabilimento tessile, esisteva anche una tipizzazione riguardante gli aspetti costruttivi, quale frutto di un'intensa sperimentazione dei nuovi materiali, come la ghisa e il ferro [19].*

*Le strutture verticali erano quasi sempre colonne in ghisa, costituite da un fusto formato da un corpo cavo alto generalmente 2,50-3,00 m, dello spessore di 2-3 cm, mentre le sezioni erano di dimensioni contenute, variabili tra i 140 e i 200 mm ma con spessori marcati (20-30mm). All'altezza del capitello erano provviste di piani che servivano di base alle mensole, mentre nella parte inferiore era disposta un altro piatto che serviva a collegare la colonna direttamente alla fondazione.*

The columns supported above all the large shed ceilings, affording the best lighting to the rooms below. Their wooden and iron structure was held up by continuous beams, in their turn supported by the columns, while some metal connecting rods and cast iron brackets made the overall system more rigid.

#### 4. QUALITATIVE ASPECTS AND TECHNICAL CHARACTERIZATION: VERTICAL AND HORIZONTAL METAL STRUCTURES

As a logical-formal premise leading to the definition of guidelines for a possible methodological approach to late XIX century industrial buildings in a seismic context, based on unavoidable concepts – such as sustainability, reversibility and compatibility of the materials – construction-related technology needs to be thoroughly examined, with particular attention to geometric forms and the features of the materials: these factors, in fact, are to be deemed essential when interpreting global seismic behavior, since they may lead to quite noteworthy levels of doubtful static-performance-related results [20].

One should in fact be reminded how the essential, nay, basic assumption behind any refurbishment intervention (in the widest meaning of the word) ought to be the most thorough knowledge of the building object of the intervention. This can be achieved by means of a typological and material-related analysis carried out through well-known either non-destructive or semi-destructive multi-disciplinary techniques. When dealing with industrial buildings, their survey becomes more tricky, since the building techniques of those times were based on widely empirical-experimental methodologies of calculation, which were only partially known and analyzed and surely unsuitable for seismic prevention – an unavoidable issue nowadays. In particular, the research has focused on the analysis of some construction-related elements frequent in textile manufacture late XIX and early XX century buildings in Friuli, and quoted also in handbooks. The study has specifically dealt with internal cast iron vertical structures and with the generally wooden or metal shed roofs of the buildings, omitting the masonries that in such buildings consist mainly of brick and stone chips walls built by traditional techniques.

A first analysis, mainly based on the handbooks of those times [21], reveals the widespread resort to both simply hinged brackets on the ground gravity working that is to say capable of ensuring that the foot of the foundation would be kept in place only if subjected to axial stress, and to semi-fitted joints, - the forerunners of modern fastening elements such as cast iron stud bolts able to withstand – though partially – seismic compound stresses.

*costituita per lo più da un blocco di pietra o di calcestruzzo, posto sotto il piano di calpestio. Nel caso di altezze maggiori veniva utilizzata una colonna divisa in due parti che potevano essere unite coassialmente con giunti flangiati bullonati di continuità, mentre nel caso di edifici a due, o a più piani, i capitelli erano dotati di briglie per sostenere le travi principali su cui ordire i solai e di un fusto tornito internamente nel quale si incastrava e si appoggiava il piede della colonna superiore, anch'esso tornito. Le colonne servivano principalmente a sorreggere le grandi coperture a shed per l'illuminazione ottimale degli ambienti. La loro struttura, in legno e ferro, era sostenuta da una travatura continua, sorretta a sua volta dalle colonne, mentre dei tiranti metallici e dei punti in ghisa contribuivano all'irrigidimento globale del sistema.*

#### 4. ASPETTI QUALITATIVI E CARATTERIZZAZIONE TECNICA: STRUTTURE METALLICHE VERTICALI E ORIZZONTALI

*Quale premessa logico-formale alla definizione di linee guida per un possibile approccio metodologico al recupero degli edifici industriali di fine '800 in contesto sismico e che si basino su concetti cardine, quali sostenibilità, reversibilità e compatibilità materica, è necessario indagare la tecnologia costruttiva con particolare riguardo alle geometrie e alle caratteristiche materiche, fattori questi da ritenersi fondamentali nell'interpretazione del comportamento sismico globale, poiché in grado di generare aliquote di incertezza statico-prestazionale anche notevoli [20].*

