

MariaAntonia Barucco

Lightweight Steel Frame

Appunti di ricerca e sviluppo di progetti



Racconti di ricerca



Racconti di ricerca

•

Lightweight Steel Frame

Appunti di ricerca e sviluppo di progetti
di Maria Antonia Barucco

ISBN: 9788899860066

Editore
Officina Libri

via Asolo 12, Conegliano, TV
editoria@officina-artec.com
www.officina-artec.com

Prima edizione: novembre 2016

Progetto grafico: Margherita Ferrari
Testi e foto sono stati forniti dagli autori

Quest'opera è distribuita con

Licenza Creative Commons Attribuzione - Non commerciale - Non opere derivate 4.0 Internazionale.



Finito di stampare nel mese di dicembre 2016 da PRESSUP, Roma

Questo libro è frutto del lavoro avviato con la ricerca "Le frontiere dell'innovazione tecnologica" (RIC TD 01-2012 in carico a Maria Antonia Barucco, dipartimento di Culture del Progetto), ha goduto dell'appoggio di tre assegni di ricerca finanziati dalla Regione Veneto con fondi FSE-Fondo Sociale Europeo (responsabile scientifico Maria Antonia Barucco; codici progetto 2122/1/31/1148/2013 e 2122/1/11/1148/2013, in carico a Chiara Trojette, Valentina Manfè e Margherita Ferrari).

Questo volume si è avvalso del confronto con la realtà industriale grazie al dialogo con SPH s.r.l. (www.sistemacipa.it) e con ARREX s.p.a. (www.arrex.it), si è arricchito del dialogo con docenti dell'Università Federico II di Napoli e con un numero di altri portatori d'interesse, tanto ampio da non consentirne l'elenco ma che rende doveroso un ringraziamento sincero.

INDICE

- 07 **Introduzione**
di Maria Antonia Barucco

- 19 **Elementi per la progettazione** *Design elements*
di Maria Antonia Barucco

- 31 **Elementi per la costruzione** *Construction elements*
di Maria Antonia Barucco

- 47 **Lightweight steel frame e balloon frame, tratti di storia comune** *Lightweight steel frame and balloon frame, historic common features*
di Vittorio Oreste Manfron

- 65 **Eco-efficienza, innovazione tecnologica, off-site manufacturing: i sistemi costruttivi in Cold Formed Steel** *Eco-efficiency, technological innovation, off-site manufacturing: cold formed steel systems*
di Sergio Russo Ermolli

- 81 **Opportunità di sviluppo per un'architettura di qualità** *Development opportunities for a high-quality architecture*
di Valentina Manfè

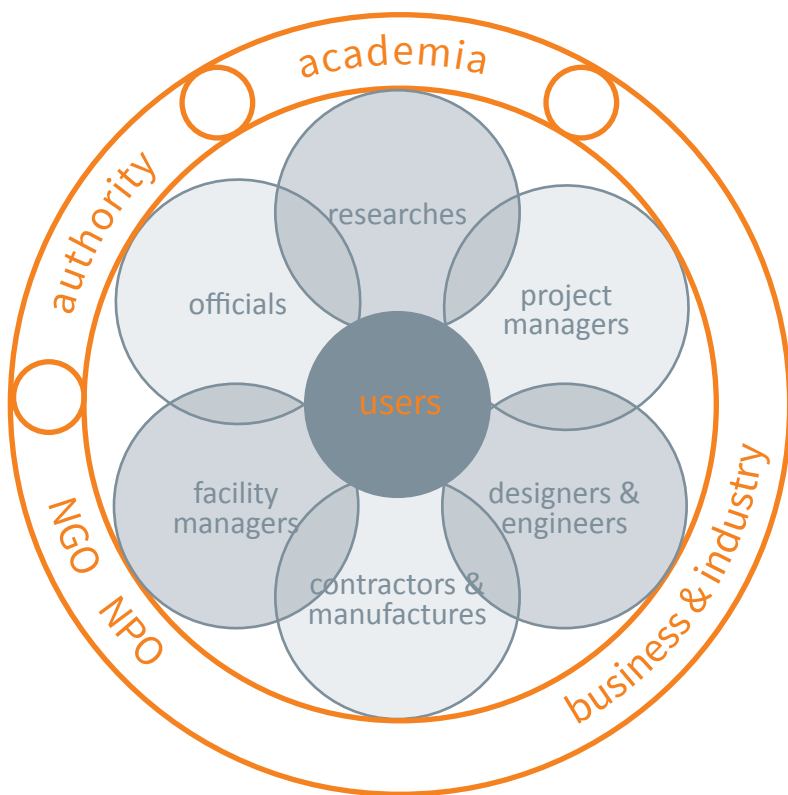
- 97 **La definizione del sistema LSF: dal progetto al cantiere** *LSF system definition: from the project to the construction site*
di Margherita Ferrari

- 109 Il BIM e la progettazione integrata in Lightweight Steel Frame **The BIM and the Lightweight Steel Frame integrated planning**
di Emilio Antoniol
- 117 Costruire con i profili sottili di acciaio formato a freddo: tra ricerca e sperimentazione **Cold formed steel construction: from research to field test**
di Monica Antinori e Federica Scavazza
- 131 Nuovi obiettivi per il settore delle costruzioni **New engineering goals**
di Chiara Trojette
- 141 I sistemi LSF per l'housing eco-efficiente nei Paesi emergenti. Progetto e Life Cycle Assessment di un alloggio per la Regione di Dakar **LSF construction for the eco-efficient housing in the developing countries. Project and Life Cycle assessment of a building in Dakar**
di Antonio D'Acunzi
- 155 A misura d'uomo **Human oriented**
di Maria Antonia Barucco
- 171 Linea del tempo dell'industrializzazione dell'acciaio **Steel development time line**
di Maria Antonia Barucco



Introduzione

MariaAntonia Barucco



Nel 2005 la conferenza mondiale *Sustainable Building* è stata tenuta a Tokyo all'insegna dello slogan "action for sustainability". Lo schema qui riportato definisce il tema centrale dell'evento: lo sviluppo della necessaria cooperazione tra i vari portatori d'interesse e gli attori coinvolti nel processo edilizio, senza anteporre le gerarchie alle esigenze di tutti, in quanto utenti. Questa necessaria collaborazione e virtuosa interrelazione tra saperi ed esigenze viene enfatizzata qualora si progetti l'impiego dell'acciaio sagomato a freddo: un sistema tecnologico e costruttivo che necessita del coordinamento di competenze e del lavoro congiunto di differenti figure professionali. In tal senso il CFS è una tecnologia per lavorare insieme per ricercare la sostenibilità del costruito.

I testi raccolti nel presente volume sono accomunati dall'intento di analizzare il sistema tecnologico che prevede l'impiego di acciaio sagomato a freddo per la realizzazione delle strutture portanti degli edifici, un sistema costruttivo detto *Lightweight Steel Frame* (LSF). Nel perseguire l'obiettivo della descrizione di un sistema tecnologico dalla crescente diffusione e che riserva ancora grandi margini di innovazione è emerso un aspetto che caratterizza il progetto LSF, dall'ideazione del progetto sino alla costruzione il mantenimento in funzione dell'edificio: la grande rilevanza della rete di saperi, competenze e relazioni a sostegno del costruire.

Questo libro raccoglie i contributi offerti dagli interlocutori che si sono di recente avvicendati nel dialogo sul tema del costruire in LSF, dialogo nel quale l'Università Iuav di Venezia si è inserita grazie alla ricerca "le frontiere dell'innovazione tecnologica" e, successivamente, con una serie di assegni di ricerca finanziati dalla Regione Veneto e dedicati alla relazione tra imprese e università.

Ogni dialogo, anche quello riportato nella presente pubblicazione, è difficile da riproporre e condensare in alcune pagine: un dialogo trova sviluppo dall'interazione di più voci e difficilmente un'opera statica come le pagine di un libro possono rendere giustizia alle dinamiche di tale interazione. Un libro (ci si augura, anche questo libro) può fotografare un attimo, essere memoria di un'occasione e divenire strumento per ampliare la rosa degli interlocutori che intervengono su di un tema; è con questo spirito che, alle soglie della conclusione di un quinquennio di ricerche, il dipartimento di Culture del Progetto (Università Iuav di Venezia) ha appoggiato l'organizzazione di un convegno¹ e, in seguito, dato spazio alla presente pubblicazione.

La rete di relazioni a sostegno di un percorso di studi e di ricerca è, necessariamente, una rete dai nodi in continuo sviluppo; ogni nuovo nucleo di conoscenze, ogni nodo della rete, come ogni diversa organizzazione, arricchisce la ricerca. Riflessioni sulla storia dell'innovazione

1 Il convegno dal titolo "Lightweight Steel Frame. Progettare e costruire con l'acciaio sagomato a freddo" si è tenuto nell'Università IUAV di Venezia il 27 aprile 2015. Ulteriori informazioni sono disponibili al sito internet <http://lightweightsteelframe.officina-artec.com/> (settembre 2016).

ne tecnologica e lo sviluppo dell'impiego di un materiale agevolano il consolidamento di strumenti concettuali utili al progetto; per questa ragione la chiave di lettura adottata nell'analisi del sistema LSF antepone al cronoprogramma e alle fasi del costruire la relazione reciproca tra i portatori d'interesse, focalizza l'attenzione sulla rete di competenze differenti e strumenti nuovi che concorrono al progetto grazie al confronto e alla reciprocità.

Tale approccio è suggerito dalla conferenza SB05² che, a più di dieci anni dal suo svolgimento, rimane un riferimento importante per sottolineare il ruolo del dialogo al fine dello sviluppo del progetto, della tecnologia dell'architettura e dell'innovazione. SB05 è una conferenza dedicata allo studio della sostenibilità ambientale del settore delle costruzioni, in questa occasione venne sottolineata la rilevanza della rete di comunicazione, organizzazione e sviluppo che, invisibile, costituisce la vera struttura dell'innovazione nel settore delle costruzioni.

La sostenibilità ambientale ha certo sviluppi nell'ambito della biologia, della chimica, dell'economia, ma non solo. La sostenibilità ambientale in riferimento al settore delle costruzioni è una tematica che influisce sulle scelte materiali, sui consumi energetici, sulle strategie di insediamento sul territorio e in molti altri ambiti. Il progetto per la realizzazione di un edificio che abbia elevati standard di qualità, anche in riferimento alla sostenibilità ambientale, necessita di una forte componente di lavoro che, in buona parte, rimane nascosto, invisibile (citando Sinopoli), *hidden* (nel linguaggio dell'architettura internazionale), *soft* (in riferimento a Ciribini). Per questa ragione il centro del dibattito di SB05 non fu "cosa" e "quanto" consumiamo o produciamo attraverso ogni processo edilizio ma come e a quale fine ci adoperiamo nell'organizzazione e nella gestione dei processi di ideazione, progettazione, costruzione, esercizio, demolizione e riciclo. L'oggetto del confronto fu la comunicazione tra i vari soggetti del processo edilizio e la sequenza delle operazioni che si avvicinano grazie a questa; furono lasciati in secondo piano gli studi, le stime e le valutazioni in merito agli impatti,

2 La quinta conferenza SB si è tenuta a Tokyo nel 2005, la serie delle conferenze SB è promossa da CIB, iSB, UNEP-SBCI ed FIDIC.

alle quantità di materiali e allo sfruttamento delle risorse prime minerali perché sono le conseguenze delle scelte operate attraverso il reciproco confronto degli attori del processo edilizio e dei portatori d'interesse.

La sostenibilità ambientale, intesa come stima di costi e di benefici ambientali, è una tematica ineludibile nello sviluppo di un progetto e, perché essa divenga una componente virtuosa del processo, non la si deve intendere come un obbligo (legale, formale, commerciale, ecc.) ma la si deve declinare nell'insieme di flussi di materiali e conoscenze che attraversano il processo edilizio. Alla luce di ciò, la complessità che caratterizza ogni nuova costruzione o intervento sul costruito si arricchisce di un tema d'analisi e di nuove esigenze a cui corrispondere; il processo edilizio, contemporaneamente, può sviluppare valore in funzione delle dinamiche e delle forme di comunicazione che lo percorrono e lo supportano.

Assistiamo a uno spostamento degli interessi dai beni materiali alle informazioni in merito a essi e ai processi che li generano, questa è una tendenza generalizzata che è possibile cogliere in modo trasversale in molti comparti produttivi e commerciali. Il riferimento all'epoca dei media, al valore dell'informazione e alla mancanza di giudizio causata dalla sovrabbondanza di informazioni sono tutte tematiche che hanno relazioni anche con il settore delle costruzioni e che portano gli attori del processo edilizio ad acquisire una differente consapevolezza in merito ai propri ruoli, in funzione di una dichiarazione reciproca e di una più evidente e strutturata organizzazione reticolare: sarà il *network* dei portatori d'interesse che giudicherà gli esiti fisici del processo edilizio (l'edificio) e il percorso che ha portato al progetto e alla costruzione, un giudizio che considererà anche ciò che rimane nascosto, o invisibile.

Lo sviluppo di un progetto e l'organizzazione delle fasi della costruzione di ogni edificio sono soggetti a valutazioni in base a parametri di *time*, *cost*, *quality* in relazione ad una sequenza di azioni. Nella società industriale dell'inizio del Novecento, ricercando metodi semplici per l'organizzazione del lavoro che si faceva sempre più complesso mano a mano che le macchine affiancavano l'uomo nei lavori di fabbrica, Henry Laurence Gantt mise a punto un diagramma per visualizzare le mansioni in relazione al tempo. Al diagramma di Gantt si affianca o sostituisce spesso il diagramma di Pert che, inventato alla metà del secolo

scorso per ottimizzare la produzione dei sottomarini nucleari in forza alla marina statunitense, è utile a esplicitare l'interdipendenza delle attività e a programmare processi alternativi a seconda che l'andamento *time* giochi più o meno a favore del raggiungimento di un'ottima relazione tra *cost* e *quality*.

Se il diagramma di Gantt e il diagramma di Pert indicano una direzione, ricercando il valore aggiunto da una buona rete di connessioni, di saperi, di scambi e collaborazioni, è possibile ricercare ulteriormente la valorizzazione di tali aspetti, alla luce di nuovi e più complessi sistemi di relazione tra i portatori d'interesse, nell'epoca della comunicazione. Il mondo delle costruzioni, pur essendo ancora fortemente determinato dalla terna *time, cost, quality*, riconosce che le questioni ambientali e sociali del costruire³ influenzano il valore del costruito in maniera sempre più rilevante⁴. Spostando il *focus* della questione ambientale sulla varietà delle interazioni che hanno luogo durante ciascun processo edilizio questo si arricchisce di una nuova rosa di soggetti, che in qualche modo sono in esso coinvolti. Si modifica la definizione di "utenti del costruito", che non sono solamente coloro che entreranno dell'immobile, lo vivranno e lo utilizzeranno, si valorizza la consapevolezza che il progetto d'architettura ha influenze virtuose e impatti che travalicano i confini del *time, cost, quality* misurabili nelle fasi di progetto e cantierizzazione. Si considerano "utenti del costruito" tutti coloro che sono responsabili delle interferenze che si instaurano tra l'edificio e il contesto in cui questo è collocato, un contesto ampio quanto il perimetro delle ricerche e praticabile quanto consentito dagli strumenti a disposizione dei progettisti e dei costruttori (Barucco, 2014).

3 L'Agenda 21 che il CIB ha dedicato alla sostenibilità delle costruzioni nel 1999 illustra il nuovo approccio alla progettazione in un contesto globale inserendo la terna *time, cost, quality*, espressione della competitività in ogni processo edilizio tradizionale, all'interno di un nuovo paradigma basato sulla considerazione degli impatti ambientali (in termini di emissioni, sfruttamento delle risorse e di relazione con la biodiversità locale). Queste due terne di valori vengono, a loro volta, inserite in un contesto ancora più ampio, il contesto globale, all'insegna dello studio della qualità ambientale, delle questioni economiche più ampie e dell'equità sociale e culturale.

4 Questione che, in alcuni contesti, determina le fortune degli immobili residenziali ma che mostra la propria forza specialmente nella descrizione del valore degli immobili destinati al settore terziario.

Alla luce di un contesto sempre più ampio, in termini geografici e temporali, aumenta l'importanza di una buona comunicazione, che influenza l'evoluzione del quadro esigenziale degli utenti, e l'affinarsi delle prestazioni che il progetto può garantire, del dettaglio che possono raggiungere le analisi di sostenibilità ambientale. Lo schema proposto dall'SB05 organizza in "macrocategorie" i soggetti coinvolti nel progetto e nel ciclo di vita degli edifici: l'ambito accademico (della ricerca), le autorità (per lo sviluppo e il rispetto degli standard) e tutti coloro che nel processo edilizio sono impegnati per lavoro (sia che si tratti dei progettisti che delle industrie afferenti al settore delle costruzioni); un'ulteriore ma primaria categoria, gli *users*, che riunisce tutti sotto la definizione di "utenti del costruito", ovvero "il mostro che muove l'azienda e i fornitori suoi" che Galgano descrive nel suo libro dedicato alla qualità totale (1990).

I profili LSF possono contribuire allo sviluppo delle idee e dei progetti degli architetti non solo nei termini più evidenti di riduzione dei tempi e dei costi di produzione e messa in opera; la natura del progetto in acciaio sagomato a freddo ben si presta alla relazione con un numero di utenti e un contesto articolato. La precisione delle informazioni per lo sviluppo del costruito e le strumentazioni per la produzione, la costruzione e la gestione degli immobili ampliano le possibilità d'impiego di questa tecnologia che nei paesi del Nord Europa è sfruttata soprattutto per la realizzazione di complessi edilizi di medie e grandi dimensioni, in America è favorita nella realizzazione di abitazioni singole e che in Oriente sono di ampio impiego dopo che l'acciaio sagomato a freddo è stato uno dei prodotti chiave per lo sviluppo delle strategie governative per la ricostruzione postbellica in Giappone (Barucco, 2015).

In Italia l'impiego dell'acciaio sagomato a freddo è prassi in alcune opere di ingegneria ma non è ancora diffuso nella sua articolazione quale sistema tecnologico, sia in forma di struttura portante indipendente che in forma di struttura collaborante con impalcati in acciaio o in muratura. Per questa ragione non è corretto definire il sistema CFS come un'innovazione; d'altro canto, il comparto edilizio più legato alla prassi costruttiva storicamente affermata fa da freno all'impiego di queste nuove soluzioni, le cui potenzialità non sono ancora diffu-

samente note. L'Eurocodice 3⁵, le sue recenti integrazioni⁶, le norme UNI che declinano le varie specifiche e la marcatura CE per il controllo dei processi di fabbricazione costituiscono una base completa di informazioni utili all'impiego dell'acciaio sagomato a freddo, che ne favoriscono la diffusione quale innovazione incrementale, con tratti di novità che fanno percepire questo sistema tecnologico assolutamente nuovo. Le differenze si colgono al confronto con qualunque altra soluzione, sia nelle fasi di progettazione (sempre più legate alla relazione tra differenti e varie figure specialistiche) e relazione con la produzione (stabilimenti di produzione, officine di lavorazioni metalliche, centri di trasformazione di lamiere grecate e profilati formati a freddo), che nelle fasi di costruzione (più simile alla produzione in fabbrica che alla lavorazione in cantiere tradizionale) e di gestione degli immobili (all'estero esistono vere e proprie agenzie che offrono servizi di manutenzione e riqualificazione degli immobili, garantendo sostituzioni, permuta o acquisto e rivendita di edifici in CFS).

Saranno, forse, queste differenze ad avvantaggiare il sistema tecnologico in CFS a fronte della crisi che registrano le imprese di costruzione e i produttori di materiali e prodotti per l'edilizia registrano, assieme ai progettisti. La crisi del settore edile segna una frenata nella crescita economica del comparto in Italia, ma il CRESME⁷, sottolinea l'avvio del settimo ciclo edilizio: i dati disponibili a livello nazionale e il con-

5 Gli Eurocodici sono norme europee per la progettazione strutturale, l'Eurocodice 3 è dedicato alle strutture in acciaio a ed è stato pubblicato nel 1993. In particolare, si fa riferimento alla UNI EN 1993-1-3:2007 Parte 1-3: Regole generali - Regole supplementari per l'impiego dei profilati e delle lamiere sottili piegati a freddo.

6 Gruppi di ricerca italiani hanno avuto un ruolo importante nella definizione di tali standard europei. Si faccia riferimento alle ricerche del prof. Landolfo (Dubina, 2012).

7 Il Centro di Ricerche Economiche e Sociali del Mercato dell'Edilizia, servizi per chi opera nel mondo delle costruzioni e dell'edilizia (CRESME) ha confermato nel XXIII Rapporto Congiunturale e Previsionale che negli anni 2016-2018 si entrerà nel settimo ciclo edilizio. "È un ciclo edilizio selettivo in termini di tipologie di prodotti, di servizi, di modelli di offerta e di territori, ma è l'avvio di una fase nuova. Con la crisi le costruzioni hanno visto chiudere 80.000 aziende e perdere 700.000 addetti della filiera tra diretti e indotti, ma è anche vero che una parte del mercato delle costruzioni è stata occupata dai servizi e dagli impianti" (CRESME, 2016).

fronto con le statistiche internazionali diffuse da ACE⁸ mostrano che alcuni ambiti di attività (adeguamento impiantistico, riqualificazione e ampliamento) registrano una certa tenuta e, in relazione al calo generalizzato degli investimenti in immobili, addirittura una crescita. Inoltre, soprattutto nel campo delle ristrutturazioni e delle nuove costruzioni, si osserva che nel dialogo tra progettisti, normatori e costruttori vanno incuneati gli utenti del costruito, quegli utenti che CRESME e ACE descrivono più esigenti rispetto a quanto registrato nei precedenti cicli edilizi: gli interventi di nuova costruzione hanno successo a patto che rispondano a queste nuove e più complesse esigenze in termini di efficienza energetica e di sostenibilità ambientale, lo stesso dicasi per gli interventi di riqualificazione⁹ e ampliamento dell'esistente, sempre comunque votati a una maggiore efficienza energetica della preesistenza e all'impiego di nuove tecnologie.

Le *performance* legate al comfort e ai consumi degli edifici vengono previste, progettate, garantite e verificate nel tempo; a queste è legata una parte consistente del valore dell'immobile (andando ad intaccare la definizione *location, location, location*¹⁰). Le *performance* vengono sviluppate grazie all'impiego di soluzioni progettuali e apparati tecnici che percorrono come vasi sanguigni ogni parte dell'organismo edilizio; tali dotazioni si affermano come un insieme indispensabile per la buona vita dell'edificio (e quindi una parte ineludibile del progetto architettonico). Inoltre, la crescente sensibilità nei confronti dell'ambiente naturale porta gli utenti a non domandare la qualità della costruzione esclusivamente in relazione a chi ne sfrutterà l'ambiente interno, ma anche a chi ne abiterà l'intorno, il contesto; un contesto tanto più

8 Architect's Council of Europe (ACE) ha pubblicato, grazie alla collaborazione con Mirza & Nacey Research Ltd, un'analisi aggiornata al 2014 in merito allo sviluppo della professione dell'architetto: sono stati intervistati 18.000 architetti in 26 nazioni UE.

9 Il 57% degli incarichi lavorativi assegnati agli architetti europei è un intervento di riqualificazione dell'esistente, questa percentuale sale al 75% se si considerano solo gli incarichi assegnati agli architetti italiani (stime ACE 2014).

10 I tre fattori che maggiormente incidono sul valore degli immobili: location, location, location. Si ritiene che questo modo di dire sia stato inventato da Harold Samuel, fondatore di una grande società di real estate inglese (la Land Securities).

ampio quanto più efficace è l'analisi e la descrizione di sostenibilità ambientale che si utilizzerà per lo sviluppo del progetto.

Questo processo aumenta la complessità e il numero delle specializzazioni, peraltro inevitabili, comporta nuovi rischi e ci ricorda un richiamo di Giuseppe Ciribini a fronte delle innovazioni che nel nostro Paese avevano accompagnato le politiche per la casa degli anni '70 e '80 del secolo scorso: "La complessificazione delle conoscenze, che ci ha costretto all'analisi più minuta e alla specializzazione più spinta, ha [...] fatto perdere di vista le esigenze di sintesi [...] oggi così indispensabili" (Ciribini, 1981). È la ricerca, ancora una volta, di tale sintesi che muove le ragioni della presente pubblicazione sui tre temi della percezione, dei progressi e dei problemi legati al progetto e alla costruzione in acciaio sagomato a freddo. Una sintesi che sia rafforzata e non infragilita dal numero di interlocutori coinvolti in un processo, sia esso volto alla ricerca, all'informazione o alla progettazione e alla costruzione.

I saggi che aprono la pubblicazione sono dedicati alla percezione delle potenzialità costruttive, delle pratiche d'uso e delle soluzioni possibili grazie all'uso di un sistema costituito da aste e traversi in metallo sottile, per comprendere come sviluppare progetti che sfruttino i pregi del CFS, anche per la progressiva definizione di un linguaggio architettonico proprio.

A loro volta, gli sviluppi individuabili in un percorso storico che tratta dell'evoluzione e dell'innovazione dell'uso dell'acciaio sagomato a freddo sono trattati da Vittorio Manfron e da Sergio Russo Ermolli, che analizzano l'impiego dell'acciaio sagomato a freddo nel contesto italiano sia nell'ambito delle nuove costruzioni che per la riqualificazione del patrimonio edilizio esistente. Alcuni esempi di edifici, realizzati specialmente in ambito estero, sono riportati nel testo di Valentina Manfè e aprono a spunti formali e a riflessioni di ambito progettuale. Relativamente alle problematiche del rapporto tra progetto e cantiere nell'impiego dell'acciaio sagomato a freddo assumono rilevanza le potenzialità delle procedure BIM, strumento e sistema di supporto oltre che metodologia di interrelazione tra specialismi differenti. Le relative questioni sono analizzate da Margherita Ferrari ed Emilio Antonioli. Relativamente poi a una definizione sintetica (ma organica) del quadro normativo di riferimento si veda il contributo di Monica Antinori con Monica Scavazza.

Il presente lavoro vuole contribuire alla conoscenza di una sistema tecnologico che può contribuire allo sviluppo di una industria delle costruzioni all'interno delle non facili tematiche della sostenibilità ambientale. A far data dalla Conferenza CIB di Tokyo, di cui si è visto in apertura, i dati e le conoscenze accumulati sulla questione consentono di definire linee guida a livello internazionale e per l'industria delle costruzioni si apre una nuova sfida fra *competitor*, siano essi progettisti, produttori o costruttori. Di questo si occupano, nel seguito, Antonio d'Acunzi e Chiara Trojetto.

In conclusione, tornando alla questione posta da Ciribini in merito allo sviluppo delle interrelazioni tra il cantiere e l'industria, le conclusioni del presente volume sottolinea che ciò che traspare da tutti i contributi è l'esigenza della ridefinizione dei rapporti tra industria e cantiere e tra uomo e macchina: ciò deve essere considerato in funzione della possibilità di creare valore durante l'intero ciclo di vita dell'edificio, dalle fasi di ideazione e quelle del riciclo post-demolizione. Ciò pone nuovamente al centro del dibattito la figura degli *user* (come riferito dallo schema della conferenza SB05), utenti posti tra loro in relazione da una fitta rete di informazioni e scambi, una rete che è di sostegno allo sviluppo del progetto ma che, al contempo, deve essere compresa e conosciuta attraverso un forte carattere di progettualità che deve caratterizzare la tecnologia, sia essa materiale (votata all'analisi delle aste in acciaio sagomato a freddo), sia essa invisibile (nascosta e utile a comprendere i processi sottesi a produzione e progetto). Attraverso questo, che potremmo definire progetto tecnologico, si potranno ideare e costruire soluzioni "a misura d'uomo", in modo coerente agli obiettivi che l'architettura si pone per l'oggi e per il domani del costruito in relazione ad un contesto ambientale, sociale ed economico in evoluzione.

Bibliografia

- Barucco MA., *Innovazione Semantica*, in Barucco MA. (a cura di), *Durabilità. Longue durée*, Aracne, 2014.
- Barucco MA., *Progettare e costruire in acciaio sagomato a freddo*, Edicom, 2015.
- CIB, *SB05 Tokyo: Action for Sustainability - The 2005 World Sustainable Building Conference*, Tokyo, 27 - 29 September 2005.
- Ciribini G., *La tecnologia del progetto come strumento di guida del processo progettuale*, Torino, 1981.
- CRESME, *XXII Rapporto Congiunturale e Previsionale. Il mercato delle costruzioni 2016*, CRESME 2016.
- Dubina D., Landolfo, R., Ungureanu V., *Design of cold-formed steel structures. Eurocode 3: design of steel structures part 1-3*, Ernst & Sohn, 2012.
- Galgano A., *La qualità totale*, Il Sole 24 ore libri, 1990.

Elementi per la progettazione Design elements

MariaAntonia Barucco

**Architetto e dottore di ricerca in Tecnologia dell'architettura,
ricercatore presso Dipartimento di Culture del progetto,
Università Iuav di Venezia**

The technological system called Lightweight Steel Frame (LSF) is offered to architectural design provided with a kit features that highlight some advantages, significant from the execution point of view (from design to implementation, until the end of life), and which show the critical issues, especially related to the mismatch to the consolidated use of wet technologies.

The use of thin sheet steel profiles which are made by cold shaping is not, however, a purely technical matter. Design to build in CFS may be an advantage in overcoming the objective difficulties (and concern) related to the innovation of the production, especially in comparison with traditional construction systems. It should be exciting to accept the challenge of the project in relation to the complexity of the digital factory employing a “new” technology, which still awaits an articulate declination of their design and ex-pressive potential.

A new complexity, a new technology, a new challenge, as others have been already addressed by the project and by the yard in the past. This essay reads the studies of the ‘80s, the words of Spadolini, in particular. All this in order to foresee the potential of the project in LSF and to develop an increasingly close relationship between the design, industry, technology and construction.

Il sistema *Lightweight Steel Frame* (LSF) si offre alla progettazione architettonica dotato di un corredo di caratteristiche che ne evidenziano alcuni vantaggi, notevoli dal punto di vista dell'esecuzione (dal progetto alla messa in opera sino al fine vita), e che ne espongono le criticità, legate soprattutto alla non corrispondenza al consolidato impiego delle tecnologie a umido. L'impiego di profili in acciaio di spessore sottile realizzati tramite sagomatura freddo non è, però, una questione prettamente tecnica.

Gli "elementi per la progettazione in CFS (*Cold Formed Steel*)" non sono gli stessi "elementi per la costruzione" (ai quali è dedicato il saggio seguente): si tratta di prospettive e soluzioni nuove, spunti per la valorizzazione del lavoro del progettista a fronte di una nuova complessità delle esigenze e, di conseguenza, del costruire. Costruire in CFS può costituire un vantaggio nel superamento dell'oggettiva difficoltà (e preoccupazione) che l'innovazione della produzione trova al confronto con i tradizionali sistemi costruttivi: può essere stimolante accettare la sfida del progetto in relazione alle complessità della manifattura digitale impiegando una tecnologia "nuova", che ancora attende una articolata declinazione delle proprie potenzialità progettuali ed espressive.

Una nuova complessità, una nuova tecnologia, una nuova sfida: ma non si tratta, in effetti, di questioni inaspettate o improvvisamente poste a fronte del lavoro dell'architetto. Era il 1981 quando Pierluigi Spadolini introduceva il 17° SAIE di Bologna descrivendo l'evoluzione del progettare e del costruire. Tale evoluzione, per Spadolini, non si caratterizzava tanto per la scoperta di materiali e tecnologie nuovi, quanto per un insieme di operazioni molto complesse, per la gestione delle quali era necessario sviluppare capacità organizzative, che avrebbero ampliato la rosa degli occupati nel settore edile di una nuova figura, legata al *management* (Manfron, 1996).

Lo spazio e il rilievo della progettazione architettonica e della sua evoluzione potrebbero apparire "schiacciati" dalla necessità organizzativa, dagli aspetti gestionali, dalle caratteristiche di innovazione legate al distacco dalla prassi costruttiva a favore, per l'appunto, delle soluzioni a secco quali i profili metallici sagomati a freddo ai quali



Figura 1. La copertina disegnata da Alberto Pratelli per la pubblicazione dedicata al Cuore Mostra SAIE del 1981. Nella premessa, scritta da Giuseppe Ciribini, si legge: «La complessificazione delle conoscenze, che ci ha costretto all'analisi più minuta e alla specializzazione più spinta ha [...] fatto perdere di vista le esigenze di sintesi e la necessaria strumentazione correttiva delle deviazioni, oggi così indispensabili» (Spadolini, 1981). L'iniziativa raccoglie testi volti a offrire uno sguardo strategico sul futuro delle città italiane a valle delle sei monografie dedicate ad altri undici paesi europei. *Immagine di Bologna Fiere S.p.a.*

l'Italsider dedica una serie di quaderni tecnici a partire dal 1984¹. Spadolini però spiega che «risulta indispensabile in questo quadro riproporre una stretta correlazione fra la progettazione, le scelte tecnologiche e le scelte costruttive e realizzative» (Spadolini, 1981).

Al 2016, a trentacinque anni dalle parole di Spadolini, una generazione di architetti è stata formata nell'articolazione dei temi di tale comunione, tra progettazione e tecnologia². Attualmente non sempre si è in grado di individuare nel costruito quella tanto auspicata convergenza tra progettazione tecnologica e realizzazione costruttiva e non sempre si avverte la necessità di tale convergenza, tante sono le opere in cui questa è smentita.

Il carattere enciclopedico della passata Biennale di Architettura di Venezia (la 14° edizione, nel 2014) è solo un esempio dell'evoluzione della progettazione architettonica e delle ricerche della tecnologia dell'architettura: viene sottolineata la virtuosa coerenza tra il progetto e gli elementi che lo compongono. Spadolini ammoniva i progettisti della mancata convergenza tra progettazione tecnologica e realizzazione costruttiva: indicava, come causa di ciò, la netta scissione tra la fase della progettazione, quella della sua definizione (attraverso le scelte tecnologiche) e della realizzazione (la costruzione). Avvertita e definita la criticità, non sempre è facile trovarne la soluzione. Come con alcune equazioni: senza l'aggiunta di un'incognita, non è possibile procedere. Si consideri la tecnologia LSF come l'incognita aggiunta.

La tecnologia LSF a molti appare come un'incognita: quando si può usare? Come si producono le aste? Quanto costa? Come si calcola? Chi può realizzare questo genere di costruzioni? Quali sono i vantaggi in cantiere? Flessibilità? Sostenibilità ambientale? Durabilità? Carico al fuoco? Isolamento termico? E acustico? A dire il vero, la tecnolo-

1 I quaderni Italsider, pubblicati a partire dal 1984, analizzano i profili in acciaio sagomato a freddo e ne illustrano le modalità di posa e le caratteristiche strutturali. Tali profili però non hanno lo spessore sottile che oggi caratterizza le strutture in CFS: hanno come dimensione minima 1,5 mm e 8 mm di massima. Questa caratteristica non li rendeva convenienti per la sostituzione delle strutture in acciaio profilato a caldo (che copre luci più ampie) né come alternativa alle tradizionali strutture a umido.

2 I corsi di studio che io stessa ho frequentato spesso intitolano esami (corsi o laboratori) "progettazione integrata".

gia LSF è solo parzialmente un'incognita: gli studi sviluppati in Italia e all'estero (questi secondi sono più numerosi) descrivono l'impiego dell'acciaio sagomato a freddo sotto numerosi punti di vista. Vi è coincidenza tra le norme tecniche e le possibili soluzioni offerte da tale tecnologia. Vi sono progetti e sperimentazioni progettuali che fanno dell'impiego dell'acciaio sagomato a freddo un vantaggio per l'opera e un carattere dell'architettura.

Tornando a considerare la tecnologia LSF come un'incognita in un'equazione, è importante ricordare che l'incognita va aggiunta non solo nell'ambito della tecnologia, ma anche in quello della progettazione. L'incognita aggiunta a entrambi i membri dell'equazione apre prospettive e si scoprono nuove soluzioni in virtù di una nuova complessità. Spadolini porta gli architetti a comprendere che «il costruire oggi è caratterizzato da un processo di fasi ed operazioni molto complesse, la cui gestione [...] richiede una organizzazione di tipo industriale» (Spadolini 1981). Non è plausibile che Spadolini, riferendosi ad “organizzazione industriale”, pensasse alla catena di montaggio di impronta fordista in cui si possono produrre automobili di qualunque colore, purché nere; è possibile invece immaginare che invitasse alla comprensione e all'approfondimento di quella serie di istituzioni che costituiscono l'insieme delle regole per il comportamento sociale nell'ambito dello sviluppo di un progetto e di un'architettura (alcune istituzioni formali, molte informali). L'industria delle costruzioni è, per sua natura, una produzione diversamente complessa rispetto a quella che si sviluppa all'interno di ogni altro stabilimento industriale tradizionalmente concepito.

Il prodotto dell'industria viene sviluppato attraverso un processo: una linea di produzione o una catena di montaggio che, per quanto articolate, prevedono una consequenzialità di operazioni e l'intervento di operai e tecnici che si distinguono da altri per la loro specializzazione. Anche nell'ottica del *lean management*, qualora si invertissero i ruoli degli addetti o si sostituissero operazioni manuali con operazioni meccaniche, si può sempre comunque riconoscere una costante negli uomini che lavorano alla produzione, come rimangono costanti le operazioni da svolgere per realizzare un prodotto. In merito al prodotto: se una volta la standardizzazione era alla base della linea di pro-

duzione, ora la flessibilità del sistema consente di realizzare beni differenti, in funzione delle specifiche richieste della committenza. Sono comunque prodotti simili tra loro e, il più delle volte, le variazioni riguardano i modelli dello stesso prodotto, le finiture e gli accessori.

Il prodotto dell'industria delle costruzioni, l'edificio, è unico innanzitutto perché si relaziona a un unico contesto. Ogni processo edilizio³ prevede che sul lotto di progetto, caratterizzato dalla propria unicità, interverranno squadre di operai e tecnici che, probabilmente, finito il cantiere, non si incontreranno più e, se lo faranno, sarà per la realizzazione di un edificio diverso, in un diverso lotto. Ogni opera di costruzione descritta da Spadolini «poteva, in effetti, considerarsi un prodotto sempre differente, quasi sperimentale, che corrispondeva alla capacità creativa del progettista e delle maestranze» (Spadolini, 1981). Egli declina queste sue riflessioni a un tempo passato in quanto uno degli obiettivi del suo testo era chiarire che l'unificazione di alcune lavorazioni comporta una modifica del prodotto finito (che sia elemento tecnico o che sia edificio): questo appare più costante e simile ad altri perché frutto della meccanizzazione e non esclusivamente dell'interpretazione artigianale.

Mettere al confronto le due produzioni descritte (quella industriale e quella edilizia) evidenzia che per molto tempo la produzione industriale ha subito (e ancora subisce, oltre che sfruttare) il fascino dell'abbassamento del costo in funzione della produzione in serie; l'edilizia non ha mai raggiunto una vera produzione industriale e, anche se sono state fatte numerose (e alcune brillanti) sperimentazioni, la dimensione degli interventi non ha mai raggiunto un quantitativo proprio della produzione in serie (se non per determinati componenti). «Il mito della casa totalmente industrializzata, come l'automobile, si è manifestato privo di una reale possibilità applicativa» (Spadolini, 1981) ed è possibile pensare che questo mito sia disatteso per la ragione che ogni edificio viene realizzato come un prodotto unico, per utenti dalle esigenze

3 Ogni processo edilizio esclusi quelli legati alla prefabbricazione pesante che impiega tecnologie come il *banche-table* o il tunnel. “[...] dietro il mito della prefabbricazione e della razionalizzazione del processo di costruzione - considerate solamente nella loro dimensione quantitativa - si è nascosto il distacco del costruire dalla propria legittimazione culturale” (Nardi, 2010).

complesse e peculiari che, altrimenti, modificano gli edifici per farli aderire meglio alle proprie esigenze. La casa prodotta in serie è difficile da ipotizzare perché è impossibile standardizzare il contesto e perché è impossibile standardizzare i *desiderata* di ogni utente⁴.

L'edilizia, che spesso è debitrice delle innovazioni sviluppate in altri settori, probabilmente ha capito prima dell'industria che sono possibili soluzioni simili ma non soluzioni identiche e la produzione *on demand* di prodotti industriali mostra che, oggi, è possibile realizzare prodotti unici. D'altra parte, se la produttività del lavoro nel settore manifatturiero è cresciuta consistentemente negli ultimi decenni, nel campo delle costruzioni la produttività è calata: tra il 10 e il 15% dei materiali da costruzione che arrivano in cantiere, non diventerà mai parte dell'edificio, finirà in discarica e ogni modifica all'edificio effettuata durante il suo tempo d'uso produrrà nuovi rifiuti. Stando alle indicazioni degli studiosi della Stanford University e alle previsioni della McKinsey (Heck, 2014), la nuova produttività si basa su cinque punti: la sostituzione, l'eliminazione dei rifiuti, la circolarità, l'ottimizzazione e la virtualizzazione. Questi cinque punti dettati dalla Stanford University definiscono la *resource revolution* che determinerà una rivoluzione industriale chiamata manifattura digitale (o industria digitale) che ci porterà fuori dall'attuale crisi. Nel campo delle costruzioni la *resource revolution* influirà inizialmente sulla scelta dei materiali da costruzione e sull'impiego di adeguati *software* per la loro gestione; stando ai ragionamenti affrontati dall'architettura e sostenuti nelle parole di Spadolini, questa prospettiva determinerà l'urgenza della ricerca e del lavoro al fine di sviluppare progetti che siano organici dal punto di vista architettonico e coerenti con il contesto di riferimento (sia esso un contesto ambientale, economico, culturale, ecc.).

Il complessificarsi delle esigenze degli utenti e l'articolazione del settore edile mostrano che il prodotto edilizio non deve essere più conside-

4 Gli standard minimi definiti da leggi o norme non definiscono le soluzioni ideali per ciascun utente, il loro scopo è differente e volto alla descrizione di un livello al di sotto del quale è impossibile riscontrare una vera e propria qualità del costruito o degli elementi di cui il costruito è composto. Il rispetto degli standard minimi, definiti in questo modo, consente di progettare adeguatamente anche in periodi di crisi, qualora paia più impellente la necessità di costruire (tanto, a basso costo, ecc.) piuttosto che per lo sviluppo di soluzioni dalle alte prestazioni.

rato un prodotto povero rispetto, ad esempio, a una costruzione navale o a un complesso prodotto industriale. Per coerenza nei confronti di questa affermazione è necessario riconoscere l'emancipazione della produzione edilizia dall'artigianalità di esclusiva discendenza dalle tecniche antiche del costruire.