*È necessario ricordare infatti come l'elemento fondamentale, nonché assunto basilare di ogni intervento di recupero nelle più svariate accezioni del termine, sia la conoscenza approfondita dell'edificio su cui si intende intervenire. Tale conoscenza trova attuazione mediante un'attività di indagine tipologica e materica realizzata mediante note tecniche non distruttive o semi-distruttive di ambito multi-disciplinare. L'indagine sul costruito, nel caso delle architetture industriali, assume valenze di maggior riguardo poiché le tecniche costruttive del tempo trovavano fondamento su metodologie di calcolo ancora empirico-sperimentali, non ancora sufficientemente conosciute ed indagate e certamente non declinate in un contesto di prevenzione sismica, oggi così attuale.*

*La ricerca si è soffermata in particolare sull'analisi di alcuni elementi costruttivi ricorrenti nelle architetture dell'industria tessile friulana tra '800 e '900 e presenti nella manualistica. In particolare sono state indagate le strutture verticali interne in ghisa e la copertura a shed dell'edificio generalmente lignea o metallica, tralasciando gli involucri, eretti con tecniche ancora tradizionali in muratura di laterizi e pietrame.*

*Una prima analisi, fondata principalmente sulla manualistica dell'epoca [21], evidenzia il diffuso utilizzo sia di attacchi a terra a semplice cerniera funzionanti a gravità, ovvero in grado di garantire il ritegno al piede della fondazione esclusivamente nei*



Figure 5. a) The base of the column resting on a weight-spreading metal plate (B) on top of a squared stone block (D) lying on a mortar-concrete substrate [Oslet 1898]; picture taken during a probe; various kinds of ground fastening [Oslet 1898].

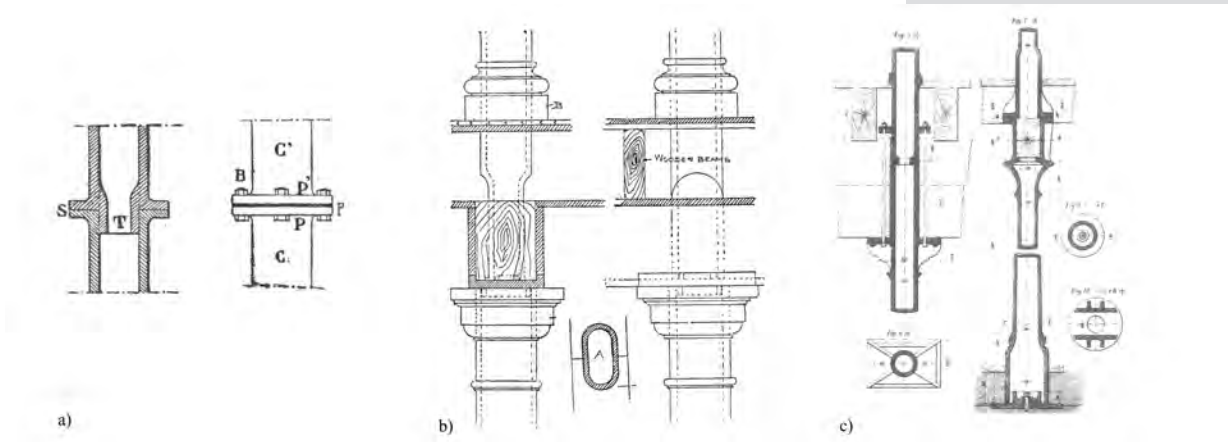


Figura 6. a) Detail of the connection of the column outside the column-floor joint [Oslet 1898]; b) and c) detail of the connection of the column inside the column-floor joint [Birkmire 1892, Curioni, 1896].