L'artigianalità antica non scomparirà, diventerà sempre più necessaria e fondamentale: ci sarà sempre uno spazio per il costruire a regola d'arte e nulla scalfirà mai il fascino di un muro in pietra a secco o a tre teste di laterizio a faccia vista; inoltre, al passare del tempo, il patrimonio edilizio esistente necessiterà di cure sempre più intense e raffinate. Il progetto acquista una notevolissima dimensione culturale (e anche economica) se si fa riferimento ai caratteri costruttivi dell'edilizia storica non solo italiana, ma anche di tutti i Paesi europei (e non solo). Dall'altro lato, è necessario consentire che l'artigianalità del saper fare storico si arricchisca della nuova artigianalità che, oggi, trova la sua espressione più nota nel lavoro dei cosiddetti *makers*: lo scalpello e il martello sono sostituiti dal controllo di macchine (anche piuttosto semplici) con *software* (complessi). L'impiego di questi *software* e il loro sviluppo avviene spesso grazie alla gratuita collaborazione e al muto scambio di informazioni, in relazione a un dialogo che trascende i confini (non solo della bottega ma anche delle nazioni) e che si basa su un linguaggio comune, a disposizione dell'ingegno dei singoli per corrispondere alle esigenze di molti.

Oggi, spesso l'innovazione si sviluppa combinando le tecnologie produttive della tradizione (dimenticate o ancora in uso) con nuovi strumenti virtuali e *software* che possono dar loro nuova forza e rapido sviluppo, a patto che vi sia un adeguato aggiornamento dei relativi modelli di organizzazione del lavoro (e a volte anche nuovi modelli di *business*). La combinazione di tecnologie, l'aggiornamento del lavoro e le eventuali nuove opportunità di *business* seguono dei percorsi che non definiscono una gerarchia di priorità o di processo ma che contribuiscono a identificare in modo trasversale delle opportunità o, se vogliamo, nuovi valori insiti nella produzione in chiave di *resource revolution* (Heck, 2014):

- sostituire materiali e tecnologie a vantaggio di una diminuzione del consumo di risorse che non sono illimitate;

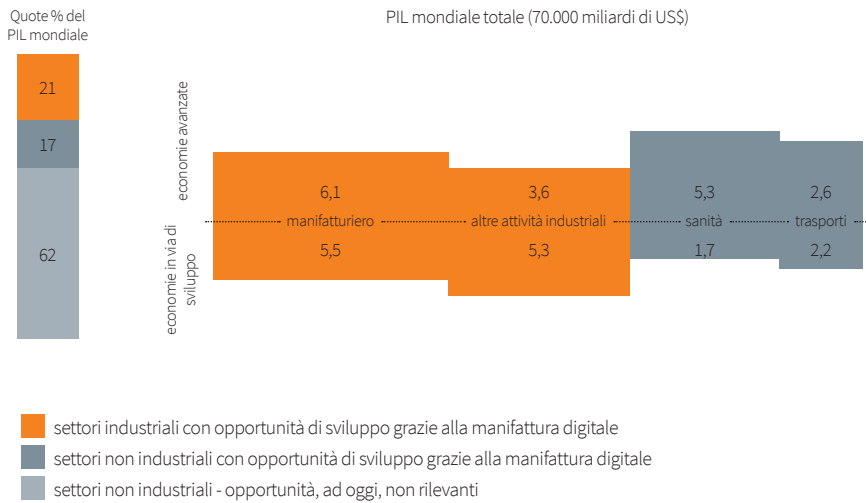


Figura 2. La manifattura digitale ha un potenziale valutato in 15,3 trilioni di dollari americani a fronte di una spesa in ricerca e in innovazione pari a 514 bilioni di dollari americani (con un ritorno dell'investimento pari al 150%). Questa stima è fornita dall'Industrial Internet Insight Report (GE and Accenture, 2015) analizzando l'economia mondiale e il suo sviluppo entro l'anno 2030. Lo studio citato specifica anche i settori nei quali saranno più proficui gli investimenti in sensori, internet e, in generale, sistemi e software; le opportunità hanno entità differenti a seconda del settore d'applicazione (industriale o non industriale) e del contesto economico di riferimento (economie avanzate o in via di sviluppo). *Rielaborazione grafica di Margherita Ferrari.*

- eliminare i rifiuti legati alle attività di produzione dei materiali da costruzione e anche al fine vita degli edifici;
- progettare tutte le fasi del ciclo di vita dei prodotti edilizi, in modo tale da recuperarne il valore ambientale (e almeno parte del valore economico) dopo il loro impiego;
- ottimizzare il processo sin dalla fase di progetto, intervenendo anche nella fase d'uso e fine vita del bene;
- aumentare la virtualizzazione delle attività spostandole al di fuori del mondo fisico e trascendendo dagli automatismi della prassi (il riferimento ai sistemi BIM è esplicito).

In questo contesto la tecnologia che impiega i profili leggeri in acciaio sagomato a freddo è un'opportunità: le «nuove complessità» e le «operazioni molto complesse» (Spadolini, 1981) sono l'occasione per lo studio della divisione del lavoro (e dell'interesse a parteciparvi) che sostengono e diffondono anche le reti dei *makers*. È possibile tentare la declinazione della “stretta correlazione” tra la progettazione, l'industria, la tecnologia e la costruzione che auspicava Spadolini in virtù dei cinque punti chiave per la *resource revolution*.

Bibliografia

Heck S., Rogers M., *Resource Revolution: How to Capture the Biggest Business Opportunity in a Century*, Melcher Media, New York 2014.

Manfron V., *Costruire è solo organizzazione: organizzazione sociale, tecnica, eco-nomica, psichica (H. Meyer)*, in Manfron V. (a cura di), *6 lezioni di edilizia*, quaderno IUAV.14.2000, Cartotecnica Veneziana, Venezia 2000.

Nardi G., *Percorsi di un pensiero progettuale*, Maggioli, Rimini 2010.

Spadolini P., *Progettare nel processo edilizio*, in Mario Zaffagnini (a cura di), *Progettare nel processo edilizio: la realtà come scenario per l'edilizia residenziale*, Edizioni Luigi Parma, Bologna 1981.

Elementi per la costruzione Construction elements

MariaAntonia Barucco

**Architetto e dottore di ricerca in Tecnologia dell'architettura,
ricercatore presso Dipartimento di Culture del progetto,
Università Iuav di Venezia**

The Lightweight Steel Frame technology (LSF) employs profiles made by thin steel and manufactured by cold forming. This technology dates back to the mid-1800s and today the flexibility of the industrialized production enables innovations and benefits in the use of it: buildings can be designed with a very high level of detail, using the precision of the industrial design or on-demand production. Each profile in Cold Formed Steel (CFS) is designed and built for a specific purpose and industrial finishing follows the work of the designer, without imposing constraints, such as modularity and mass production. The manufacturing of cold-formed steel rods is made by profiling, or press bending. The use of CAD/CAM solutions for the design and the production promote the diffusion of profiling during LSF processing. The CFS rods can be produced of whatever length (even all of different lengths) from the same sheet metal strip and without interrupting or slowing down the processing. Furthermore, shapes and profiles can be many and different. The manufacturing is highly customizable, just so the changes in shapes and profiles are carried out in compliance with the UNI EN 1090 and meet the tolerances required by law.

Design a building with the LSF system requires attention to several issues. The CFS is a real system and affects the calculation of the structures so, a correct approach to the project is crucial. The collaboration between designer, structural engineer, engineering, manufacturer, and construction company can't be underestimated. The quality of the project and of teamwork allow to realize low cost buildings in a short time and with high performance. These design principles also allow the development for an accurate sustainability analysis. Thanks to the Life Cycle Analysis (LCA), all kinds of processing can be described in terms of energy and CO2 emission costs. This analysis can be performed right from the materials production and construction elements. The research focuses on the project and the buildings even during the phase of use, consider maintenance and theorize the disassembly operations (or demolition) and recycling (or reuse) of the constituent parts of the buildings.

Some early data collected, even about the end of life of buildings (case studies), show the advantages associated with dry machining in terms of savings in economic and environmental costs in comparison with buildings constructed with traditional technologies.

La tecnologia *Lightweight Steel Frame* (LSF) impiega profili in acciaio di spessore sottile realizzati tramite sagomatura a freddo. Questa tecnologia, che fonda le proprie origini a metà del 1800, trova oggi nuovi spunti e vantaggi grazie alla flessibilità della produzione industrializzata: è possibile progettare edifici con il livello di dettaglio tipico del disegno industriale e delle produzioni *on demand*. Ogni profilo in acciaio sagomato a freddo (*Cold Formed Steel*, CFS) è disegnato e realizzato per uno specifico scopo e la lavorazione industriale segue la progettazione senza imporre i vincoli della modularità e della serialità.

Le modalità di realizzazione di una struttura in acciaio sagomato a freddo hanno mutuato dall'industria del legno americana alcune classificazioni: una costruzione realizzata con pareti continue prende il nome di *balloon frame* e se i solai interrompono lo sviluppo delle pareti il sistema è detto *platform frame*. Il *balloon frame* in passato consentiva un risparmio di elementi costruttivi per gli orizzontamenti e una migliore tenuta all'aria delle chiusure perimetrali. Oggi non sono più riscontrabili questi vantaggi e si impiega spesso il *platform frame*, impiegando ogni solaio come base per la realizzazione delle strutture di elevazione e del successivo impalcato orizzontale. Non vi sono limiti nella composizione dei pacchetti tecnologici e i progetti si sviluppano solitamente con stratigrafie interamente realizzate a secco. I profili di CFS (anche detti aste) sono generalmente prodotti con acciaio S350 (e comunque in rispondenza a quanto indicato nelle Norme Tecniche per le Costruzioni e UNI EN 10025, 10146, 10149 e 10326). Possono avere spessori e geometrie variabili a seconda che siano elementi strutturali o meno. La gamma degli spessori consentiti dalla normativa parte da 0,6 mm e arriva a 15 mm; generalmente si impiega acciaio di 10/10 mm di spessore per gli usi strutturali (si impiegano lamiere anche di 3 mm, meno frequenti sono i profili strutturali di 8/10 mm), le aste non portanti vengono invece in genere realizzate con spessori di 5/10 o 6/10 di mm.

Chiusure e partizioni verticali

Le pareti portanti sono realizzate grazie allo sviluppo e alla messa in opera di un sistema di profili CFS, definiti in relazione alla loro funzione:

- i montanti (*studs*), disposti in verticale, hanno il compito di trasmettere i carichi a terra;



Figura 1. Struttura in acciaio sagomato a freddo, foto di cantiere. *Immagine di SPH S.r.l.*

- i traversi (*joists*) hanno disposizione orizzontale e permettono di stabilizzare i montanti e contrastare le deformazioni;
- i diagonali (*diagonals*) controventano il sistema, impedendo le deformazioni del telaio che costituisce la parete.

Per la realizzazione dei montanti generalmente si impiegano elementi a sezione C con un interasse di 600 o di 1200 mm, una distanza indicata anche per agevolare la messa in opera dei pannelli di rivestimento, ottimizzare i tempi di lavorazione, ridurre i tagli e gli scarti in cantiere. I profili a C più diffusi in Italia hanno l'anima di 90 mm (*web*), ali da 40 mm (*flange*) irrigidite da un'ultima piega a formare bordi di 10 mm (*lips*); più di rado vengono impiegati profili con anima di 150 mm. Analoghi elementi sono utilizzati come guide (o binari): si tratta dei terminali superiori e inferiori di tutte le aste montanti. Al di fuori dei contesti più innovativi le guide vengono realizzate con profili ad U, senza *lips*, in modo da agevolare l'inserimento dei montanti: questa soluzione deriva dalla prassi costruttiva americana, più legata all'autocostruzione e che al preciso controllo del progetto consentito dai processi CAD/CAM e BIM.

Con un progetto esecutivo ben sviluppato, la macchina profilatrice produrrà guide a C con *lips* interrotti (*lips notch*) nei punti esatti dove dovrà essere inserito il montante. In modo analogo si realizzano anche i fori per l'inserimento delle viti che connettono tra loro le aste (*truss hole*) e i fori per il passaggio degli impianti (*service hole*). Questo genere di lavorazioni fa sì che in cantiere arrivino aste sulle quali non sono necessarie lavorazioni di taglio o sagomatura, ogni asta è marchiata con i codici definiti dai disegni e dagli schemi di montaggio delle varie parti dell'edificio: il montaggio avverrà senza necessitare di ulteriori misurazioni o verifiche dei passi strutturali. Usualmente i traversi (o correnti orizzontali) sono disposti ad una distanza di circa 800 mm l'uno dall'altro e realizzati mediante profili ad U (senza *lips*), forati per il passaggio dei montanti (lavorazione detta *nogging notch*). In Italia è raro che i traversi vengano realizzati con elementi piani non sagomati: i nastri collaborano all'irrigidimento della struttura solo con la sezione resistente al taglio e sono privi delle ali che, nei profili ad U, rinforzano l'anima del profilo. Per evitare le deformazioni del telaio-parete, i montanti e i traversi vengono controventati con profili a C (con *lips*) o con elementi piani. Nel primo caso è necessario realizzare tagli inclinati agli estremi dei profili (lavora-

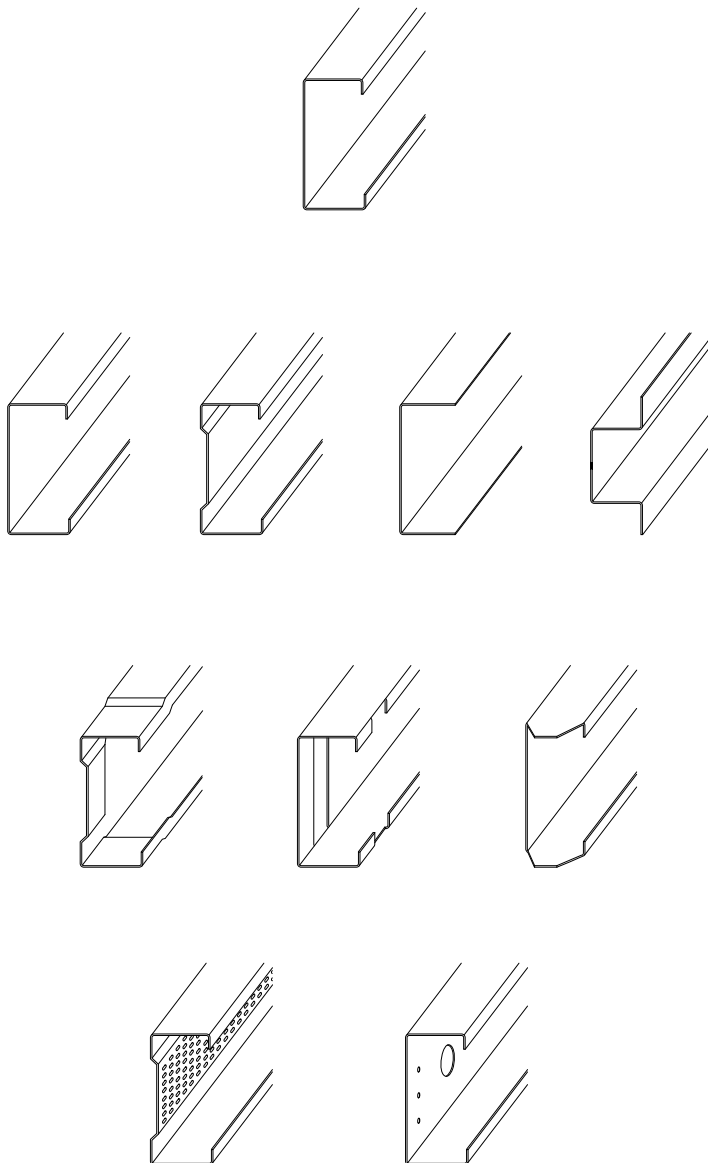


Figura 2. Possibili sagome e lavorazioni di aste in acciaio sagomato a freddo. *Immagine di Margherita Ferrari.*

zione detta *web notch*), i quali consentono di porre in opera i controventi nello spessore dei montanti e dei traversi; la giunzione tra le aste avviene grazie a viti a testa flangiata. Nel secondo caso gli elementi piani vengono sovrapposti all'intelaiatura, si sviluppano senza interruzione e vengono giuntati a montanti e traversi tramite l'impiego di viti autoperforanti che forano le lamiere senza richiedere la realizzazione di fori in fase di produzione (*truss hole*) o lavorazioni in cantiere quali la trapanatura.

Chiusure e partizioni orizzontali

La struttura degli impalcati orizzontali (*floor systems*) viene realizzata mediante la disposizione di travetti il cui interasse è pari o doppio rispetto a quello dei montanti. Ogni travetto può essere realizzato adottando una delle seguenti soluzioni, la prima più diffusa in ambito anglosassone e la seconda impiegata in Italia e nei Paesi esteri in cui sono più attive le imprese italiane:

- un unico profilo a C o a Z che, mediamente, per un'anima di 300 mm prevede l'impiego di lamiere d'acciaio spesse 3 mm;
- una trave reticolare di altezza minima pari a 250 mm (altezze inferiori rendono difficile il montaggio): la trave è realizzata con profili a C (con *lips*) e con acciaio 10/10 di mm di spessore.

In entrambi i casi va posta particolare attenzione alla snellezza dei travetti (va evitata l'instabilità, gli elementi in acciaio sagomato a freddo non si devono deformare eccessivamente) e alla scelta delle viti impiegate per le giunzioni (se non vengono scelte accuratamente c'è il rischio che si rompano per taglio). Per quanto riguarda le giunzioni, queste possono essere considerate degli incastri solo se è prevista la connessione tra travetti e montanti in più punti lungo l'altezza dei travetti: solo così sarà possibile la trasmissione del momento alle aste verticali della struttura.

Progettazione strutturale

La progettazione strutturale, secondo le indicazioni dell'Eurocodice 3, va eseguita *all-steel design*, cioè senza considerare il contributo di irrigidimento che possono offrire i pannelli di tamponamento. La proget-

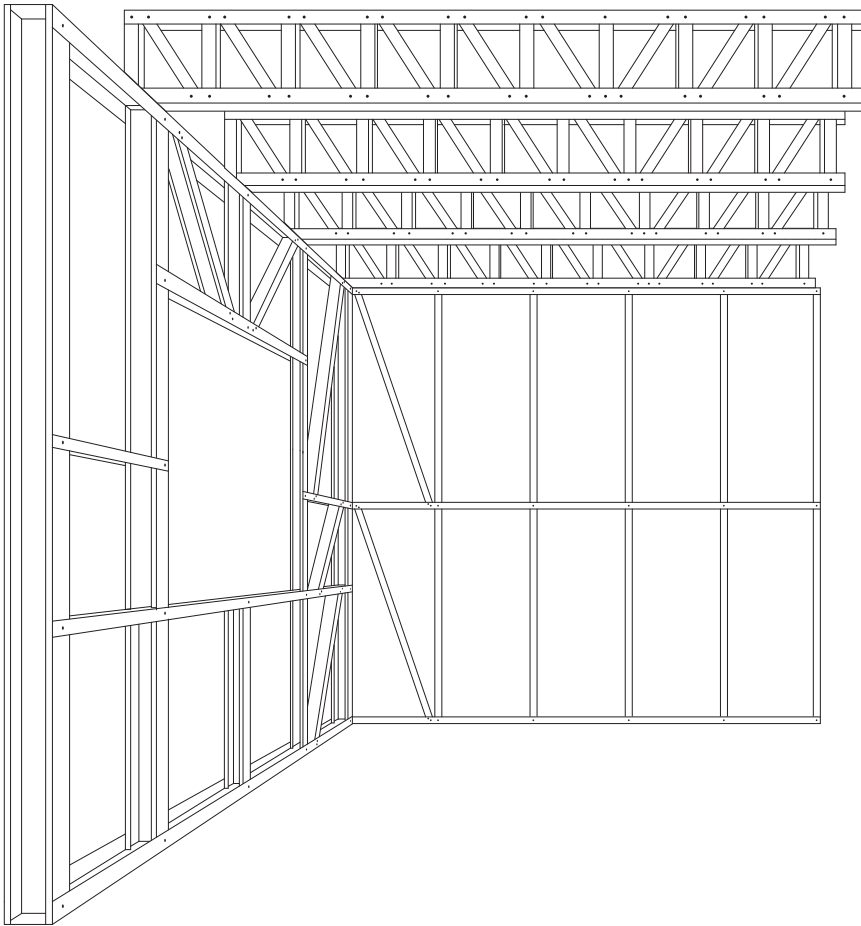


Figura 3. Schema di parete e solaio in acciaio sagomato a freddo. *Immagine di Margherita Ferrari.*

tazione di un telaio in acciaio sagomato a freddo avviene tramite l'ausilio di *software* per il calcolo delle strutture complesse che permettono di dimensionare *ad hoc* ogni singolo nodo ed elemento e, al contempo, di effettuare le varie analisi per la verifica di stabilità dell'intera struttura. La verifica all'instabilità viene effettuata sulla base della sezione equivalente (non lorda) dei profili, ed è in relazione a tale calcolo che vengono progettati e verificati anche i fori per la disposizione degli elementi di giunzione tra le aste. Inoltre, proprio perché la sezione non è piena, bisogna porre particolare attenzione al comportamento dei profili soggetti a momento torcente.

Il riferimento principale per affrontare l'analisi strutturale delle costruzioni LSF è il lavoro del prof. Raffaele Landolfo, i cui esiti hanno fruttato la messa a punto dell'Eurocodice 3 (2012) e la pubblicazione del volume *Design of Cold-formed Steel Structures* (2012). Alcuni riferimenti essenziali per la progettazione strutturale delle opere in acciaio sagomato a freddo sono riassunti anche nel volume *Acciaio e Sostenibilità* firmato dai professori Raffaele Landolfo e Sergio Russo Ermolli (2002). Nei paesi che non prendono a riferimento l'Eurocodice è spesso possibile progettare *sheating braced design*: secondo questo approccio si considera il ruolo strutturale delle aste in CFS e dei pannelli (che possono essere realizzati in compensato multistrato, cemento fibrorinforzato, OSB, truciolari, ecc.), i quali collaborano all'assorbimento delle azioni e possono ridurre, ad esempio, la freccia dei solai o la deformazione dei telai parete. In entrambi i casi le connessioni sono una parte essenziale del progetto, sia per le giunzioni acciaio-acciaio che per il montaggio delle stratigrafie di progetto all'intelaiatura in CFS.

Connessioni

Come visto, le connessioni avvengono solitamente grazie ad elementi puntiformi quali bulloni, viti e rivetti. Le viti con testa flangiata sono largamente impiegate nel contesto italiano; negli Stati Uniti vengono più di frequente utilizzate viti autoperforanti o rivetti per il collegamento tra aste di CFS dagli spessori sottili. Per spessori di metallo superiori (ad esempio: 3 mm) vengono invece impiegati sistemi a bulloni. È bene che tutti gli elementi impiegati per la connessione delle aste di CFS e per la

realizzazione delle stratigrafie siano certificati come resistenti agli alcali (sst=1000 ore test). La scelta dei dispositivi di connessione può essere influenzata da diversi fattori: le condizioni di carico, lo spessore e la tipologia dei materiali coinvolti, la resistenza richiesta, il costo, il tempo della messa in opera, la preparazione della manodopera impiegata in cantiere. È di primaria importanza valutare gli elementi di connessione in relazione alla loro durata e alla durata dell'opera da realizzare, e quindi alla qualità della lamiera e della produzione che definiscono le caratteristiche delle aste in CFS. Il mantenimento in funzione della connessione è una questione rilevante e non semplice da prevedere nel caso si impieghino i rivetti che, con il ciclo d'uso dell'edificio, possono allentarsi o allargare il foro nel quale fanno presa (si considerino, ad esempio, la spinta del vento o le dilatazioni termiche a cui la struttura è sottoposta).

Nella progettazione delle connessioni tra le aste in acciaio è fondamentale definire la qualità del foro attraverso il quale tali giunzioni verranno poste in essere. Ogni asta in CFS ha un ruolo strutturale nel complesso del telaio che definisce il progetto e ogni foro per la realizzazione di una connessione può influire sul mantenimento della qualità nel tempo della struttura. La durabilità delle aste in acciaio sagomato a freddo è garantita dalla zincatura ma non è possibile garantire una completa protezione dalla ruggine se le aste vengono tagliate o forate in cantiere. Le lavorazioni in officina non tagliano la lamiera ma la tranciano attraverso un sistema di lame che lavorano come delle ghigliottine, praticando incisioni nette che “trascinano” lungo lo spessore della sezione il rivestimento di zinco e magnesio che protegge il nastro di metallo lavorato dalla profilatrice: i tagli e i fori che vengono realizzati in officina sono dunque ben diversi dalle lavorazioni realizzate in cantiere con strumenti quali cesoie o trapani.

Zincatura dell'acciaio

La protezione dell'acciaio dalla corrosione è uno dei principali temi toccati dalle domande dei committenti e dei progettisti interessati all'impiego di questa particolare tecnologia: è importante considerare il rischio della ruggine sin dalla scelta dei nastri in acciaio oltre che durante la progettazione e l'esecuzione dell'opera edile. La zincatura

prevede l'applicazione di uno strato protettivo di zinco che reagisce chimicamente e garantisce la protezione dell'acciaio nel caso di un graffio o di un qualunque altro danno simile. La zincatura più diffusa per la lavorazione delle bobine d'acciaio destinate a diventare nastri per la produzione di elementi in CFS è la zincatura continua a caldo (secondo il metodo Sendzimir). L'acciaio sottoposto a tale lavorazione viene contrassegnato con una sigla in cui le lettere indicano la composizione chimica dello strato protettivo e un numero a tre cifre descrive il suo spessore in g/mm.

Uno dei fronti di innovazione nei processi di zincatura è quello relativo alla composizione chimica dello strato di rivestimento: è infatti possibile combinare lo zinco con altri elementi quali il magnesio, l'alluminio o il silicio. In questo modo si avrà un'altissima resistenza alla corrosione ed eccellenti prestazioni meccaniche, idonee per la formatura, la foratura e lo stampaggio a freddo. Non ultimo, anche l'impiego di macchinari avanzati per la sagomatura è garanzia del mantenimento di un efficiente strato di zincatura. Come accennato precedentemente, spostare le lavorazioni di dettaglio dal cantiere all'officina non è un problema: grazie a sistemi di progettazione CAD/CAM è possibile progettare le connessioni in modo esatto e realizzare aste con tutti i tagli e i fori utili all'assemblaggio e al passaggio degli impianti. Sono le macchine profilatrici a praticare questo genere di lavorazioni, seguendo i disegni di dettaglio; per agevolare lo sviluppo di elaborati contenenti un gran numero di informazioni e particolari sono oggi disponibili gli strumenti BIM (*Building Information Modeling*), che consentono l'interazione simultanea di differenti professionisti su di un unico elaborato di progetto: ogni modifica che viene effettuata aggiorna automaticamente tutti gli elaborati di progetto (compresi gli elaborati di calcolo strutturale e impiantistico).

La praticità di tali *software* è proporzionale all'aggiornamento degli strumenti e delle competenze di ogni professionista; anche se i mezzi e gli strumenti non sempre sono d'avanguardia, è riscontrabile una sempre maggiore comunicazione e condivisione delle informazioni tra i soggetti che partecipano alla progettazione degli edifici in CFS. Vengono messi in pratica i principi della progettazione integrata teorizzata sin dai tecnologie degli anni '60 e la realizzazione dell'opera si avvantaggia di un elevato livello di precisione oltre che di grandi risparmi in termini di tempi e di costi.



Figura 4. Nastri di lamiera zincata dello spessore di 10/10 mm. *Immagine di Valentina Covre.*

Figura 5. Assemblaggio in officina di una parete in acciaio sagomato a freddo. *Immagine di Valentina Covre.*

Produzione delle aste

La modellazione delle aste a cui si è fatto riferimento è condotta tramite profilatura; in alternativa è possibile lavorare attraverso pressopiegatura. Le due tipologie di lavorazione possono essere definite efficacemente in funzione del tipo di prodotto piano impiegato: la pressopiegatura lavora le lamiere che hanno dimensioni definite già prima di essere sottoposte a piegatura, la profilatura è una lavorazione continua che impiega nastri d'acciaio la cui lunghezza viene determinata dalla macchina profilatrice stessa. La pressopiegatura è quindi volta a determinare esclusivamente la geometria delle sezioni, non la lunghezza delle aste. Questo è il motivo per cui, con l'avvento delle più moderne macchine CAD/CAM, la profilatura si è fortemente diffusa nel campo della lavorazione dell'acciaio per strutture LSF: si possono realizzare aste in CFS della lunghezza desiderata (anche tutte di lunghezze diverse) a partire dallo stesso nastro e senza interrompere o rallentare la lavorazione. È inoltre possibile produrre un numero grandissimo di sagome e profili, tutti altamente personalizzabili purché le modifiche avvengano in conformità alla UNI EN 1090 e rispettino le tolleranze previste dalla normativa. La profilatrice, a fine processo, verifica con il *laser* le dimensioni dei profili e, se adeguati alla messa in opera, li sigla con i codici identificativi utili per il montaggio, sia che questo avvenga in officina che in cantiere.

La produzione delle aste in CFS è molto rapida: le aste per la realizzazione di un'abitazione di circa 150 mq vengono prodotte in mezza giornata di lavoro in officina (impiegando un addetto al controllo qualità che opera a valle della profilatrice). Oltre ai vantaggi legati alla precisione e alla rapidità della produzione, va considerata anche la leggerezza dei singoli elementi di cui è composto il telaio: non sono necessari specifici mezzi di sollevamento in cantiere per la messa in opera o per il trasporto. L'assemblaggio delle aste può avvenire senza necessariamente impiegare un grande numero di operai o macchinari particolari perché le lavorazioni si sviluppano in modo rapido in quanto precedentemente verificate con grande dettaglio: l'assemblaggio delle parti costituenti una travatura reticolare alta 35 cm e lunga 6 m non impiega due montatori per più di 8 minuti di lavoro (l'assemblaggio avviene tramite avvitatore, le viti a testa flangiata vengono serrate sui

fori eseguiti per ghigliottinamento dalla profilatrice). Il tutto comporta una significativa riduzione dei costi delle tecnologie CFS al confronto con altri prodotti per l'edilizia che richiedono tempi di lavorazione in stabilimento o in cantiere ben più lunghi.

Progetto e messa in opera

La classificazione del sistema costruttivo vede tre tipologie che differiscono per il luogo e il momento dell'assemblaggio delle aste in CFS:

- *stick-built*: il telaio viene assemblato interamente in cantiere;
- *panel*: il cantiere riceve e mette in opera i telai (pareti e solai) precedentemente assemblati in officina;
- *volumetric* : vengono posti in opera i moduli tridimensionali realizzati in officina (sistema molto diffuso per la realizzazione di moduli bagno o bagno-cucina).

Ciascun sistema costruttivo è integrabile con gli altri: spesso in cantiere non è presente solo una soluzione e la semplice integrabilità favorisce anche gli interventi di riqualificazione del patrimonio edilizio esistente. Inoltre è possibile condurre in cantiere elementi *panel* o *volumetric* già dotati di una serie di lavorazioni e di finiture che, solitamente, avvengono più tardi: la convenienza di una tale scelta può essere riferita al controllo delle esecuzioni in un ambiente protetto e alla riduzione delle lavorazioni, dell'inquinamento e dei tempi di lavorazione in cantiere. Progettare un edificio con il sistema tecnologico LSF significa prestare particolare attenzione a diversi temi. La scelta dell'acciaio sagomato freddo non influenza esclusivamente il calcolo delle strutture ma, trattandosi di un vero e proprio sistema costruttivo, è determinante un corretto approccio al progetto. Costruire in acciaio sagomato a freddo richiede a progettisti, ingegneri, impiantisti e produttori di lavorare all'unisono e in accordo con il committente: il controllo di ogni aspetto in fase di progetto renderà rapida ed economica la realizzazione di una costruzione a patto che non siano necessarie grandi variazioni in corso d'opera. La struttura in acciaio sagomato a freddo è pensata e calcolata come un insieme di elementi che collaborano tra loro. Cambiare gli elementi di un tale sistema può richiedere sforzi e variazioni che non pos-

sono sempre essere praticati con semplici correzioni come, ad esempio, avviene con la realizzazione delle tracce per il passaggio degli impianti in un edificio realizzato con tamponamenti in laterizio forato.

È l'efficacia del progetto e il lavoro di squadra a garantire la perfetta composizione dei pacchetti costruttivi e ciò è rilevante considerando le prestazioni termiche, termoigrometriche, acustiche e di resistenza al fuoco dell'edificio. Impiegando il sistema costruttivo LSF tali caratteristiche sono facili da soddisfare purché vengano seguiti alcuni principi fondamentali: si deve prestare attenzione alla scelta dei materiali, al progetto delle giunzioni e dei nodi. Vanno inoltre individuate soluzioni idonee per ogni specifico impianto messo in opera. Gli stessi principi progettuali consentono di ridurre al minimo gli scarti e i rifiuti da lavorazione in cantiere. Sommando a ciò i temi delle costruzioni a secco, quali la reversibilità della costruzione (che non verrà demolita ma "smontata" alla fine del suo ciclo di vita), si possono prevedere già oggi i vantaggi ambientali che le ricerche in atto stanno definendo in termini numerici e attraverso certificazioni. Il riferimento principale per questo genere di analisi è il lavoro della prof.ssa Monica Lavagna e del gruppo di ricerca del PoliMi indirizzato dal prof. Andrea Campioli allo studio del ciclo di vita degli edifici. Tali ricerche sono volte alla definizione dei costi ambientali degli edifici, non limitandosi all'analisi e alla documentazione dei costi energetici in fase d'uso. Grazie alla *Life Cycle Analysis* (LCA) è possibile tradurre in termini di costi energetici ed emissioni di CO₂ ogni genere di lavorazione operata sin dalla produzione dei materiali e degli elementi costruttivi. Le ricerche analizzano il progetto e gli edifici anche durante la fase d'uso, considerano gli interventi di manutenzione e teorizzano le operazioni di dismissione, smontaggio (o demolizione) e riciclo (o riuso) delle parti costituenti gli immobili. I primi dati raccolti in merito al fine vita di alcuni edifici casi studio mostrano i vantaggi connessi con le lavorazioni a secco in termini di risparmio di costi economici e ambientali al confronto con costruzioni realizzate con tecnologie tradizionali.

Bibliografia

Barucco MA., *Progettare e costruire in acciaio sagomato a freddo*, Edicom, Monfalcone 2015.

Campioli A., *Costruire in acciaio e risparmiare energia*, Costruzioni Metalliche, n.1, luglio-agosto 2008.

Campioli A., Lavagna M., Parolini R., *Cicli di vita dell'acciaio. Valutazione ambientale LCA di un edificio temporaneo, il Campus Point di Lecco*, in *Costruzioni Metalliche* n.1, luglio-agosto 2008.

Dubina D., Landolfo R., Ungureanu V., *Design of Cold-formed Steel Structures: Eurocode 3: Design of Steel Structures. Part 1-3 Design of Cold-formed Steel Structures*, ECCS - European Convention, 2012.

Elhajj N. (NAHB Research Center), *Residential Steel Framing - Fire and Acoustic Details*, U.S. Department of Housing and Urban Development (HUD), settembre 2002.

European Light Steel Construction Association, *Work Pack Design for Steel House - WISH*, settembre 2008.

Landolfo R., Russo Ermolli S., *Acciaio e sostenibilità: progetto, ricerca e sperimentazione per l'housing in cold-formed steel*, Alinea, Firenze 2012.

Lavagna M., *Life cycle assessment in edilizia. Progettare e costruire in una prospettiva di sostenibilità ambientale*, Hoepli, Milano 2008.

Sitografia

www.lightweightsteelframe.officina-artec.com

www.reteitalianalca.it

Lightweight Steel Frame e balloon frame, tratti di storia in comune

Lightweight Steel Frame
and balloon frame, historic
common features

Vittorio Oreste Manfron

**Architetto, Professore ordinario (f.r.) di Tecnologia dell'architettura,
Università Iuav di Venezia**

Certainly, the best known building system that uses a lightweight frame structure is the Balloon Frame, which finds its origins in the first half of 1800 during the American conquest of the West. The invention of the balloon or, as it was named by its inventor G.W Snow, of the Chicago Frame Structure, is due to the intuition of a timber dealer. However, its diffusion and success are connected to an innovation in the production of nails; actually, the reduction in the cost of the nails favored this type of structure, which is quick and easy to carry and to assemble (precisely thanks to the reduction of the quantity of material).

The construction scheme of the Balloon Frame is similar to the Lightweight Steel Frame: they have in common lightness, easy assembly and design flexibility. Furthermore, the innovations of industry and the changing needs of users influence the evolution of steel structures in construction: from the first trials with the use of cast iron, to the steel frames made by solid masonry (as it was done in the rebuilding of Chicago).

Innovations and revolutions that followed the World wars give a strong push to the use of cold-formed steel. To this period also belong the most famous innovators of experimental buildings in the field of architectural technology: Buckminster Fuller, Prouvé, Gropius and Wacksmann, and not only they. Again, the improve ability in the industrial process allowed these designers to create structures and solutions that were unthinkable before.

Today, thanks to a further renewal in the metalworking industry, determined by the innovation of computer systems for the design and control of machines, designers have the opportunity to make new projects and experiments. The construction system and the technology of the Lightweight Steel Frame allow to realize not only secondary structures and substructures, but it's also showing its potential as a bearing structure. This application and new regulations offer designers new systems and schemes for future innovations. These innovations make research on sustainable architecture possible, while the computer systems for the design and production allow the collection and the organization of data regarding life cycle, use, and flexible design. Thanks to this, the building meets the new requirements influenced by the change in lifestyle and the attention to the ecological dimension of living.

Nel 1833 il commerciante di legname George Washington Snow regalò alla comunità di Fort Dearborn (l'attuale Chicago) la Saint Mary's Church che aveva realizzato in base al suo brevetto di un sistema costruttivo in legno denominato "la Struttura di Chicago". Si trattava di un edificio costruito con l'assemblaggio di ritti e travetti in massello di primo taglio con sezioni rettangolari di 5x10 cm (ritti) e 5x20 cm (travetti) e con interassi ridotti (40 cm). Alle inevitabili insufficienze strutturali e alla necessità di interassi maggiori per l'istallazione di porte, finestre e scale interne si suppliva mediante l'accostamento di due o più masselli e per il controventamento della struttura si usavano tavole diagonali. La pavimentazione e la chiusura superiore erano realizzati con tavolati e alle chiusure verticali si provvedeva con tavole a embrice. L'assemblaggio avveniva con chiodi di acciaio stampati industrialmente¹.

Il sistema costruttivo venne maliziosamente ribattezzato dal mercato *balloon frame* per le perplessità destate dalla esilità dei masselli oltre che dalla leggerezza complessiva della struttura portante, se comparata all'edilizia in legno allora corrente: al primo vento la Saint Mary's Church sarebbe volata via come una palla (non è andata così). Nel comparto falegnameria le chiodature destavano una certa perplessità: si ricordino le raffinate tecnologie allora adottate nella realizzazione dei giunti tra elementi lignei (coda di rondine, tenone e mortasa, spinatura, lamellatura).

In realtà la tecnologia della struttura diffusa in legno era già adottata nell'edilizia USA, e non solo in quella², per la realizzazione di elementi costruttivi non portanti. Le novità del brevetto di G. W. Snow consistevano nell'unificazione dimensionale e nella standardizzazione della produzione di ritti, travi e tavolati rendendo inoltre la tecnologia idonea anche per le funzioni strutturali: si trattava, in sostanza, dell'evoluzione di un procedimento costruttivo già presente nella cultura materiale di quel paese.

1 Nel 1807 Jesse Reed aveva brevettato una macchina che stampava 60.000 chiodi al giorno, facendolo crollare il costo di una libra di chiodi da 25 a 3 cm.

2 Si pensi alle partizioni interne verticali realizzate con gli *scorzoni* dei palazzi storici veneziani.

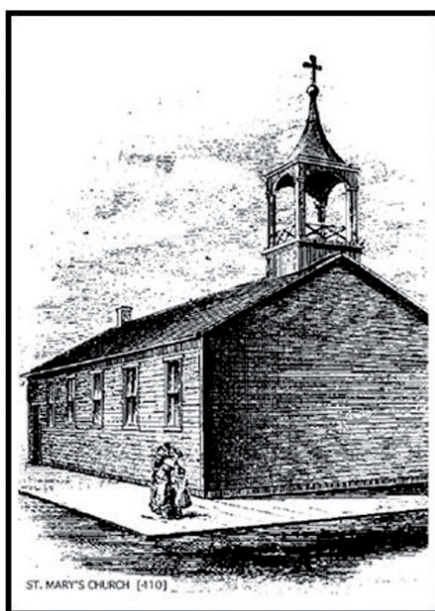


Figura 1. La St. Mary's Church, donata da George Washington Snow alla città di Chicago nel 1833: la costruzione è realizzata con la Chicago Structure, rinominata *balloon frame* dai suoi detrattori. Snow, per rispondere a chi non credeva a questo sistema costruttivo, sostenne che se era adatto alla costruzione della Chiesa di Dio, era adatto anche per realizzare abitazioni per gli uomini. *Immagine di Early Chicago, Inc. - www.earlychicago.com*

Il *balloon frame* sfondò nel mercato soprattutto perché si trattava di una tecnologia a basso costo, rispondente alle esigenze della corsa all'Ovest della frontiera americana: giunti a destinazione, i coloni necessitavano di un'abitazione permanente da sostituire al bivacco e la Struttura di Chicago consentiva l'autocostruzione in tempi brevi. Il modesto ingombro volumetrico e il relativamente basso peso dei materiali erano ideali per il trasporto a distanza dalla segheria. Il montaggio non era particolarmente complesso: un uomo e un ragazzo dotati di uno schema di montaggio e di pochi attrezzi (sega, chiodi e martello) riuscivano in breve tempo a realizzare l'abitazione, ancorché non particolarmente esperti di falegnameria. Il *balloon frame* e le sue evoluzioni (*draced frame* e *western frame*³) si stanno avvicinando ai due secoli di vita (Zorgno, 1992) e hanno costituito per lungo tempo la tecnologia maggiormente adottata negli USA per la realizzazione di case singole grazie all'assemblaggio a terra dei masselli a formare i pannelli parete, pannelli poi elevati in verticale fino a formare la scatola dell'edificio da completare con gli orizzontamenti, la copertura e i tavolati di tamponamento.