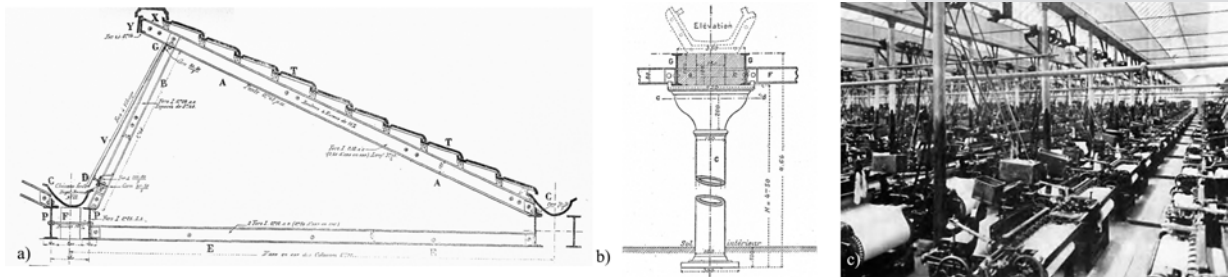


Figure 7. a) Section of the roof employing non-standardized profiles, where the connecting rods of the horizontal plane of the roof can be seen [Oslet 1898]; b) columns details [Oslet 1898]; c) shed ceiling Amman & Wepfer mill (Pordenone).

On the other hand, from a geometrical point of view, the cast iron weight-bearing columns present rather thin sections if compared to the whole length of the columns. On average, their circular sections vary between 140 and 200mm., though they are between 20 and 30 mm thick, being made of cast iron. Flanged joints secured by bolts all around may be present, wherever there are in-between floors not allowing the floor to be directly secured to the column, or there are construction related or building yard hindrances such as not having easy access to the site or needing to move the element.

confronti di sollecitazioni assiali che di connessioni a semi-incastro, precorritrici dei moderni ancoraggi con tirafondi - inghisati o meno - e in grado di confrontarsi, seppur non esaustivamente, con sollecitazioni composte derivanti da azioni sismiche. I pilastri portanti in ghisa, dal punto di vista geometrico, presentano invece sezioni piuttosto esili se rapportate agli alzati a cui si riferiscono. Mediante sono costituiti da sezioni circolari di dimensioni contenute e variabili tra i 140 e i 200 mm ma con spessori marcati (20-30 mm) trattandosi di ghisa. Possono essere presenti giunti flangiati bullonati di continuità qualora si presentino



Thanks to the cast iron capitals, the weight-bearing columns support roof elements named shed. As regards the material used, one can notice how the construction technique of those times largely resorted to thin metal frames, which were either normalized or simple metal profiles of non-standardized sections. Trusses were connected to the columns underneath by means of cast iron capitals, horizontally connected to one another between each span by means of chain tie-beams that compensated the geometrical thrust.

In order to achieve an architectural and structural refurbishment it is necessary to take into account that the buildings handed down to us have been subjected to several transformations that have sometimes dramatically changed their original features, impairing the initial balance – as regards both function and structure.

For example, in industrial buildings the addition of in-between floors on the one hand improved the overall statics of the building by making the abutments more stable and reducing the unchecked length along which the thin columns might bend, on the other, it meant adding suspended masses that modified barycenter and rigidity, which consequently modified the “cutting plates” at the base of the columns that by the way were not secured by foundation stays or beams. To this it should be added that the new ceiling joists are sometimes given functional roles, which implies the presence of new accidental – almost lasting for ever – loads, whenever such buildings are turned into museums or libraries. Such transformations in themselves therefore (whenever they do not fit the context of the areas where the buildings rise) may potentially increase the destructive risks of seismic events. This is why it is necessary to underline the role of the preliminary analysis – regarding both the geometrical features and the materials – it is meant to define realistically the features and the residual strength that the weight-bearing elements may afford in relation with both the decay of the materials and the existing structural features [22].

## 5. CRITERIA AND GUIDELINES OF INTERVENTION IN INDUSTRIAL ARCHITECTURE

Proceeding further to study industrial buildings in a seismic context in Friuli, therefore, some qualitative considerations can be formulated in order to spot general criteria of intervention that may safeguard the original identity of the building, with a particular regard for architectural and structural invariants, exemplified by the capital-column, by the geometries of the joints, and by existing structural patterns.