Ancora ai giorni nostri il sistema costruttivo ha un ruolo importante in un mercato della casa in legno che non è più quello della corsa all'Ovest e vede la compresenza di altri sistemi costruttivi basati soprattutto sull'uso di pannelli. Va ricordato che gli studi sui sistemi costruttivi prefabbricati in legno nell'edilizia hanno anche goduto del contributo di maestri dell'architettura del XX secolo: Frank Lloyd Wright (*Usonian House*, 1937), Alvar Aalto (*AA System*, 1940), Walter Gropius e Konrad Wachsmann (*Packaged House System*, 1942). Se si compara la tipologia della struttura lignea del *balloon frame* con quella degli attuali *lightweight steel frame*, le affinità dell'impostazione strutturale appaiono evidenti: in entrambi i casi si adottano pilastri e travi di sezione ridotta e interassi contenuti.

3 Nel *draced frame*, i montanti continui del *balloon frame* sono interrotti all'altezza dei solai che vengono realizzati con travi di bordo (massello cm 5x20) e nel *western frame* si addotta, inoltre, la posa diagonale delle tavole di pavimenti, pareti e soffitti garantendo un comportamento statico maggiormente efficiente.



Figura 2. Rappresentazione del Great Chicago Fire in un'opera di John R. Chapin pubblicata in un numero del Harper Weekly del 1871. *Immagine da Wikipedia Commons.*

Figura 3. Il ponte sul Severn a Coalbrookdale, Shropshire (realizzato tra il 1775 e il 1779). *Immagine da Wikipedia Commons.*

Costruzioni metalliche

Nel 1871 il *Great Fire* di Chicago, favorito da un forte vento (Chicago è soprannominata la *Windy City*⁴), devastò in tre giorni 6 kmq di abitazioni e uffici, procurò 90.000 senzatetto, e orientò il mercato verso materiali da costruzione che garantissero migliori resistenze al fuoco rispetto al legno. Quella ricostruzione fu la palestra di formazione della Scuola di Chicago di William Le Baron Jenney, Louis Sullivan, Daniel Burnham, Dankmar Adler e fece di Chicago la prima metropoli moderna. Maggiore affidabilità nei riguardi degli incendi, coniugata alla necessità di ricostruzione in tempi brevi dei quartieri distrutti, suggerirono l'utilizzo delle strutture portanti metalliche che favorivano, tra l'altro, una razionalizzazione del cantiere grazie allo spostamento di molte lavorazioni nelle officine meccaniche. Le maggiori prestazioni meccaniche dei prodotti siderurgici aprirono la porta a edifici di media altezza con modesto ingombro planimetrico delle strutture portanti⁵, e successivamente alla cultura del grattacielo a struttura metallica⁶.

Circa un secolo prima del *Great Fire* di Chicago, era stato l'aumento dei volumi di traffico conseguente alla rivoluzione industriale inglese a favorire l'introduzione dell'uso delle strutture metalliche nel mondo delle costruzioni. Il primo esempio significativo viene fatto risalire al ponte carrabile sul Severn a Coalbrookdale, nel Shropshire, realizzato da Abram Derby III. Il ponte, con spalle in muratura, fu realizzato mediante l'assemblaggio di cinque arconi in ghisa⁷ di luce 37 m con cerniera in chiave. I vantaggi della struttura metallica in termini di *time-cost-quality* furono subito evidenti, anche se va ricordato che i

4 Carl Sandburg, nei suoi *Chicago Poems* (1916), definiva la città "Chicago ventosa, macellaia del mondo".

5 La muratura portante perimetrale del Monadnock Building (Chicago, 1891), che si sviluppava in altezza per 16 piani, aveva alla base uno spessore di 90 cm.

6 Nel 1884 William Le Baron Jenney realizzerà l'*Home Insurance Building* di 12 piani interamente a struttura metallica.

7 Abram Derby III usava il carbon coke nella fusione del minerale ferroso, aumentandone la temperatura e favorendo la decarburazione del prodotto fuso fino a ottenere la ghisa. Il convertitore di Henry Bessemer che consentirà l'ulteriore decarburazione della lega ferro-carbonio fino alle percentuali utili per la produzione di acciaio sarà brevettato solo nel 1857.

magri pedaggi riscossi fecero fallire Abram Derby III e i soci coinvolti nella costruzione.

Per comprendere la diffusione delle strutture metalliche nella costruzione di edifici, è necessario risalire al decollo dell'industria tessile britannica. I telai meccanici di tessitura, mossi inizialmente da energia idraulica e successivamente dalla macchina a vapore perfezionata da James Watt, necessitavano di ambienti di grandi dimensioni, aerati e illuminati. Gli edifici, realizzati in muratura portante perimetrale, erano ampiamente vetrati e avevano pilastrate interne in ghisa progettate per il modesto ingombro planimetrico. Il tema della casa a struttura metallica a basso costo, prefabbricata e posta in opera con l'autocostruzione, trova due interpreti significativi in Richard Buckminster Fuller (Bucky) e in Jean Prouvé (il grande lattoniere). Bucky aveva iniziato la sua ricerca sulla Dymaxion House nel 1927 tentando l'applicazione in edilizia delle tecnologie di produzione industriale (*a house like a car* - Curtis, 1986) adottate nel 1908 da Henry Ford I nella catena di montaggio della Ford T. L'obiettivo era la produzione di una unità abitativa non limitata alla struttura portante ma estesa all'intero edificio.

Con l'approssimarsi della fine della Seconda guerra mondiale l'industria siderurgica USA (e non solo quella) avviò ricerche sulla possibile conversione della produzione bellica a fini pacifici. Rientrano in tale quadro gli studi di produzione in serie di case da realizzarsi con le stesse tecnologie delle fusoliere dei bombardieri USAF e Bucky, riprendendo i suoi progetti per la Dymaxion House, realizzò due prototipi della Wichita House (1944-48). Tutto il materiale necessario alla costruzione dell'abitazione usciva dalla fabbrica all'interno di un tubo e poteva essere consegnato anche via aerea. Al montaggio, come già per il *balloon frame*, si provvedeva in tempi brevi e con l'autocostruzione (Manfron, 2002). Uno di questi prototipi è oggi visibile all'Henry Ford Museum (Deaborn, Michigan), che ha provveduto al suo restauro.

Jean Prouvé, grande sperimentatore di sistemi costruttivi basati su componenti metallici, progetta nel 1956 la Maison des Jours Meilleurs con superficie di 54 m². L'edificio era realizzato con strutture in acciaio e alluminio, nucleo centrale (cucina e bagno) e chiusure verticali in pannelli *sandwich*, termoformati e rivestiti di mogano; la copertura era realizzata con pannelli *sandwich* di alluminio. Il primo prototipo fu

montato in riva alla Senna in sette ore da due uomini dotati di modeste attrezzature, a proposito di questo prototipo Le Corbusier parla del «perfetto modo di abitare [...] e della [...] più scintillante cosa costruita»⁸. La Maison era stata progettata e costruita a seguito di un appello pubblico dell'Abbé Pierre⁹ che, in un inverno parigino particolarmente rigido (1954), aveva richiesto donazioni per la costruzione di alloggi per i senza dimora.

Nel progetto della Maison des Jours Meilleurs, J. Prouvé adotta le tecnologie costruttive già sperimentate per la Maison Metropole, il progetto di una scuola rurale predisposto per un concorso del Ministero dell'istruzione francese del 1949 (che non ebbe poi seguito). La scuola aveva pianta rettangolare (8x12 m) e tutti i componenti erano prodotti in officina per limitare all'assemblaggio le operazioni di cantiere. I due cavalletti centrali, che ricordano la struttura a pilastri in ghisa della Stanley Mills, fungevano da appoggio per una trave di colmo in tre sezioni incernierate tra di loro. Le due travi di bordo, che poggiavano sui pannelli di chiusura laterale, erano pure incernierate al centro. Il peso modesto dei singoli componenti e il loro limitato ingombro facilitavano il trasporto dall'officina, la movimentazione in cantiere e la posa in opera, che non necessitava di particolari attrezzature¹⁰.

Lightweight Steel Frame

Nella produzione nazionale italiana, un primo tentativo di promozione dei profili formati a freddo fu operato nel 1985 dall'Italsider con la pubblicazione di uno dei suoi "Quaderni Tecnici" nel quale si analizzavano le normative, le tipologie e i criteri di progettazione per impieghi strutturali nelle costruzioni residenziali e produttive. Il "Qua-

8 Jean Petit, *Le Courbusier: lui-même*, Éditions Rousseau, 1970, pag. 59.

9 L'Abbé Pierre, frate francescano fondatore dei *Compagnons d'Emmaüs*, era stato partigiano durante l'occupazione nazista e, dopo la liberazione, deputato all'*Assemblée Nationale*, dalla quale diede le dimissioni per protesta contro l'approvazione della Legge Elettorale del 1951 (*la loi scélérate*).

10 Di recente (2013), la mostra su Jean Prouvé della Fondazione Giovanni e Marella Agnelli espose uno dei prototipi della Maison Metropole. Il prototipo fu montato in tre giorni da una squadra di quattro operatori sulla pista di copertura del Lingotto di Torino.

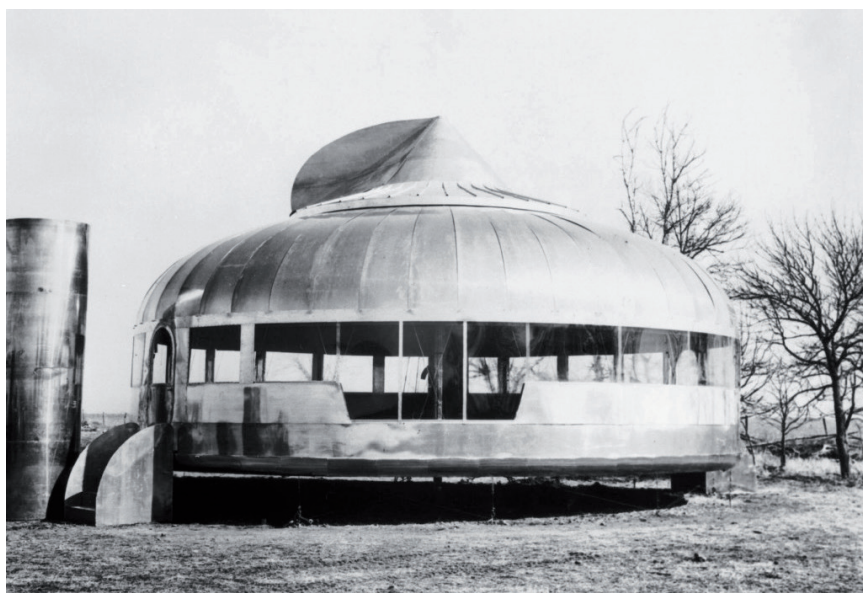


Figura 4. Richard Buckminster Fuller, Wichita House (1944-48). *Immagine da www.noble-home.net*

derno n° 15" (AA.VV., 1985) illustra gli assemblaggi con tecniche di saldatura coniugate alla bullonatura e conteneva anche alcuni esempi di calcolo¹¹. In analogia alle tipologie strutturali adottate nel nostro Paese per le costruzioni a struttura in acciaio e in cemento armato degli anni '80, il "Quaderno n° 15" trascurava le strutture diffuse e prediligeva le strutture puntiformi. Le campate che risultavano da tali calcoli erano tali da rendere conveniente l'uso di profilati a caldo, dalle maggiori capacità portanti. L'iniziativa non ebbe influenze significative su un mercato dell'edilizia residenziale prevalentemente basato sull'uso di muratura portante, solai in laterocemento e, solo quando necessario, di telai in cemento armato o acciaio. I vantaggi dell'industrializzazione dei procedimenti costruttivi non furono considerati rilevanti da una imprenditoria nazionale formatasi nella ricostruzione postbellica e nel primo *boom* edilizio nazionale, e che non considerava ancora i vantaggi della razionalizzazione della produzione.

Si è visto che la crisi generata dall'incendio di Chicago è stato il motore dell'introduzione della struttura metallica nell'edilizia americana: una nuova crisi nel mondo delle costruzioni si ripropone oggi, a fronte della nuova esigenza di sostenibilità dei processi di costruzione e dell'ambiente costruito. In questo nuovo contesto il controllo dell'attività edilizia basato sulla terna di derivazione industriale *time-cost-quality* evolve nella ricerca del miglior punto di mediazione tra quattro esigenze talora contrastanti: qualità ambientale, vincoli economici, equità sociale e tessuti culturali (CIB, 1999). Questo nuovo quadro esigenziale pone al centro dell'attenzione la tecnologia *Lightweight Steel Frame* che sposta una parte consistente delle lavorazioni dal cantiere all'officina, minimizza la quantità di scarti prodotti e consente un adeguato controllo di qualità, sia delle modalità di lavorazione che del prodotto. Con procedure di questo tipo le operazioni di cantiere si limitano al montaggio di pezzi pre-tagliati, pre-forati e marcati con un codice di identificazione che fa riferimento a un piano di montaggio. Il camice da officina si sostituisce alla tuta da muratore e il tutto aumenta la sicurezza del cantiere oltre che una quantificazione esatta di tempi e di costi di realizzazione.

11 L'analisi si concentra soprattutto sui profili con sezione a L, C, U, Z, Q.



Figura 5. Jean Prouvé, struttura portante della Maison Metropole (1949). Questa immagine è tratta dal video che è stato realizzato in occasione della ricostruzione dell'edificio sul tetto del Lingotto, a Torino, in occasione della mostra "Una passione per Jean Prouvé. Dal mobile alla casa. La collezione di Laurence e Patrick Seguin" (6 aprile - 8 settembre 2013). Il video stop-motion è reperibile alla pagina internet www.pinacoteca-agnelli.it/visit/4102/video-stop-motion-maison-metropole (gennaio 2016).

Figura 6. Un moderno cantiere che impiega la tecnologia Lightweight Steel Frame. Immagine di Dr. Cris Moen, Virginia Tech - Dept. of Civil & Environmental Engineering.

Si è visto che la struttura diffusa del *Lightweight Steel Frame* con montanti e travi di interasse contenuto ricorda i ritri e i travetti in massello di primo taglio del *balloon frame*. Anche la tecnica di montaggio è in genere analoga: si inizia con l'assemblaggio a terra dei profili strutturali per formare pannelli poi messi in verticale e assemblati. Successivamente si passa al completamento prima della struttura e poi dell'edificio. I nodi (cerniere) tra le aste sono realizzati in genere con viti autofilettanti. Diversamente dal *balloon frame* che, per sopperire eventuali insufficienze strutturali delle aste, provvede quasi esclusivamente all'accostamento dei masselli, nel *Lightweight Steel Frame*, oltre al raddoppio della struttura, è semplice ricorrere a profilati formati a freddo di altre tipologie, alla realizzazione di elementi reticolari e alla messa in opera di profilati a caldo.

Generalized Embodied Energy

In un celebre saggio del 1968 sulle relazioni tra crescita economica e equilibrio ambientale dal punto di vista delle risorse disponibili in natura e dello smaltimento dei rifiuti, Kenneth Boulding ricordava che il *cowboy* andava nelle praterie sicuro che avrebbe sempre trovato davanti a sé nuove risorse e incurante di quello che si lasciava dietro le spalle. Kenneth Boulding segnalava che questo modello non è idoneo per l'economia di una popolazione mondiale prevista per il 2050 in nove miliardi e, con ciò assimilando il nostro pianeta a una grande navicella spaziale (quello che in realtà è), suggeriva di sostituire l'economia del *cowboy* con l'economia dell'astronauta che sa bene di avere a bordo risorse limitate e possibilità di produrre rifiuti altrettanto limitate (Boulding, 1968). Sul modello dell'economia dell'astronauta di Kenneth Boulding, il *Property Council of Australia* propone di affrontare la questione della sostenibilità del prodotto edilizio estendendone le analisi a partire dalle operazioni di reperimento dei materiali in natura per poi passare alla loro lavorazione (materiali, semilavorati e componenti per la costruzione), successivamente ai trasporti e alle fasi di costruzione del manufatto, ancora alla fase di esercizio dell'immobile e infine concludendo con la demolizione e il riciclo dei materiali.

Le costruzioni metalliche, come il *Lightweight Steel Frame*, scontano in genere valori di *embodied energy* elevati nelle fasi di estrazione e

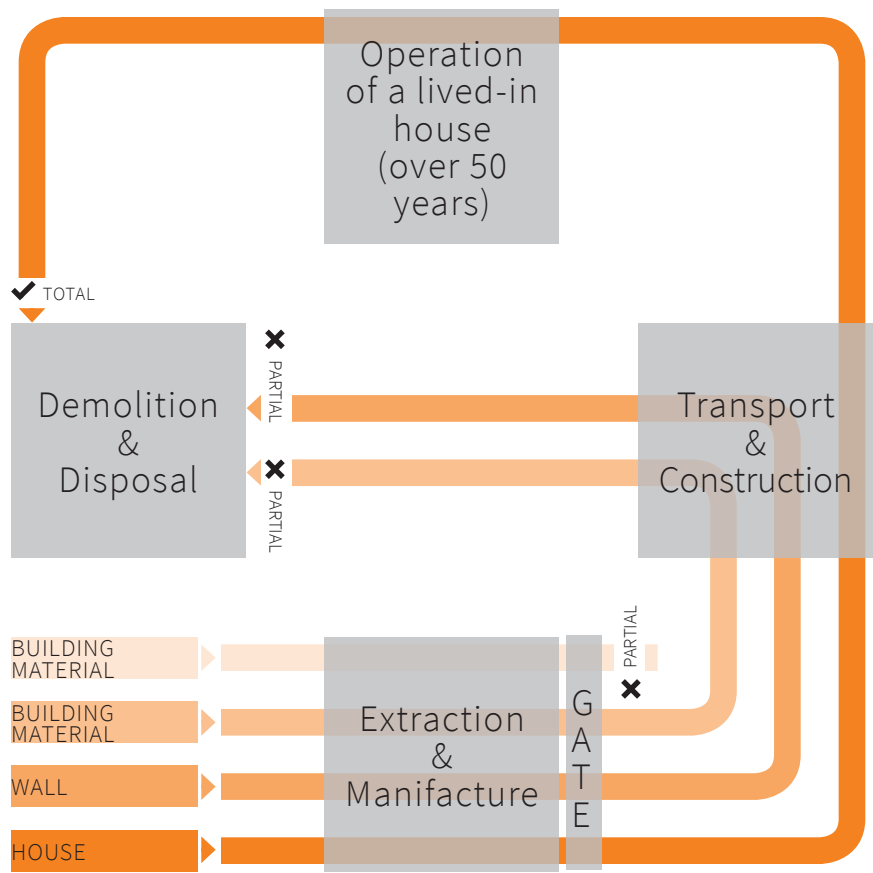


Figura 7. Schema che illustra la logica dell'Extended Life Cycle applicato al prodotto edilizio. *Elaborazione grafica di Valentina Covre.*

lavorazione dei materiali di base. Al contrario richiedono impegni di energia più contenuti se riferiti all'*Extended Life Cycle* dell'edificio grazie al minor impegno di energia richiesto per la fase di trasporto, messa in opera (eventuale manutenzione) e finale demolizione (o, per meglio dire, smontaggio) e riciclo. L'approccio suggerito dal *Property Council of Australia* richiede di integrare le analisi dell'*embodied energy* dei materiali da costruzione prendendo in conto l'*Extended Life Cycle* dell'immobile per valutarne, questa volta, la *Generalized Embodied Energy*, che è la somma di tutte le energie impiegate per percorrere la linea rossa dello schema riportato in queste pagine e tornare al punto di partenza anziché limitarsi da analizzare le sole fasi di estrazione e lavorazione (linea verde), trasporto e costruzione (linee gialla e blu). Il tutto richiede che già nella progettazione dell'edificio si presti particolare attenzione alle fasi di demolizione dell'immobile e alle possibilità di riciclo dei materiali usati, con ciò riducendone sia il prelievo in natura che il conferimento alle discariche.

Alberto Galgano ci segnala che nella produzione industriale il ciclo di vita del prodotto tende ad essere più breve, brevissimo seguendo il costume dell'*usa e getta* (Galgano, 2001). Diversamente, al prodotto edilizio si chiede di favorire lunghi periodi di esercizio: ciò non solo per considerazioni di carattere economico, ma anche per non trascurabili valutazioni culturali e ambientali. Ne consegue l'esigenza di far fronte all'obsolescenza tecnologica e funzionale dell'immobile e, contestualmente, all'evoluzione dei modi d'uso dell'utenza, parametro sostanzialmente imprevedibile. Da qui la necessità di tener conto, fin dalla fase progettuale, non solo delle fasi di demolizione dell'immobile e di riciclo dei materiali, ma anche dei futuri interventi di manutenzione e di *quality upgrade* tendenti alla sua ottimale conservazione in esercizio (Manfron, 2013).

La manutenzione dei prodotti industriali, realizzati in genere grazie all'assemblaggio di componenti monofunzionali, si realizza mediante riparazione e, nei casi più gravi, sostituzione del componente fuori servizio. Assieme alla nostra vettura ci è stato consegnato un libretto che, in base a dati statistici, programma le operazioni di manutenzione da eseguire per minimizzare la frequenza di guasti: a partire da questo modello, anche in edilizia si sono diffuse le procedure di manutenzione

programmata. Le ricerche stanno sviluppando analisi in merito al confronto tra i beni edilizi e i beni di consumo in funzione della durabilità e delle fasi di manutenzione programmata. Due le considerazioni da tenere sempre presenti nello studio del costruito: gli edifici appaiono meno affidabili a causa dei lunghi periodi di esercizio e della modesta disponibilità di dati statistici (Manfron, 1998), la relazione tra edilizia e produzione industriale (già individuata da innovazioni e sperimentatori, come nella storia che è stata descritta) apre indubbiamente a nuove declinazioni delle attività di manutenzione programmata allungando il ciclo di vita utile degli immobili e garantendo un adeguato e alto livello qualitativo. L'ottimizzazione delle operazioni di demolizione, riciclo, manutenzione e *quality upgrade* suggeriscono di industrializzare le usuali tecnologie di costruzione e demolizione sostituendole con quelle di montaggio, smontaggio e riciclo di sistemi e componenti, con lo spostamento delle lavorazioni dal cantiere all'officina, la conseguente ottimizzazione dei tempi di cantiere, la riduzione della presenza di mano d'opera in cantiere e, infine, con il contenimento di scarti e rifiuti.

Conclusioni

Probabilmente la strada per la costruzione di *a house like a car* (Curtis, 1986) come l'avevano immaginata R.B. Fuller e J. Prouvé, è ancora lunga, ma le trasformazioni già in atto del processo edilizio e del prodotto edilizio sono rilevanti. La diffusione di connessioni *Word Wide Web* e delle tecniche di comunicazione *Point to Point Protocol* coniugate con lo sviluppo di *software* CAD-CAM e BIM e con le procedure di calcolo agli elementi finiti hanno di fatto industrializzato le fasi decisionali, progettuali e produttive aumentando l'efficacia e l'efficienza del ciclo decisione, progetto, costruzione. Si aggiunga che le procedure *Company Wide Quality Control* (CWQC) e *Total Quality Management* (TQM), forniscono consolidati strumenti per la gestione di processi edilizi basati sulla ricaduta della *Customer Satisfaction* sull'intero processo produttivo (Galgano, 1990; Conti, De Risi, 2001).

Si è visto che il progressivo spostamento, ormai in atto, di lavorazioni dal cantiere all'officina contribuisce ad aumentare la qualità e l'affidabilità dell'intero processo edilizio. In questo quadro le linee di

ricerca maggiormente fertili ai fini della minimizzazione della *Generalized Embodied Energy* valutata sull'*Extended Life Cycle* dell'immobile sembrano essere:

- lo studio delle costruzioni *Off-Site Manufacturing*;
- lo studio delle produzioni *Zero Waste*;
- lo studio della manutenibilità degli edifici;
- lo studio della flessibilità e adattabilità degli edifici;
- lo studio delle costruzioni montabili, smontabili, riciclabili;
- lo studio dei sistemi costruttivi Struttura/Rivestimento basati sulla specializzazione monofunzionale dei vari componenti (Zambelli, 1998; Imperadori, 1999).

Bibliografia

AA.VV., *Profilati di acciaio formati a freddo per impieghi strutturali, normativa-tipologie-progettazione*, in *Quaderno Tecnico* n°15, Nuova Italsider, 1985.

Boulding K., *The Economics of the Coming Spaceship Earth*, in H. Jarret, *Environmental Quality in a Growing Economy*, John Hopkins University Press, Baltimore 1968.

CIB, *Agenda 21 on Sustainable Construction*, CIB Report Publication 237, Rotterdam 1999.

Conti T., De Risi P., *Manuale della qualità*, Il Sole 24 Ore Libri, Milano 2001.

Curtis W. J. R., *Le Corbusier: Ideas and Forms*, Phaidon, London 1986

Galgano A., *La qualità totale*, Il Sole 24 Ore Libri, Milano 1990.

Galgano A., *L'approccio sei sigma*, in T. Conti, P. De Risi, *Manuale della qualità*, Il Sole 24 Ore Libri, Milano 2001.

Imperadori M., *La procedura stratificata struttura/rivestimento per l'edilizia sostenibile. Tecnologie dell'innovazione*, Maggioli, Rimini 1999.

Manfron V., Siviero E. (a cura di), *Manutenzione delle costruzioni, progetto e gestione*, Hoepli, Milano 1998.

Manfron V., *Buckminster Fuller: la ricerca Dymaxion, una storia americana tra innovazione e utopia*, in Sinopoli N., Tatano V., *Sulle tracce dell'innovazione*, Franco Angeli, Milano 2002.

Manfron V., *Qualità e tecniche ambientali*, in Di Giulio R., *Paesaggi periferici*, Quodlibet, Macerata 2013.

Petit J., *Le Courbusier: lui-même*, Éditions Rousseau, Genève 1970.

Zambelli E., *Costruzione stratificata a secco*, Maggioli, Rimini 1998.

Zorgno A. M., *Konrad Wachsmann, Holzhausbau, costruzioni in legno, tecnica e forma*, Guerini Studio, Milano 1992.

**Eco-efficienza, innovazione
tecnologica, off-site
manufacturing: i sistemi
costruttivi in Cold Formed
Steel** Eco-efficiency,
technological innovation,
off-site manufacturing: Cold
Formed Steel systems

Sergio Russo Ermolli

**Professore Associato di Tecnologia dell'architettura, Dipartimen-
to di Architettura, Università degli Studi di Napoli Federico II**

The paper aims at presenting the factors that promoted the use of Cold Formed Steel systems in architecture, considering the deep transformation that affected the building industry, through an examination of research activities developed within the Center of Light Technologies for the Built Environment of the Architecture Department of the University of Naples Federico II. Eco-efficiency, technological innovation and off-site manufacturing are considered significant key-words; actually, they can describe the trends, in steel industries, towards the promotion of CFS construction with Stratified Layer Systems that guarantee reversibility, durability, reliability but, most of all, towards a fast and safe building process with the minimum amount of material use. Research activities are mainly aimed at verifying technological process and technical tools able to assure the wider use of CFS systems in different contexts, the reduction of environmental impacts of design and construction activities, the efficiency of products and processes, the performance updating of existing buildings.

Researches on CFS systems, synthetically described, are focused on the following topics:

- assessment of the potentialities of hybrid construction having regard, not only, of the typological aspects (aggregation, usability, ecc.), but also of the technological ones (modularity, production logistics, on site works);*
- observations of the results of integrated design process among different skills (architectural, structural, engineering, technological, environmental, evaluation, ecc.);*
- identification of requirements, indicators and decision support tools for the sustainability of retrofitting activities, like recladding, over-roofing, ecc.*

This latter topic, considering recent European experiences of social housing mass retrofitting, through the “dialogue” between point clouds generated by scanners 3D, parametric modeling of BIM software and lean production industrial processes, outlines an ideal frame for the implementation of CFS technologies.

Gli esiti della crisi che ha colpito il mercato delle costruzioni hanno reso evidente, specialmente nel contesto nazionale, non solo la profondità e l'ampiezza degli elementi di criticità, ma allo stesso tempo la portata delle trasformazioni richieste per rispondere alle sfide che si delineano per i prossimi anni. Previsioni di scenario¹ indicano che il futuro ciclo edilizio porterà con sé un mercato diverso da quello finora conosciuto, concentrato intorno ad alcune aree strategiche riferibili in maniera diretta ai più attuali modelli di domanda e offerta. Nei prossimi anni il settore delle costruzioni appare destinato a intraprendere un processo di innovazione particolarmente significativo: un processo guidato soprattutto dalle dinamiche della globalizzazione, dall'evoluzione tecnologica e dalla questione energetico-ambientale, all'interno del quale l'innovazione di prodotto e di processo farà sempre più la differenza in rapporto a tempi e costi, qualità costruttiva, efficienza energetica, sicurezza, *comfort* ambientale. In un prevedibile scenario di risorse ancora limitate (anche dopo la crisi), sempre più centrale risulterà lo sviluppo di strategie indirizzate alla riduzione degli sprechi e all'aumento dell'efficienza dei prodotti e dei processi. Negli ultimi anni, infatti, l'ambiente da un lato e il mercato dall'altro hanno reso particolarmente urgente alla produzione industriale l'avvio di innovative politiche aziendali, capaci di ridurre le criticità ambientali e, allo stesso tempo, di sostenere la competizione globale.

Come più volte messo in evidenza², con il termine “eco-efficienza” si tende ad individuare principalmente un concetto di *business*, tramite il quale le aziende riescono ad conseguire maggiori ricavi con un minore utilizzo di materia ed energia riducendo, allo stesso tempo, emissioni, scarti e rilasci di sostanze inquinanti. L'eco-efficienza può

1 Federcostruzioni, *Primo rapporto sullo stato dell'innovazione nel settore delle costruzioni*, 2011; Federcostruzioni, *Rapporto 2014. Il Sistema delle costruzioni in Italia, 2014*; CRESME, *XXIII Rapporto congiunturale e previsionale*, 2015.

2 L. DeSimone, F. Popoff, *Eco-Efficiency. The business link to sustainable development*, MIT Press, 1997; E. Di Cristofaro, P. Trucco (a cura di), *Eco-efficienza. Metodologie, strumenti, casi di successo*, Guerini e Associati, Milano, 2002; WBCSD, *Eco-efficiency. Learning module*, 2006; S. Russo Ermolli, *Ecoefficienza dei processi di produzione: la tecnologia dei Cold Formed Steel*, in: M. Losasso, *Percorsi dell'innovazione. Industria edilizia, tecnologie, progetto*, CLEAN, Napoli 2010.

essere ricercata e implementata all'interno dei confini fisici dell'azienda, ma anche all'esterno di essa, lungo l'intera catena del valore del prodotto o del servizio offerto. In questo quadro, sono diverse le iniziative con cui le industrie produttrici tentano di integrare il tema dell'eco-efficienza all'interno delle loro attività, con l'obiettivo di ridurre al massimo grado quegli aspetti di criticità ambientale più direttamente governabili dalle aziende, allo scopo di posizionarsi in maniera competitiva nello scenario dell'offerta. Per affrontare le criticità, un ruolo primario viene svolto dall'innovazione tecnologica, sviluppata in termini strategici e rivolta allo sviluppo di processi e prodotti capaci di inserirsi in maniera più efficace all'interno del quadro di economia globale e di sostenibilità, dal quale le attuali logiche aziendali non possono prescindere.

Oggi l'attenzione verso azioni innovative, in grado di coniugare efficienza ecologica ed efficienza economica, si sta rapidamente affermando come principale *driver* di scelta presso tutti i più importanti centri decisionali. Qualsiasi prodotto dell'industria delle costruzioni, indipendentemente dai materiali e dalle tecnologie utilizzate, deve oggi essere pensato, progettato, realizzato, utilizzato e valutato alla luce della sua effettiva capacità di contribuire allo sviluppo economico, riducendo drasticamente il suo impatto sull'ambiente. Logiche che il settore della produzione industriale per l'edilizia ha saputo cogliere, comprendendo quanto le innovazioni di prodotto e di processo rappresentino il vero motore per una evoluzione sostenibile da un punto di vista economico e ambientale.

Pur tradizionalmente tributarie delle innovazioni di altri settori trainanti e legate ad una cultura del costruire profondamente radicata nella tradizione, numerose aziende produttrici hanno saputo interpretare l'innovazione aprendosi ad un approccio integrato, di sistema, valorizzando un concetto di prefabbricazione capace effettivamente di semplificare e velocizzare le lavorazioni di cantiere, limitare gli imprevisti e migliorare il controllo di tempi e costi. Soprattutto, si è promossa l'idea di industrializzazione basata su un uso intensivo delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione (ICT) nella ideazione e gestione del processo, con lo scopo prioritario di rimediare alla diffusa frammentazione decisionale e di spinge-

re gli operatori alla condivisione attiva d'informazioni, condizione fondamentale per snellire e razionalizzarne l'assetto produttivo. La diffusione dei temi dell'eco-efficienza, della digitalizzazione e della comprensione dello stretto rapporto che lega modalità realizzative e qualità ambientale, ha portato allo sviluppo di scelte progettuali e costruttive che privilegiano soluzioni di *Off-site Manufacturing* (anche sperimentali o innovative) capaci di garantire reversibilità, durabilità, affidabilità, riparabilità, ma soprattutto un maggior controllo della qualità in fase di produzione aziendale, minori sprechi di materiale in fabbrica e in cantiere e una maggiore velocità nella fase di costruzione.

Innovazioni “eco-efficienti” nel settore siderurgico: i sistemi costruttivi in acciaio formato a freddo

Il settore siderurgico, analogamente a quanto avviene per altre produzioni ad elevato impatto ambientale, ha avviato da tempo azioni finalizzate in modo prioritario al miglioramento dell'efficienza nell'impiego delle risorse, uno dei fattori chiave per la competitività del settore. Recenti analisi³ mettono in evidenza quanto la diffusione delle migliori tecnologie disponibili (*BAT - Best Available Techniques*), ovvero l'insieme di strumenti e procedure più avanzate per l'innovazione di processo e di prodotto, possa contribuire in modo significativo sia al raggiungimento degli obiettivi delle politiche ambientali comunitarie, che ad incrementare le quote di mercato, in quanto capaci di integrare tutela dell'ambiente⁴ e sviluppo indu-

3 European Commission Joint Research Centre, *Best Available Techniques reference document for iron and steel production*, 2013; World Steel Association, *Sustainable Steel. Policy and indicators*, 2014.

4 Va messo in evidenza che l'industria dell'acciaio, pur se responsabile, a livello mondiale, per il 4,6% delle emissioni totali di gas serra con 1,7 t di CO₂ per ogni tonnellata di acciaio prodotto, ha da tempo messo in atto una serie di strategie finalizzate alla riduzione della quantità di energia utilizzata e delle emissioni di CO₂. Negli ultimi 40 anni il consumo di energia è stato infatti ridotto del 50%, mentre le emissioni di CO₂ del 60% (fonte: *European Commission, European Steel Technology Platform: Vision 2030, report of the Group of Personalities*, March 2004). In particolare, l'industria siderurgica italiana dal 1990 ad oggi ha ridotto i suoi consumi energetici per tonnellata di acciaio prodotto di circa il 20% (fonte: *Odyssee - Energy Efficiency Indicators*) e le sue emissioni di oltre il 40% (fonte: UNFCCC).



Figura 1. Realizzazioni di alloggi unifamiliari. *Immagine di Fermacell/Condino.*

striale in maniera particolarmente efficace. Nella fase attuale le principali aree di azione del settore siderurgico riferibili all'innovazione eco-efficiente sono quelle del sistema logistico-produttivo, all'interno del quale sviluppare strategie *kaizen* volte al miglioramento continuo di *lean production*, attribuendo particolare rilievo alla *Zero Waste* come metodologia di incremento dell'eco-efficienza del sistema produttivo; alla gestione aziendale, definendo obiettivi strategici, Sistemi di Gestione Ambientale e modelli di management basati su approcci *Life Cycle*; alla progettazione del sistema prodotto, attraverso l'integrazione di obiettivi *green* con gli obiettivi tradizionali perseguiti nella progettazione di prodotto (prefabbricazione, riduzione dell'impatto ambientale lungo il ciclo di vita, disassemblabilità, riciclabilità, ecc.).

La filiera produttiva degli elementi in *Cold Formed Steel* (CFS), ovvero della sagomatura a freddo di lamiere o nastri in acciaio di medio e piccolo spessore, rappresenta quella in cui è possibile individuare con maggiore chiarezza gli esiti di tali azioni innovative, tra le quali particolarmente significative in tale quadro risultano essere:

- la riduzione degli scarti durante il processo di formatura a freddo;
- la riduzione dei tempi improduttivi attraverso un efficiente sistema di approvvigionamento del materiale;
- il riutilizzo degli sfridi da lavorazione;
- l'ottimizzazione del materiale utilizzato, ad esempio intervenendo sulle dimensioni degli elementi e sulle tipologie di collegamento.

L'utilizzo di apparecchiature a ciclo continuo in grado di automatizzare al massimo grado le diverse fasi di produzione, assicura la modifica rapida ed economica delle caratteristiche morfologiche, dimensionali e tecniche degli elementi, mentre sistemi automatizzati CAD/CAM garantiscono significativi risultati nelle procedure di ottimizzazione del materiale e di personalizzazione dei profili. Quest'ultime strumentazioni permettono di offrire non solo soluzioni standard in funzione di specifici requisiti progettuali, ma anche strutture elaborate su richiesta, utilizzando però, per limitare costi e tempi di realizzazione, unicamente profili ed elementi di serie. Gra-

zie all'impiego diffuso di tecniche di *Information Technology* la fase di progettazione risulta particolarmente snella e consente cicli di lavorazione veloci e versatili.

I processi di innovazione nella produzione industriale non riguardano esclusivamente le strutture in CFS, ma interessano anche le soluzioni di completamento esterno e interno degli edifici. Tali sistemi, basati su modalità di assemblaggio a secco, utilizzano tecnologie costruttive del tipo Struttura/Rivestimento⁵, nelle quali gli elementi di involucro e di finitura interna sono realizzati per mezzo di stratificazioni di materiali specializzati, capaci di fornire differenziati pacchetti funzionali a seconda delle specifiche esigenze.

La ricerca in questo campo è particolarmente dinamica: Regno Unito, Scandinavia, Giappone, Canada rappresentano i principali laboratori nei quali committenti, aziende produttrici, strutture di ricerca, progettisti e imprese sono coinvolti da tempo in processi di sperimentazione, sviluppo e diffusione di sistemi industrializzati in CFS, principalmente nel settore dell'edilizia residenziale. Un'attività che ha permesso di individuare differenti aspetti di innovazione connessi al loro impiego, di approfondire specifiche questioni chiave del loro utilizzo (componibilità tipologica, prestazioni ambientali ed energetiche, risposta sismica, cantierizzazione) e di delineare possibili futuri scenari della *Off-site Manufacturing* in tale settore. L'ambito di ricerca più interessante risulta essere non tanto quello dell'*housing* di piccola scala (alloggi mono familiari ad uno/due livelli), ma soprattutto quello riferibile a complessi abitativi pluriplano, per i quali elaborare soluzioni strutturali e tecnologiche che permettano di verificare le possibilità di conformazione tipologica dei sistemi, di risposta ai vincoli progettuali, di applicabilità in aree ad elevata densità abitativa, nonché di convenienza in termini economici e di tempi realizzativi. L'attività di ricerca svolta all'interno del Laboratorio di Tecnologie Leggere per l'Ambiente Costruito del Dipartimento di Architettura dell'Università di Napoli Federico II, già a partire dalla metà degli anni Novanta, si è incentrata

5 M. Imperadori, *Le procedure struttura/rivestimento per l'edilizia sostenibile. Tecnologie dell'innovazione*, Maggioli, Rimini, 1999; M. Imperadori, *La meccanica dell'architettura. La progettazione con tecnologia stratificata a secco*, Il Sole 24 Ore, Milano 2010.

su parole chiave quali leggerezza, reversibilità, flessibilità di impiego, innovazione di processo e di prodotto, dando spazio, in particolare, allo studio e alla ricerca applicata sui sistemi costruttivi in CFS, attraverso la definizione di modalità, strumenti di intervento e soluzioni tecniche capaci di assicurare:

- la più ampia applicabilità in rapporto alle differenti tipologie e categorie di intervento;
- la riduzione degli sprechi e degli impatti sull'ambiente delle attività di progettazione e costruzione;
- l'efficienza di prodotti e processi;
- l'updating prestazionale delle costruzioni esistenti.

Modularità, aggregabilità, flessibilità

Tra i differenti sistemi costruttivi in CFS le maggiori possibilità aggregative degli elementi in rapporto alle caratteristiche tipologico-funzionali del progetto, vengono attribuite alla *Hybrid Construction* (semi-volumetrico), sistema basato sull'impiego di unità tridimensionali per spazi ad elevata dotazione impiantistica, in combinazione con pannelli strutturali bidimensionali verticali e orizzontali. Il lavoro di ricerca⁶ ha avuto pertanto l'obiettivo di verificare le potenzialità di tale sistema nei riguardi non solo di questioni compositive/tipologiche (aggregabilità, fruibilità, ecc.), ma soprattutto in funzione di specifici aspetti tecnologico-realizzativi (modularità, logistica produttiva, cantierabilità, ecc.). La fase iniziale del lavoro ha sviluppato una serie di disposizioni planimetriche modulari⁷ articolate intorno alle unità vo-

6 Il progetto è stato sviluppato all'interno di un accordo di ricerca con l'azienda Profilsider di Elmas (CA) e della tesi di Laurea Magistrale in Architettura 5UE, *Housing in CFS e produzione industriale eco-efficiente: sperimentazione di un sistema semi-volumetrico*, 2009 (laureando: Antonio D'Acunzi; relatore: prof. Sergio Russo Ermolli; correlatore: ing. Giuseppe Turnu, Profilsider).