Concerning “shed” roofs, we notice that they consist of rather short metal

*situazioni nelle quali alternativamente sono presenti interpiani tali da non permettere la giunzione direttamente nel nodo pilastro/solaio o sussistono motivi di carattere costruttivo e di cantierizzazione quali l'accessibilità al sito o la movimentazione dell'elemento.*

*Le colonne portanti sorreggono, attraverso capitelli in ghisa, elementi di copertura che già al tempo venivano definiti “a shed”. In merito al materiale degli stessi si può notare come la tecnica costruttiva del tempo facesse largo uso di membrature metalliche di esiguo spessore costituite da normalprofili o da semplici profili metallici di sezioni non standardizzate. Le capriate erano connesse alle colonne sottostanti mediante capitelli metallici in ghisa, mutuamente vincolati tra loro nel piano orizzontale tra campata e campata tramite tiranti-catena con la funzione di compensare le spinte indotte dalla geometria.*

*Nell'ottica di un recupero architettonico e strutturale è necessario considerare che sovente gli edifici che giungono a noi sono stati oggetto di trasformazioni pregresse che a volte hanno stravolto l'assetto originario modificando gli equilibri originari, siano essi di tipo funzionale che strutturale.*

*Nel caso degli edifici industriali l'aggiunta di solai intermedi, ad esempio, se da un lato contribuisce alla statica globale dell'edificio stabilizzando i piedritti e riducendo la lunghezza libera d'inflessione delle esili colonne, dall'altro ha comportato l'aggiunta di masse sospese con conseguente modifica dei baricentri delle masse e delle rigidità e relativa modifica dei “taglianti” al base delle colonne oltretutto non vincolate da solette di fondazione o travi. A ciò si aggiunga che, in alcuni casi, ai nuovi orizzontamenti sono assegnate destinazioni funzionali che comportano la presenza di nuovi carichi accidentali da ritenersi quasi-permanenti, quali quelli indotti da musei o biblioteche. Di per sé quindi, tali trasformazioni si configurano, qualora non declinate nel contesto corretto dell'area in cui l'immobile è sito, quali elementi di potenziale incremento delle azioni indotte da eventi sismici. Torna quindi utile ricordare l'importanza della fase di indagine preliminare, sia geometrica che materica, per definire realisticamente le caratteristiche e la resistenza residua che gli elementi portanti sono in grado di offrire in rapporto sia al degrado del materiale che alla configurazione strutturale esistente [22].*

### 5. CRITERI E LINEE GUIDA DI INTERVENTO PER L'ARCHITETTURA INDUSTRIALE

*Procedendo quindi con lo studio degli edifici industriali dell'area Friulana in un contesto sismico, si possono formulare alcune considerazioni di tipo qualitativo per individuare criteri di intervento generali che possano salvaguardare l'identità originaria del manufatto con particolare riguardo alle invarianti architettoniche e strutturali, rappresentate dal sistema capitello-colonna, dalle geometrie dei nodi e dagli schemi strutturali*

elements – supporting ribs – that make up triangular-shaped typological sections affording structurally counterpoised thrusts by means of connecting rods placed at the base of the capitals. Such structures are placed at regular distances: their presence can be noticed when openings occur and there is no plaster, so the sloping profiles frame even functionally the glass-covered openings. In this way the thrust of the roof is compensated by means of connecting rods placed on the extrados of the capitals, whereas the metal beams of the roof – in the same way as the deck ribs in a ship – define its triangular geometries and are visible wherever the glass-covered openings occur.

A first approach to the construction-related methodology of slopes reveals both positive and negative aspects: as regards suspended masses and the ensuing accelerations the structure undergoes, historical roofs are quite similar to today's. Formerly were employed rather thin metal elements together with thick roof cladding (ridge tiles or tiles having a 40 kg/sqm specific weight), nowadays, however, we resort to heavy prefabricated concrete structures and thin layered polystyrene roof cladding.

A certain analogy can be detected as far as masses are concerned, but, on the other hand, no comparison can be made regarding behavior in relation to seismic events. In historical roofs, in fact, wind bracings are completely absent along metal slopes, which, moreover, feature parallelogram-shaped geometries that are clearly liable to deformation. Besides, taking into account the possible upwinding action enacted by the horizontal plane intersecting the capitals, the presence of mere connecting rods between the capitals is not sufficient to guarantee wind bracing.

Moving on to examine the stresses on columns and capitals, the problem lies in evaluating how far the capitals are capable to guarantee the firm fitting of the two longitudinal cross-beams supporting the slopes. After pointing out that the assessment will have to be backed by careful calculations, it is anyway to be reasonably supposed – considering the type and the size of the connection at the joints – that even in this case a correct stabilizing wind bracing action of the structure – should an earthquake occur – cannot be guaranteed.

At last, if some considerations regarding the features of the material (i.e. cast iron) employed for the capitals are to be made, it cannot be said beforehand whether it is necessary to upgrade the capitals, without carefully analyzing both the material and the structure of the building. This can be easily understood taking into account both the period in which such cast iron elements were produced (the techniques and the controls cannot be compared with present-day ones) and the elastic-fragile behavior typical of cast iron, a material that

presenti.

*Entrando nel merito della copertura "a shed" si nota come la stessa sia realizzata, come già accennato, da elementi metallici di ridotta altezza – centine – a formare sezioni tipologiche triangolari, a spinte strutturalmente "compensate" in corrispondenza del capitello mediante tiranti. Queste strutture si ripetono ad interasse regolare denunciando la loro presenza in corrispondenza delle grandi finestrate dove il rivestimento si interrompe e rimangono in continuità i profili inclinati a limitare anche funzionalmente le specchiature vetrate. In questo modo le azioni spingenti della copertura vengono compensate mediante tiranti metallici posti all'estradosso dei capitelli mentre le travi metalliche della copertura, a guisa di centine di tolda di nave, definiscono le geometrie triangolari della stessa e si rivelano in corrispondenza delle grandi aperture vetrate. Queste centine sono mutuamente collegate, nel piano della falda, da tiranti metallici costituiti da barre imbullonate.*

*Una prima considerazione sulla metodologia costruttiva dell'elemento falda denuncia sia aspetti positivi che negativi: Per quanto riguarda le masse sospese e le conseguenti accelerazioni della struttura, la copertura storica è molto simile a quella che si impiega oggi. Se nel primo caso infatti venivano impiegati elementi metallici di ridotto spessore insieme ad un manto di copertura pesante (coppi o tegole con peso specifico di circa 40 kg/mq), nel secondo caso è previsto l'utilizzo di pesanti strutture in calcestruzzo prefabbricato con manti di copertura leggeri a sandwich di polistirene.*

*Se per quanto riguarda le masse si rileva una certa analogia, per quanto concerne la risposta sismica la situazione non è comparabile. Nel caso delle coperture storiche infatti mancano integralmente controventi nel piano della falda metallica che presenta oltretutto geometrie "a parallelogrammo", suscettibili quindi di evidenti deformazioni. Considerando, inoltre, la possibile azione controventante a livello del piano orizzontale intersecante i capitelli, la presenza di semplici tiranti posti tra capitello e capitello non è anche in questo caso sufficiente a garantire la necessaria controventatura.*

*Passando ora a considerare le sollecitazioni sulle colonne e sui capitelli, la problematica è insita nella valutazione del grado di incastro che il capitello è in grado di garantire con le due travi banchina longitudinali che sorreggono le falde inclinate. Premesso che tale verifica dovrà essere suffragata da idonei calcoli, si può comunque ragionevolmente ipotizzare, considerando il tipo e la dimensione della connessione presente nel nodo, che anche in questo caso non si possa garantire la corretta azione stabilizzante di controvento della struttura per le azioni di sisma. Volendo infine svolgere anche alcune considerazioni qualitative in merito al materiale usato per i capitelli, ovvero la ghisa, in questo caso non si può stabilire a priori senza una attenta indagine materica ed analisi strutturale locale, se sia o meno necessario intervenire sui capitelli.*

requires a careful evaluation of possible plastic deformations. After such premises, a clearly detailed evaluation appears necessary, otherwise a quite serious amount of incertitude might mar the results of the assessment of the joint.