7 Tutti gli elementi del sistema sono stati dimensionati secondo un rettangolo di base, in modo tale da rendere modulare, secondo le due direzioni ortogonali, la loro aggregazione in pianta. Tale rettangolo risponde alla proporzione 1:3/2 avendo la base di dimensione 250 cm (A) e l'altezza 375 cm ($B=A+A/2$).

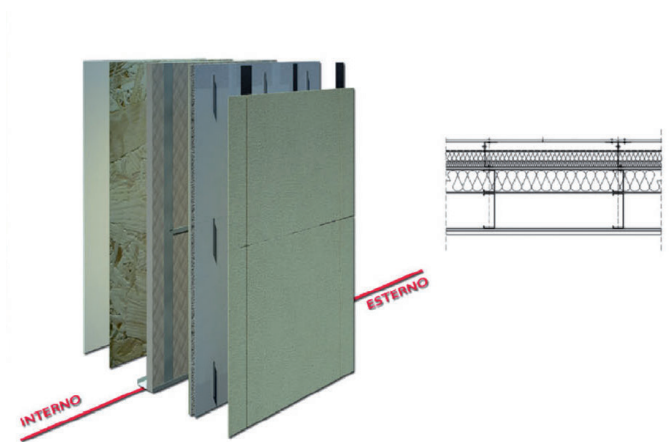


Figura 4. Scuola dell'infanzia e primaria a Lago Patria, Giugliano in Campania (NA), realizzata nel 2011 per la British Forces School del Ministero della Difesa del Regno Unito. Dettaglio del pacchetto di chiusura verticale. *Immagine dell'autore.*

lumetriche (*pod*) disposte in coppia con il lato maggiore ortogonale all'orditura dei pannelli orizzontali. I pannelli orizzontali sono stati orditi in modo unidirezionale secondo l'asse longitudinale del pannello e sono, in tutte le configurazioni ipotizzate, appoggiati ad un estremo della campata ad un *pod*, mentre dall'altra ai pannelli verticali o da un altro elemento volumetrico. Quest'ultimo può contenere bagni e cucine oppure, in alternativa, elementi di connessione verticale.

È stata quindi elaborata una proposta di configurazione modulare minima monofamiliare (ca. 65 mq di superficie utile abitabile) calibrata per far fronte ad una richiesta abitativa di tipo standard con *pod* interni, per poi successivamente passare ad una serie di soluzioni pluriplano (da 75 a 110 mq) con scale esterne alla maglia modulare. Successivamente sono state sviluppate alternative tipologiche più articolate: a blocco con scala centrale o in linea, ma sempre adottando gli stessi rapporti di modularità iniziali.

Approfondimento specifico è stato rivolto alle fasi realizzative e di completamento degli edifici con i sistemi Struttura/Rivestimento, mettendo in evidenza le tempistiche delle diverse soluzioni, nonché le prestazioni ambientali e tecnologiche ottenibili, elaborando infine una soluzione virtuale dimostrativa sulla quale ipotizzare una serie di alternative tecniche relative all'involucro.

Per una valutazione più accurata delle caratteristiche prestazionali dell'edificio progettato, allo scopo di avere un effettivo riscontro del grado di applicabilità e preferibilità nel mercato dell'*housing* del sistema semi-volumetrico proposto, si è confrontato il caso dimostratore con un edificio dello stesso tipo e analoghe dimensioni realizzato con struttura portante in pannelli prefabbricati di legno con struttura a traliccio.

Il raffronto ha riguardato unicamente l'ossatura dell'edificio, escludendo rivestimenti e completamenti, valutando caratteristiche dimensionali (peso e volume), nonché tempi di produzione in officina e di montaggio in cantiere. Gli esiti del confronto hanno messo in luce interessanti *performance*, anche non sempre competitive, del sistema semivolumetrico in CFS, legate agli aspetti di trasportabilità e facilità di manovra, di riduzione dei consumi energetici in fase di produzione e montaggio, di inquinamento acustico del sito di costruzione e di sicurezza in cantiere.



Figura 5. Retrofit di un complesso residenziale a Mercogliano (AV). Prospetto sud: stato di fatto e ipotesi progettuale. *Immagine dell'autore.*

Reversibilità, velocità di realizzazione, riduzione degli impatti

Esito di recenti attività di ricerca applicata, la scuola⁸ a Lago Patria rappresenta a tutt'oggi il più grande intervento in CFS realizzato in Italia. Commissionata dal Ministero della Difesa del Regno Unito, l'edificio ha rappresentato l'occasione per testare un processo di progettazione integrata, di collaborazione continua tra le diverse competenze (compositiva, strutturale, impiantistica, tecnologica, ambientale, valutativa, ecc.), dimostrando come, grazie ad un approccio sistemico, sfide prestazionali anche molto impegnative potessero trovare adeguato riscontro coniugando opportunamente ricerca e applicazione.

Il complesso, di circa 2000 mq, articola spazi didattici, amministrativi e i laboratori intorno ad una grande corte centrale che diventa il luogo primario della composizione. Un impianto sostanzialmente "claustrale", ad un piano, che ha il suo asse maggiore inclinato di circa 10° rispetto all'orientamento nord/sud in modo da ottimizzare l'esposizione degli ambienti didattici e sfruttare i flussi naturali gratuiti (illuminazione, ventilazione, apporti solari). L'impiego della tecnologia in CFS è stata determinante per soddisfare il requisito prioritario di reversibilità, velocità di realizzazione ed elevate prestazioni energetiche. Inizialmente il *brief* progettuale prevedeva che la scuola permanesse in sito per un tempo limitato: dopo 15 anni sarebbe stata smontata e l'area riconsegnata nelle stesse condizioni in cui si trovava prima dell'intervento. Successivamente il carattere di temporaneità della scuola è stato annullato, ma sono rimasti i forti vincoli legati alla tempistica di realizzazione (un massimo di 10 mesi). La scelta del procedimento strutturale si è indirizzato verso il sistema ad aste (*stick-build*) e non su quello bidimensionale (*panel*), soprattutto per la particolare posizione del sito: un ingresso non particolarmente ampio disposto su una stretta carreggiata che impediva l'agevole accesso all'area di cantiere a trasporti di una certa dimensione. Tutti i pacchetti di chiusura e di involucro interno sono stati assemblati a secco, in modo da assicurare un cantiere veloce, sicuro, pulito e di garantire facile

8 Committente: Defense Estates UK-NSU; realizzazione: Consorzio COSAP; progetto architettonico: F. Petillo (progettista incaricato), B. Santangelo, G. Cacciapuoti, E. Terzigni, A. D'Acunzi; progetto strutturale: R. Landolfo, L. Fiorino, O. Iuorio; consulenza tecnologico-ambientale: M. Losasso, S. Russo Ermolli; progetto impianti: R. Romano; computi e contratti: A. Mauro.

manutenibilità, integrabilità e sostituibilità nella fase gestionale. Le scelte dei materiali da utilizzare sono state orientate dalla volontà di impiegare materiali a basso impatto ambientale, riciclabili, durevoli e che non rilasciassero sostanze nocive sia durante la fase di utilizzo che in condizioni critiche (incendi, demolizione, ecc.). Le chiusure perimetrali sono realizzate con una stratificazione a secco dei seguenti elementi (dall'interno verso l'esterno):

- montanti strutturali in CFS;
- pannello OSB con funzione strutturale e di irrigidimento;
- doppio pannello, quello verso gli ambienti in gessofibra e quello interno in cartongesso fissati direttamente allo strato OSB e ai montanti in CFS, al fine di garantire reazione e protezione delle strutture dal fuoco;
- pannello isolante in lana di canapa;
- pannello isolante in fibre di legno mineralizzate;
- membrana impermeabile traspirante;
- facciata ventilata in pannelli di fibrocemento con sottostruttura in acciaio zincato.

Questa stratificazione assicura una trasmittanza (U) pari a 0,22 W/mqK e uno sfasamento termico di 12 ore. Le superfici vetrate sono protette esternamente da schermi in alluminio, azionabili meccanicamente, che hanno la funzione di *brise soleil* orientabili e, quando abbassati, garantiscono da azioni intrusive. Gli infissi sono in legno-alluminio con doppi vetri a camera d'aria con argon e, dove non sono presenti i *brise soleil*, vetri selettivi. Nelle aule e dei laboratori sono presenti lucernari oscurabili, movimentabili con telecomando, per garantire una buona illuminazione naturale degli ambienti e consentire uno smaltimento dell'aria calda accumulata durante il periodo estivo. Sulla copertura sono stati collocati collettori solari e moduli FV a film sottile a tripla giunzione integrati su lamiere in acciaio.

Leggerezza, adattabilità, versatilità

Un ambito particolarmente ampio per l'impiego di elementi in CFS è quello relativo alle operazioni di riqualificazione del patrimonio costruito. Lo sfruttamento delle potenzialità offerte dai sistemi in CFS oggi disponibili non ha certamente raggiunto nel nostro Paese un livello di

maturità paragonabile a quello di altri contesti europei ma, nonostante ciò, l'interesse nei confronti di tali tecnologie sembra essere cresciuto negli anni più recenti, proprio in quanto i sistemi CFS sono capaci di coniugare gli obiettivi di *retrofit* energetico con quelli di rifunionalizzazione complessiva degli edifici esistenti. Gli elementi in CFS trovano specifica applicazione negli interventi di riqualificazione per riconfigurare facciate (*overcladding* o *recladding*), trasformare coperture piane in inclinate (*over-roofing*), sopraelevare edifici esistenti.

All'interno di un ampio studio finalizzato all'individuazione di strumenti di supporto decisionale per la sostenibilità degli interventi di *retrofit*, la ricerca⁹ ha previsto lo sviluppo di un caso dimostratore, un complesso di edilizia sociale in provincia di Avellino in stato di semi-abbandono, sul quale individuare soluzioni distributive e tecnologiche finalizzate ad incrementare la qualità prestazionale complessiva dell'edificio attraverso interventi di *recladding* e la realizzazione di una sopraelevazione in CFS, necessaria a compensare la perdita di alcuni alloggi a seguito di una redistribuzione interna utile al miglioramento delle condizioni ambientali degli spazi. Recenti esperienze europee di *mass retrofitting* del patrimonio di edilizia sociale¹⁰ stanno dimostrando, attraverso l'impiego di nuvole di punti generate da scanner 3D, modellazioni parametriche degli applicativi BIM (*Building Information Modelling*) e processi aziendali di *lean production*, di poter gestire tutte le scelte progettuali, riducendo al minimo errori e di produrre elementi prefabbricati specifici per ogni intervento. Uno scenario che può rappresentare l'ambito ideale per l'applicazione delle tecnologie in CFS, in quanto capace di ottimizzare le scelte produttive, progettuali e costruttive connesse alla realizzazione di strutture formate all'assemblaggio di differenti elementi esiti di processi *off-site*.

9 Progetto sviluppato all'interno del Programma FARO (Finanziamento per l'Avvio di Ricerche Originali), Polo delle Scienze e delle Tecnologie, Università degli Studi di Napoli Federico II, *Innovazione e sostenibilità negli interventi di riqualificazione edilizia. Best Practice per il retrofit e la manutenzione (2009-2011)* e nelle tesi di Laurea Magistrale in Architettura 5UE *Le addizioni per il retrofit degli edifici residenziali*, 2011 (laureande: F. Macculi e M. Mucciardi; relatori: prof. R. Landolfo, prof. S. Russo Ermolli; correlatori: prof. C. Piscopo, arch. O. Iuorio, ing. L. Fiorino).

10 Si fa riferimento, in particolare, al programma olandese *Energiesprong* che, a seguito di un accordo tra cooperative di edilizia sociale, banche, imprese di costruzioni e aziende di materiali e componenti per l'edilizia, sta intervenendo su 111 mila unità abitative portandole al livello E=0 (Net Zero Energy) con operazioni cantieristiche di retrofit energetico della durata di 10-12 giorni.

Bibliografia

Barucco MA., *Progettare e costruire in acciaio sagomato a freddo*, Edicom, Monfalcone 2015.

Gorgolewski M.T., Grubb P.J., Lawson R.M., *Modular construction using light steel framing. Design of residential buildings*, The Steel Construction Institute, Ascot 2001.

Grubb P.J., Gorgolewski M.T., Lawson R.M., *Building design using cold formed steel sections: light steel framing in residential construction*, The Steel Construction Institute, Ascot 2001.

Imperadori M., *La meccanica dell'architettura. La progettazione con tecnologia stratificata a secco*, Il Sole 24 Ore, Milano 2010.

Landolfo R., Losasso M., Pinto M. R.(a cura di), *Innovazione e sostenibilità negli interventi di riqualificazione edilizia. Best practice per il retrofit e la manutenzione*, Alinea, Firenze 2012.

Landolfo R., Russo Ermolli S., *Acciaio e sostenibilità. Ricerca, progetto e sperimentazione per l'housing in Cold-Formed Steel*, Alinea, Firenze 2012.

Opportunità di sviluppo per un'architettura di qualità Development opportunities for an high- quality architecture

Valentina Manfè

**Architetto e assegnista di ricerca presso il Dipartimento di
Culture del Progetto, Università Iuav di Venezia**

The living concept and the housing model represent current and main matters. The capability to satisfy the requirements both of the society and of the citizen, becomes more and more important and the architectural design plays a leading role in this process.

Nowadays an architectural design represents a good solution when it is flexible and sustainable, because it meets human demands being restricted to the context and to the variable resources availability.

The architectural design defines human living space and it can satisfy aesthetic and quality requirements. A good architecture is based on current demands and it experiments new housing models, in order to identify design solutions and technological performance, constantly developing.

The construction idea is strictly connected to the living one, because the living space derives from human nature, so it foreruns the building action. The Lightweight Steel Frame represents a development opportunity, thanks to incremental innovations and an innovative architectural language. It's important to know the past project experience and the present one, through examples that can meet the new housing demands with an high architectural quality. The LSF buildings represent an answer to the technical evolutions started in the late Nineteenth Century, through projects and patents. The following examples show the LSF application and some advantages of this solution.

The projects move on several levels, from the house prototype to the housing estate; they represent the integration between technology and design and highlight the LSF versatility. It's the reason why construction system can represent a useful technology in order to satisfy the living and architectural quality.

La società e le diversità degli stili di vita confermano come il tema dell'abitare sia una questione centrale e attuale. Il verbo latino *habitare* deriva dal verbo *habeo* che significa “trovarsi in un luogo, stare” ma anche “possedere”, *habitare* vale a dire sentire di possedere un luogo che viene individuato come uno spazio proprio di ritrovo (D'Urso, 2009). Attualmente è forte l'esigenza di preservare il territorio non costruito e di rendere sostenibili gli insediamenti ma, al contempo, è di grande interesse l'individuazione di modelli abitativi che possano venire incontro alle sempre più diversificate necessità di chi occupa questi spazi. Proprio di questo si occupa l'architettura intesa nel suo senso più ampio e con valenza sociale. I modelli dell'abitare, per rispondere adeguatamente a queste esigenze, seguono i dettami della flessibilità: l'abitare contemporaneo è sostenibile se riesce a rispondere alla domanda di flessibilità imposta dal succedersi delle generazioni. La società e il contesto ambientale sono in continua evoluzione e, di conseguenza, non solo le esigenze ma anche i vincoli imposti dal contesto e le risorse disponibili sono in costante mutamento. L'architetto Adolf Loos sottolineava un duplice aspetto dell'abitare dicendo che «[...]la casa deve piacere a tutti. A differenza dell'opera d'arte, che non ha bisogno di piacere a nessuno. L'opera d'arte viene messa al mondo senza che ce ne sia bisogno. La casa invece soddisfa un bisogno[...]» (Loos, 1910). per riferire alla sostenibilità ambientale l'affermazione di Adolf Loos è sufficiente sottolineare (parafrasando Brundtland¹) che ciò deve essere vero per le generazioni odierne come per le future generazioni, nel contesto attuale e in quello futuro, qualunque esso sia.

Il professionista nel momento in cui progetta va a definire uno spazio architettonico che diventerà lo spazio abitato dall'uomo. Progettare significa definire uno spazio di vita che deve soddisfare esteticamente e qualitativamente l'utente, in relazione al contesto in cui è collocato. La progettazione è dunque un processo complesso. Una buona progettazione riesce a rispondere, dal punto di vista funzionale, alle diverse esigenze che si vengono a generare e, al contempo, ha la capacità di creare sempre nuove soluzioni spaziali e costruttive.

1 Il Rapporto Brundtland, nel capitolo secondo (*Toward Sustainable Development*) all'art. 1, definisce lo sviluppo sostenibile come lo “sviluppo che è in grado di soddisfare i bisogni della generazione presente, senza compromettere la possibilità che le generazioni future riescano a soddisfare i propri” (1987).

Un possibile indirizzo per la progettazione propone di prendersi carico delle esigenze della contemporaneità sperimentando modelli abitativi senza necessariamente fare un'operazione di sostituzione del modello abitativo precedente, ma individuando soluzioni progettuali e prestazioni tecnologiche e tipologiche aggiornate che possano evolvere senza stravolgere il percorso progettuale canonico. Tale processo progettuale ha ancora più valore se si sviluppa in forma di progetto partecipato, attraverso il quale l'utente può descrivere le proprie esigenze e relazionarsi direttamente con il progettista, collaborando alla definizione della morfologia e delle caratteristiche dello spazio dell'abitare a lui destinato.

Il costruire e l'abitare sono per il filosofo tedesco Heidegger (1910) i due punti focali attorno ai quali si struttura l'esistenza umana; costruire è subordinato ad abitare in quanto la capacità di abitare uno spazio è profondamente legata alla natura dell'uomo e quindi è precedente all'azione di costruire². In aderenza a tale ragionamento, nel corso del tempo, sono stati proposti elenchi di modelli e tipi di alloggi e un numero di soluzioni compositive e costruttive, tutti progetti alla ricerca di risposte all'esigenza di architetture di qualità, tutti progetti fondati sul discorso intorno all'abitare. Il sistema costruttivo *Lightweight Steel Frame* (LSF) rappresenta un'opportunità di sviluppo al fine di perseguire i principi e gli intenti fin qui esposti. È un sistema generato da innovazioni incrementali; innovativo è soprattutto il linguaggio architettonico che, tramite di questo, può essere generato dall'attuale e dalla futura generazione di progettisti. L'esperienza passata e recente è percorribile attraverso la conoscenza e l'analisi di alcuni progetti individuati come casi studio, e può fornire delle risposte alle nuove esigenze abitative aprendo possibili orizzonti, sempre mantenendo alta la qualità dei manufatti.

Vi sono numerosi progetti che hanno adottato il sistema costruttivo *Lightweight Steel Frame* e che mostrano la relazione tra il corretto uso di questo sistema tecnologico e l'altra qualità architettonica raggiunta dal costruito. Il sistema costruttivo *Lightweight Steel Frame* è un sistema

2 Heidegger M., *Costruire abitare pensare*, in *Saggi e discorsi*, traduzione di Vattimo G., Mursia, Milano 1990.

costruttivo che si avvale di profili in acciaio sagomato a freddo (*Cold Formed Steel*, CFS) che vanno a comporre dei telai leggeri e portanti; la struttura viene ultimata con l'utilizzo di materiali e prodotti da costruzione solitamente messi in opera a secco. Le principali caratteristiche del sistema LSF sono la rapidità di produzione e messa in opera (elementi che spesso riducono il costo di costruzione), la versatilità, la modulabilità e la leggerezza. Considerare dei casi studio significa analizzare delle *best practices* ovvero dei modelli di riferimento architettonico e tecnologico, con i quali potersi confrontare in fase di progetto. Conoscere il sistema costruttivo attraverso alcuni progetti realizzati, consente di avvicinarsi alle problematiche specifiche del lavoro del progettista avvicinandosi ad una possibile soluzione in modo pratico e concreto.

I progetti

Le costruzioni in LSF non sono nuove nel mondo della costruzione, ma sono il risultato dell'evoluzione di tecniche e di numerose sperimentazioni che derivano da progetti e brevetti sviluppati tra la fine dell'Ottocento e i primi anni del Novecento. I casi studio analizzati mostrano alcuni progetti che si avvalgono della tecnologia LSF ottimizzandone le caratteristiche e sfruttandone i vantaggi a partire da differenti contesti, vincoli e per diversi obiettivi. Questi esempi possono diventare il punto di partenza per ragionare sullo sviluppo di un linguaggio architettonico innovativo che, sulla scorta dell'esperienza, fornisca risposta alle nuove esigenze abitative contemporanee mantenendo, allo stesso tempo, alta la qualità architettonica dei manufatti. I progetti, raccontati come modelli di riferimento, riguardano il residenziale sotto diverse forme, dall'edificio prototipo individuale al grande complesso plurifamiliare. Questo racconto, nel quale gli attori sono la tecnologia e l'architettura applicati in vari luoghi e in vari tempi, segue un unico filo conduttore che sottolinea la spiccata versatilità del sistema LSF.