If, therefore, this paper aims to lay down guidelines for a possible methodological approach to retrieving XIX century industrial buildings, all proposed interventions should follow sustainability, reversibility and compatibility criteria. It is to be remembered that the concept of reversibility of the materials employed or of the interventions carried out is underlined in all norms and rules, such as for example Ministero per I Beni Culturali “Carta del rischio del Patrimonio culturale” (1955) and the Decreto Legislativo 22/11/2004 n° 42, “Codice dei beni culturali e del paesaggio” that defines guidelines, technical norms, criteria and models of intervention for programmed maintenance.

Following the above considerations, therefore, and taking into account the fact that the structures of such buildings undergoing the stresses of non-symmetrical loads caused by a seismic event are not wholly capable to perform suitably, mainly owing to the lack of wind-bracing elements and to box behavior, the intervention guidelines are suggested below:

*Tale fatto si può comprendere considerando sia il periodo in cui tale materiale veniva realizzato, ovvero con tecniche e controlli non equiparabili a quelli attuali e sia il comportamento elasto-fragile tipico dalla ghisa, per la quale le eventuali deformazioni in campo plastico devono essere attentamente valutate. Con queste premesse, si comprende come sia necessaria una attenta valutazione di dettaglio, poiché, in caso contrario, potrebbe sopravvenire una aliquota di incertezza anche notevole nei risultati della verifica del nodo.*

*Volendo quindi proporre in questa sede linee guida per un possibile approccio metodologico alla tematica del recupero degli edifici industriali dell’800, non ci si può esimere dal proporre interventi che rispettino i criteri di sostenibilità, reversibilità e compatibilità. Giova ricordare che il concetto di reversibilità dei prodotti applicati o degli interventi eseguiti sull’opera è ribadito nelle più svariate normative, quali ad esempio quella del Ministero per i Beni Culturali “Carta del rischio del Patrimonio culturale” del 1995 e il noto Decreto Legislativo 22/11/2004 n°42, “Codice dei beni culturali e del paesaggio” in cui si definiscono linee di indirizzo, norme tecniche, criteri e modelli di intervento per una manutenzione programmata. In accordo quindi con tali premesse e in considerazione del fatto che, le strutture di questi edifici, se sottoposte a carichi disimmetrici dovuti a sisma*

Ambit	Interventions
Roof geometry	placing wind braces on top of the metal structures, choosing either: <ul style="list-style-type: none"> <li>- the surface of the slopes by means of either saltire-shaped connecting rods using as compressed sprigs the existing purlins, or coupled crossed boards screwed to the underlying metal structures;</li> <li>- the plane of the horizontal connecting rods of the capitals by means of new wind bracing horizontal saltire-shaped elements realized through connecting rods that connect the capitals to one another;</li> </ul>
joint between capital and columns	realizing wind braces: <ul style="list-style-type: none"> <li>- resorting either to truss bridges set at the level of the capitals (which is less disruptive)</li> <li>- resorting by means of traditional saltires secured between a capital and the foot of the opposite column ( which is quite invasive and might cause functional problems since they completely forbid crossing from one span to the next along the whole way between two or more columns).</li> </ul> <p>Moreover, if truss bridges are set at the level of the capital, it will also be necessary to statically test the column in order to assess the new horizontal stress induced by the downward thrust of the truss bridge. On the other hand, if the latter intervention is chosen, a further test should be carried out on whether the column/foundation ground fastening (in addition to the stresses along its axe the new structural system has obviously increased) is capable of absorbing even the added horizontal stresses at the joint that might suggest to resort to short props to ensure balance or to foundation beams in order to connect the weight bearing columns to each other;</p>
walls	test whether the inside walls are capable of absorbing the stresses caused by the slopes; if needed, metal chain ropes – even within the thickness of the walls – will be placed, so as to enable them to withstand the possible actions of tensile stresses;
metal elements	analysis by means of special tests (Brinell hardness, etc.) of the type of material employed and of its present conditions, in order to move on to in situ resistance tests;

Figure 8. Synthesis table resuming parameters and guide lines related to different fields of intervention.

## 6. CONCLUSIONS

The survey of the plans of the buildings, as well as of the features of the materials employed in the buildings of the case study – even in the light of what can be gathered by examining the technical handbooks – has provided the ground leading to defining possible guidelines for their refurbishment in an area liable to seismic events, according to mandatory criteria of sustainability, reversibility and compatibility of the materials, which are capable of preserving the original layout of spaces of industrial buildings. Particular attention must

*non sono in grado di soddisfare appieno le richieste prestazionali in particolar modo per mancanza di controventi e di comportamento scatolare, le linee guida di intervento che si possono proporre sono riportate a lato.*

### 6. CONCLUSIONI

*L’indagine della configurazione planimetrica dell’edificio, unitamente alle caratteristiche dei materiali costruttivi dei casi studio, alla luce anche di quanto riportato nella manualistica tecnica, è stata la premessa per definire possibili linee guida per il loro recupero in contesto sismico, secondo criteri cardine quali sostenibilità, reversibilità e compatibilità*

be paid to the geometrical patterns, to the features of the materials, as well as to the transformations undergone by buildings: these are essential aspects when interpreting their global seismic behavior, since even serious doubts may arise concerning their statics and performances.

When dealing with industrial buildings, the analysis of existing buildings is in fact more relevant, since the construction techniques of past times were based on largely empirical-experimental calculations, that did not take seismic risk into account, which is of paramount relevance nowadays.

## 7. REFERENCES

- [1] Rix, M., *Industrial Archaeology*, «The Amateur Historian» 28 (1955) 2, p. 225-229.
- [2] Hudson, K., *Industrial Archaeology*. London: John Baker, 1963; Lenain P., *Quand l'industrie laisse des paysages*, «Lotus International» 14 (1977); Borsi F., *Introduzione alla archeologia industriale*. Roma: Officina Edizioni, 1978; Hudson, K., *World Industrial Archaeology*. Cambridge: Cambridge University Press, 1978; Castellamo A., *La Macchina arrugginita: materiali per un'archeologia dell'industria*. Milano: Feltrinelli, 1982; Neaverson P., Palmer M., *Industrial Archaeology: Principles and Practice*. London-New York: Routledge, 1998; Stratton M., Trinder B., *Twentieth Century Industrial Archaeology*. London: E&FN Spon, 2014.
- [3] Ball R., Developers, *Regeneration and Sustainability Issues in the Reuse of Vacant Industrial Buildings*, «Building Research & Information» 27 (1999), p. 140-148; Stratton M., *Industrial Buildings: Conservation and Regeneration*. London: Taylor & Francis, 2000; Cantell S.F., *The Adaptive Reuse of Historic Industrial Buildings: Regulation Barriers, Best Practices and Case Studies*, [Degree Master of Urban and Regional Planning], Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute and State University, 2005; Orange H., *Industrial Archaeology: Its Place Within the Academic Discipline*, «Industrial Archaeology Review» 30 (2008) 2, p. 83-95.
- [4] Latham, D., *Creative Re-Use of Buildings*. Shaftesbury: Donhead Publishing Ltd, 2000; Ball, R. *Re-use potential and vacant industrial; premises: revisiting the regeneration issue in stoke-on-trent*, «Journal of Property Research», 19 (2002) 2, p. 93-110; Douglas, J., *Building Adaptation*. Woburn: Butterworth-Heinemann, 2002; Bullen, P., *Adaptive reuse and sustainability of commercial buildings*, «Facilities», 25 (2007) 1/2, pp. 20-31.
- [5] Douglas, J., *Building Adaptation*, Woburn, Butterworth-Heinemann, 2002; Kohler N, Hassler U., *The building stock as a research object*, «Building Research & Information» 30 (2002) 4, p. 226-36.
- [6] Kohler N., *The relevance of green building challenge: an observer's perspective*, «Building Research & Information» 27 (1999), p. 309-20.
- [7] D.M. 25 Ottobre 1999, N. 471 (Regolamento recante criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati).
- [8] In Italy interventions on existing buildings are regulated by the NTC of 2018 (New Technical Standards for Construction, Decreto Ministero Infrastrutture 17/1/2008), where the levels of knowledge (LC) have been included. They're based on the knowledge of the building (geometric, material and structural components), allowing to have the factors of confidence and therefore to plan the recovery interventions.
- [9] Croatto G, Turrini U, Bertolazzi A., *Criteria and guidelines about structural reversibility for reinforced concrete historical buildings refurbishment. The Excelsior Cinema in Milan (1926-30)*, «Journal of Architectural Conservation» 23 (2017) 1, p. 45-56, DOI: 10.1080/13556207.2017.1279866.
- [10] Legge n. 24 del 25/7/1997 (Norme per il recupero, la tutela e la valorizzazione del patrimonio archeologico industriale della regione Friuli Venezia-Giulia).
- [11] Croatto G, Valcovitch E., *Architetture Industriali del settore tessile in Friuli fra Ottocento e Novecento*. Udine: Aviani Ed., 1996, p. 95.
- [12] Croatto G, Valcovitch E., *Architetture Industriali del settore tessile in Friuli fra Ottocento e Novecento*, Udine, Aviani Ed., 1996, p. 98-99.
- [13] Donghi D., *Manuale dell'Architetto*. Torino: Unione Tipografico-Editrice Torinese, 1905; Utz L., *Fabbricati ed Impianti industriali moderni*. Milano: Hoepli, 1926.
- [14] Crippa F., Mattozzi I., *Archeologia industriale a Pordenone. Acque e fabbriche dal XV al*

*materica, capaci di conservare l'originaria spazialità interna degli edifici industriali. Particolare attenzione deve essere prestata alle geometrie, alle caratteristiche materiche e alle trasformazioni subite dagli edifici, aspetti fondamentali nell'interpretazione del comportamento sismico globale, poiché in grado di generare aliquote di incertezza statico-prestazionale anche notevoli. L'indagine sul costruito, nel caso delle architetture industriali, assume infatti valenze maggiori poiché le tecniche costruttive del tempo nascevano da calcoli ampiamente empirico-sperimentali, senza l'attenzione al rischio sismico, tema oggi così attuale.*

XX secolo, Udine: Del Bianco Editore.

- [15] Selvafolta O., *Lo spazio del lavoro 1750-1910*, Castellano A. (a cura di), La Macchina Arrugginita. Materiali per un'archeologia dell'industria. Milano: Feltrinelli, 1982, p. 121.
- [16] Utz L., *Fabbricati ed Impianti industriali moderni*. Milano: Hoepli, 1911, p. 1-2.
- [17] Utz L., *Fabbricati ed Impianti industriali moderni*. Milano: Hoepli, 1911, p. 7.
- [18] Utz L., *Fabbricati ed Impianti industriali moderni*. Milano: Hoepli, 1911, p. 400-405.
- [19] Jodice R., *L'Architettura del ferro. La Francia (1715-1914)*. Roma: Bulzoni Editore, 1973; Jodice R., *L'Architettura del ferro. L'Italia (1796-1914)*. Roma: Bulzoni Editore, 1985; Lemoine B., *L'Architecture du Fer. France: XIXe siècle. Seyssel*: Ed. Champ Vallon, 1986; D'Orazio M., *Contributi alla storia della costruzione metallica*. Firenze: Alinea Editrice, 2008.
- [20] Franchini F, Turrini U., *Parametri di reversibilità nel recupero architettonico e strutturale*. Padova: Ed. Progetto, 2012.
- [21] Breymann G.A., *Trattato generale di costruzioni civili*. Vallardi: Milano, 1884; Birkmire WM. H., *Architectural Iron and Steel, and its application in the construction of buildings*. New York: John Wiley & Sons, 1892; Oslet G., *Traité de charpente en fer*. Paris: Fanchon & Arthus Ed., 1898; Donghi D., *Manuale dell'Architetto*. Torino: Unione Tipografico-Editrice Torinese, 1905; Utz L (1911) *Fabbricati ed Impianti industriali moderni*. Milano: Hoepli.
- [22] Referring to the New Technical Standards for Construction NTC2018, it should be noted that it is preferred to reach levels of knowledge of the building as complete as possible, to allow the project of not overestimating structural interventions and correctly contextualised to the real state of the places.