In Australia, alla fine degli anni Ottanta, Glann Murcutt progetta Magney House. La casa appare sperduta su un terreno di 33 ha, a 250 km da Sidney, e si affaccia sulla costa del Pacifico. La forma architettonica è la protagonista e il sistema costruttivo diventa lo strumento per la realizzazione di un'architettura in un contesto difficile. Questa abitazione



Figura 1. Glenn Murcutt, Magney House, Australia. Spazio interno. *Immagine di Anthony Browell.*

è un vero e proprio archetipo della costruzione in LSF, un prototipo di linguaggio compositivo che si avvale del sistema tecnologico LSF sfruttandone appieno alcune delle sue caratteristiche di semplicità costruttiva e definizione dei dettagli. La scelta dell'utilizzo del sistema costruttivo *Lightweight Steel Frame* è ricaduta sulla copertura di questo edificio per assecondare l'esplicita richiesta del committente che voleva che la propria abitazione gli ricordasse la leggerezza della tenda da campeggio che utilizzava su questo stesso terreno in gioventù, terreno dove ora è realizzata l'abitazione. Era inoltre necessario che la casa fosse flessibile ed estendibile e che gli spazi fossero indipendenti uno dall'altro. L'architetto risponde a queste domande con un'abitazione in cui gli ambienti si susseguono in linea retta e si suddividono longitudinalmente tra spazi serviti e spazi serventi: la fascia di servizio è più stretta e bassa, mentre gli spazi serviti sono più ampi e aperti. La copertura ha la forma di un'"ala di gabbiano" asimmetrica ed esplicita la leggerezza strutturale; il rivestimento interno ed esterno seguono armoniosamente questo andamento. La facciata è in stretta connessione con la copertura e si compone di una struttura in metallo formata da tubi cavi che connettono le pareti alla copertura. Magney House è pensata come una residenza leggera, flessibile e in armonia con il contesto. L'architetto sostiene che un'architettura che segue i ritmi naturali dell'ambiente sia l'unica architettura possibile e, in questo progetto, tale principio guida è messo pienamente in pratica.

Nel 2003, al parco La Villette (Parigi), lo studio parigino G. Harmonic & J.C. Masson progetta e realizza una residenza prototipo: la Maison Métal. Il progetto nasce per sperimentare il sistema tecnologico e costruttivo dell'acciaio sagomato a freddo applicato a una residenza. Commissionata dalla rivista *Architectures à vivre*, con il sostegno economico del Ministero Francese della Cultura, la realizzazione ha lo scopo di esplorare i modi moderni di vita, e ciò rende ancora più significativa la scelta del sistema costruttivo *Lightweight Steel Frame*. La struttura è realizzata in acciaio sagomato a freddo con il sistema costruttivo *stick-built* e grazie alla consulenza di *Profil du Futur*, costola di Acelor-Mittal: si compone di una serie di telai realizzati con travi accoppiate e montanti verticali. Questa particolare realizzazione si avvale di aste in acciaio sagomato a freddo di diverse sezioni, che vanno a formare il telaio portante. Per la Maison Métal il pacchetto costruttivo delle pareti



Figura 2. G. Maison Métal, Hamonic & J.C. Masson, La Villette (Parigi). Sfondamento dello spazio interno verso l'esterno dalla corte interna al piano terra. *Immagine di Hamonic + Masson Associés.*

è costituito da un rivestimento esterno in pannelli *sandwich*, isolamento e finitura interna realizzata in lastre di cartongesso. Tutta la struttura è stata realizzata in 15 giorni con un cantiere silenzioso e pulito all'interno del parco parigino che durante i giorni della realizzazione, grazie alla tecnologia adottata, ha potuto proseguire le attività ordinarie.

Una delle particolarità di questo sistema costruttivo è la reversibilità, quindi la possibilità di essere smontato e rimontato dopo la costruzione iniziale, con il riuso dei materiali da costruzione; la leggerezza degli elementi smontati, inoltre, ne facilita il trasporto. L'abitazione prototipo parigina è stata luogo di sperimentazione anche di questo: è stata costruita a Parigi e poi smontata per essere rimontata in Normandia, dove è diventata una vera e propria abitazione a pochi metri dalla costa dell'Oceano Atlantico. Oltre allo studio dell'aspetto tecnico, non è venuto meno lo sviluppo di un forte *concept* progettuale che ha tenuto in considerazione la relazione tra lo spazio interno e lo spazio esterno l'abitazione mediante la concezione di due "nastri" che si intrecciano, uno metallico e liscio che definisce l'edificio, l'altro vegetale. Il "nastro" metallico definisce il piano terra e, caratterizzando gli spazi abitativi, va a formare un quadrato di 13x13 m. La facciata verso il giardino, realizzata in acciaio inox e con vetro a specchio, appare più leggera e meno materica e lascia quindi spazio alla vegetazione. Con queste scelte progettuali la natura viene portata all'interno dell'abitazione, generando uno spazio aperto privato caratterizzato dalla comunicazione tra l'ambito domestico, più riservato, e il luogo con il quale l'edificio si relaziona.

Come nel caso di Murcutt, si tratta dello studio di un prototipo per il futuro, smontabile e rimontabile come la casa parigina, dunque un prototipo di linguaggio; a questi esempi segue un caso studio di quartiere sperimentale a forte carattere sociale. Nei primi anni 2000 l'architetto Jean Nouvel viene incaricato di progettare il *masterplan* della Cité Manifeste a Mulhouse, in Alsazia (Francia). La Cité Manifeste sorge sulla oramai dismessa area industriale del quartiere di Cité Ouvrière Muller, risalente al 1853 e progettato da Emile Muller per volere dell'associazione degli industriali locali allo scopo di ospitare gli operai e incrementare lo sviluppo industriale della città. È quindi un progetto sperimentale per lo sviluppo della città di Mulhouse in Francia.

Jean Nouvel invita quattro importanti architetti per progettare le 61

residenze richieste nell'area situata tra Rue Lavoisier e Rue André Clemessy. Si occupa personalmente della progettazione del fronte nord-est del lotto dove realizza il suo intervento di *social housing*. Il progetto complessivo dell'area è stato completato nel 2005 e inaugurato in presenza di Jean-Louis Borloo, prima delegato per le Aree urbane e il rinnovo urbano e poi Ministro dell'Impiego, del lavoro e della coesione sociale (con il governo Raffarin), ancora successivamente ministro dell'Impiego, della coesione sociale e dell'edilizia pubblica (con il governo di Dominique de Villepin). Nei documenti che hanno accompagnato l'evento di inaugurazione si legge che la Cité Manifeste di Mulhouse si può ritenere una delle più significative operazioni di sviluppo abitativo dell'ultimo decennio sul territorio francese. L'edificio progettato da Jean Nouvel si sviluppa su due piani fuori terra e mantiene la tipologia urbana storica della cittadina, costituita da case in linea dette "a terrazza". L'architetto sceglie il sistema *Lightweight Steel Frame* per tutto l'edificio e ne fa un uso tale da mettere a frutto la versatilità della struttura fitta e di facile modulabilità. Realizza un volume rettangolare lungo 94 m e profondo 13 m, come "una casa sotto un grande tetto". Quello che Nouvel ottiene sono dieci abitazioni di metrature tutte diverse tra loro, in contrasto con le tradizionali abitazioni operaie dell'intorno (tutte uguali tra loro) e all'insegna della personalizzazione delle residenze: questo risultato è stato possibile grazie all'impiego del LSF, modulabile, molto economico, di impianto regolare ma fortemente flessibile. Il progetto di Nouvel riprende il linguaggio dell'architettura industriale nell'uso dei materiali metallici ma è al contempo un linguaggio rinnovato, ottenuto realizzando unità abitative di diverse dimensioni caratterizzate da un'abbondante presenza di colore, nonchè dotando tutte e dieci le abitazioni di logge e giardino. Il sistema adottato sfrutta l'industrializzazione, senza però alcun riferimento alla prefabbricazione pesante che ha caratterizzato le periferie di molti centri urbani, soprattutto francesi. In questo specifico caso, il sistema LSF ha permesso di ridurre fortemente i costi di costruzione e ha garantito un'elevata rapidità di realizzazione e personalizzazione del progetto.

Uno dei più noti esempi di complesso residenziale in cui il sistema LSF diviene soluzione di una serie di problematiche è noto come Lingham Court-Stockwell, a Londra. L'edificio, che conta cinque piani fuori terra,

fu progettato dallo studio di architettura Pollard Thomas Edwrds Architects su commissione della Metropolitan Housing Trust, società che si occupa di interventi di edilizia sociale. Le particolarità di questo edificio sono la localizzazione, in pieno centro urbano al di sopra di una fitta intersezione di linee metropolitane, e la forma, caratterizzata da due corpi disposti a semicerchio e una torre dalla pianta ellittica. Il sistema *Lightweight Steel Frame* collabora con una struttura principale realizzata in acciaio; ciò ha permesso una riduzione del peso dell'edificio e ha consentito una progettazione delle strutture fondazionali che non interferissero con i condotti diari sotterranei. Il pacchetto costruttivo per la realizzazione delle facciate curve prevede, nella sua versione di base, una finitura interna realizzata con una doppia lastra di cartongesso fissata direttamente ai montanti in acciaio sagomato a freddo di 140 mm di anima, seguono una membrana di tenuta al vapore, una lastra di fibrocemento da 20 mm, pannelli isolanti in EPS (50 mm di spessore) e un'intercapedine d'aria; il completamento della facciata delle residenze è caratterizzato da traversi e rivestimento in assi di legno. La messa in opera delle strutture LSF ha seguito due metodologie differenti e di facile integrazione tra loro: una buona parte delle pareti è stata portata *in situ* già assemblata (anche se non completamente finita) e quindi posta in opera tramite connessioni puntuali a secco, altre parti dell'edificio e sezioni di finitura sono state realizzate con la metodologia *stick-built*, vale a dire operando in cantiere con aste singole.

Un altro esempio, un complesso residenziale di cinque corpi di fabbrica, sfrutta una terza modalità d'impiego del sistema LSF. Se a Londra sono state impiegate le soluzioni costruttive *panel* e *stick-built*, a Manchester è stato impiegato il sistema *volumetric*. MoHo, acronimo di *modular housing*, è un intervento residenziale di 102 alloggi su sette piani fuori terra, opera dello studio ShedKM e Joule (2006). È un progetto basato sulla produzione industrializzata di elementi con struttura in LSF (detti *pod*) per la realizzazione di unità abitative di alta qualità e di basso costo; sei piani sono realizzati con tali moduli tridimensionali costituiti da una struttura con un telaio in profili in acciaio sagomato a freddo rivestito di pannelli in acciaio e legno collaboranti. I moduli sono aggregati in soluzioni planimetriche che consentono di concretare alcuni principi degli studi svolti sullo spazio minimo e, al contempo,

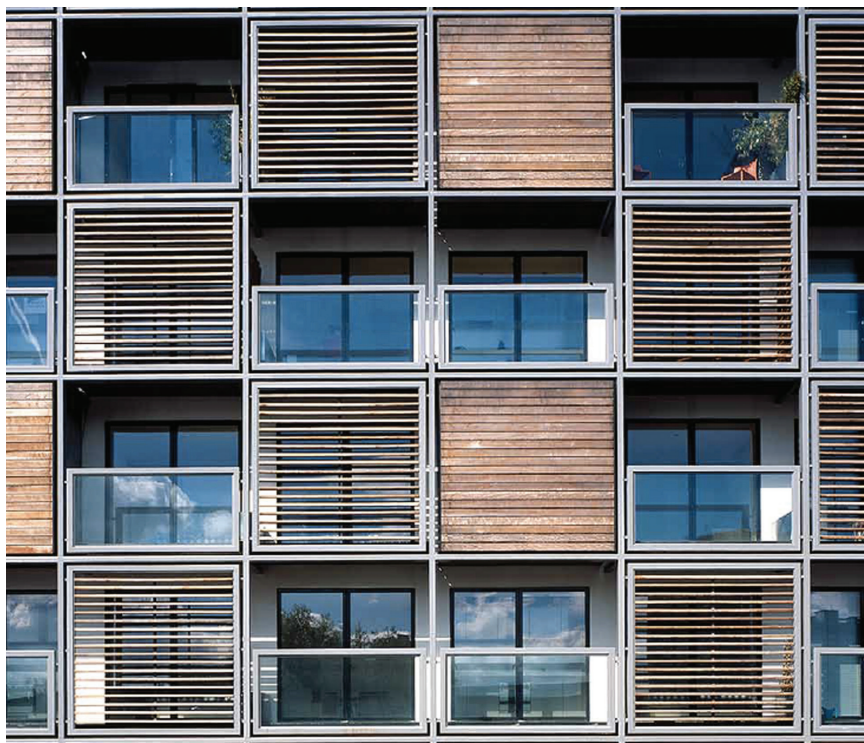


Figura 3. ShedKM e Joule, MoHo, Manchester. *Immagine di ShedKM e Joule.*

garantiscono la flessibilità proprio grazie all'aggregazione di *pod*. In questo modo vengono proposti tre tagli di appartamenti da 38 mq, 42 mq e 54 mq. Il progetto aggrega i moduli attraverso la rotazione di ogni volume parallelepipedo di 90°. I *pod* si affiancano così l'uno all'altro sul lato corto, lasciando i lati lunghi liberi. La volontà espressiva dei progettisti è stata quella di manifestare il ripetersi del modulo di base, che ha permesso di realizzare un interessante *texture* di facciata; la rotazione dei volumi, inoltre, ha consentito di ottenere una grande illuminazione naturale all'interno degli ambienti. Il risultato è un'architettura altamente qualitativa che non nega, ma che invece sottolinea, la derivazione modulare e il legame con l'industria dello sviluppo del cantiere.

L'utilizzo di moduli volumetrici in *Cold Formed Steel* è frequente nei casi in cui sono necessari grandi volumi in contesti complessi (ad esempio, per condizioni climatiche o socio-politiche); e grazie al forte innalzamento del livello qualitativo delle produzioni industrializzate e dell'attento controllo di tutti i dettagli del progetto, è sempre più frequente l'impiego di *pod* in CFS in contesti urbani (anche storicamente caratterizzati), dove risulterebbe complesso sviluppare lavorazioni a piè d'opera o lavorazioni che prevedono la messa in opera di impalcati con tecnologie "a umido". È il caso del lavoro dello studio Future Generations per la borgata di Hackney (Londra), all'interno di un tessuto urbano molto denso e di elevata complessità: il progetto di Clarence Road mostra un edificio residenziale di 3 piani costruito come un insieme di 14 unità volumetriche prefabbricate. La struttura di ogni unità viene realizzata in officina, l'acciaio sagomato a freddo viene assemblato tramite bullonature e realizza i solai e le pareti esterne; i solai sono poi completati con pannelli in calcestruzzo fibrorinforzato e i tamponamenti delle pareti verticali vengono infine realizzati in legno. Una struttura in acciaio pesante saldata è stata utilizzata per alcune parti del modulo, nel punto dove ci concentreranno i maggiori carichi una volta assemblato l'edificio. Solo quando il volume è completato viene portato in cantiere e assemblato con gli altri. L'assemblaggio avviene con il sistema *platform* ovvero la struttura portante non è continua in senso verticale in quanto l'assemblaggio degli elementi tridimensionali avviene sovrapponendo o affiancando volumi prefabbricati. Il volume più grande tra quelli posti

in opera misura 4,5x12,5 m, ha un'altezza di 3 m e pesa circa 24 t: questo permette il trasporto e l'assemblaggio in cantiere senza l'impiego di mezzi speciali o di grandi dimensioni. Il sistema *volumetric* in *Lightweight Steel Frame* ha permesso di avere un cantiere semplice, veloce e poco invasivo, per queste ragioni è stata la migliore soluzione per un sito di progetto così difficile.

Dal centro di Londra ci spostiamo ad un centro storico italiano, nella città di Milano, in prossimità di piazza Cadorna. In questo luogo l'acciaio sagomato a freddo è stato protagonista dell'intervento di *recladding* di un edificio per uffici, attualmente sede degli uffici Luxottica. Il progetto di riqualificazione è firmato dallo studio CMR di Milano. La realizzazione di una nuova facciata strutturale ha visto l'utilizzo dell'acciaio sagomato a freddo secondo la prassi di quello che oramai è conosciuto come "sistema CIPA®" prodotto, fornito e posato da SPH s.r.l.. La leggerezza del pacchetto parete scelto ha permesso di lavorare agilmente in facciata e di ottenere una particolare sezione del prospetto, consentendo la realizzazione di strombature che modulano le luci e le ombre nel foro finestra ottenendo un disegno architettonico del prospetto. Questi progetti mettono in evidenza come il sistema *Lightweight Steel Frame* sia un possibile e utile strumento per ottenere edifici di elevata qualità abitativa e architettonica. Progetti che, secondo le indicazioni tecniche adeguate per ogni caso, forniscono un riferimento e un punto di partenza per i progettisti che si avvicinano a questo sistema costruttivo.

È importante comprendere come questo sistema permetta di raggiungere il risultato architettonico e progettuale voluto senza imporre particolari vincoli nel confronto, ad esempio, con le soluzioni tradizionalmente impiegate in ambito italiano o europeo. Progettare con tecnologia LSF non significa seguire soluzioni progettuali standardizzate e impersonali; la corretta comprensione del sistema consente, invece, una ampia libertà progettuale, un preciso controllo della produzione attraverso la customizzazione delle varie parti in acciaio sottile e predisponendo l'edificio a gradi di flessibilità molto più elevati se confrontati con altri sistemi prefabbricati che utilizzano il legno o l'acciaio e che, essendo più pesanti, risultano essere anche più rigidi e costosi. Il progetto e la costruzione in LSF necessita di una progettazione integrata, che riduce al minimo le tempistiche e garantisce una migliore riuscita

del progetto finale. Grazie all'industrializzazione, il sistema permette di avere cantieri rapidi e puliti dove l'uso delle risorse è efficiente e gli scarti sono ridotti al minimo. Oltre alla validità del processo di costruzione, è agevolato anche ogni possibile intervento di manutenzione e di riqualificazione (incluse soprelevazioni e ampliamenti) nel corso del ciclo di vita del costruito. La recente pubblicazione degli apparati normativi per la costruzione in LSF e il suo probabile futuro ampliamento, apre oggi una gamma di possibilità d'impiego, utili non solo per individuare soluzioni economiche ed efficienti per un mercato edilizia complesso, ma aperte anche a sviluppi progettuali e ambiti figurativi poco percorsi o ancora inesplorati.

Bibliografia

Barucco MA., *Progettare e costruire in acciaio sagomato a freddo*, Edicom, Monfalcone 2015.

Brundtland G. H., *Our Common Future: the World Commission on Environment and Development*, Oxford University Press, Oxford 1987.

D'Urso S., *Il senso dell'abitare contemporaneo*, in *La casa unifamiliare*, vol. 1, Maggioli, Rimini 2009.

Fromonot F., *Glenn Murcutt: opere e progetti*, Electa, Milano 1998.

Granato M.T. , *Lo spazio della casa. La casa individuale come risposta all'abitare*, Tesi di dottorato, Università di Camerino, Camerino 2007.

Heidegger M., *Costruire abitare pensare*, in *Saggi e discorsi*, traduzione di Vattimo G., Mursia, Milano 1990.

Landolfo R., Russo Ermolli S., *Acciaio e sostenibilità. Progetto, ricerca e sperimentazione per l'housing in cold-formed steel*, Alinea, Firenze 2012.

Lilli M., *Gli spazi dell'abitare contemporaneo*, 2014, articolo consultabile alla pagina www.stradeonline.it (luglio 2015).

Till J., Schneider T., *Flexible Housing*, Elsevier, Oxford 2007.

La definizione del sistema LSF: dal progetto al cantiere LSF system definition: from the project to the construction site

Margherita Ferrari

**Architetto e assegnista di ricerca presso il Dipartimento di
Culture del Progetto, Università Iuav di Venezia**

Nowadays the management of every architectural process phase means offer an opportunity to sustainable improvement. The organization of the architectural process allows to check the materials, their disposition and their performance.

Ideally the lightweight steel frame can be a constructive example, because it offers the opportunity to create a direct communication between the digital plan and the elements production.

It's possible thanks to the CAD/CAM systems and the latest generation industrial equipments, that can produce accurate details. Some of these processing techniques are concerning to the steel element deformation that is the section definition. Other processing techniques are more particular and they are made only in specific points of the element.

Although this technology is still developing countries, in the market they are very much flexible industrial equipments, so they can be adapted to several architectural needs. This constructive solution allows to compare with different plan ideas and consequently it offers an unlimited geometric sections.

The detail definition is possible only thanks to the architectural definition, and consequently the structural and plant design. If this detail will be clearer, to a greater extent will be the information useful to the production of cold formed steel. This process reflects exactly to the Building Information Modelling, that is an operating system where the different architectural actors meet and change their informations.

So if there is a clear definition of each component, the production and the assembly will be more clear: these are advantages that the lightweight steel frame can offer.

Poter definire puntualmente in fase di progettazione i materiali da costruzione, la loro posa e il loro assemblaggio, permette di gestire con maggiore precisione anche le fasi della produzione e del cantiere. Questo comporta un maggiore controllo della qualità del manufatto, dato dalla definizione della messa in opera e quindi della corretta prestazione di ciascun materiale, strutturale o meno. Tuttavia alcune soluzioni costruttive non vengono sempre definite in fase di progettazione bensì rinviate direttamente alla fase di cantiere: questa scelta può comportare il prolungamento dei tempi di esecuzione, un eccessivo utilizzo di materiale, compromettere la sicurezza e un possibile incremento dei costi rispetto quelli stimati. Attraverso l'impiego di sistemi costruttivi a secco si è storicamente cercato di migliorare in maniera sempre più mirata questo coordinamento tra progettazione, dimensione dei materiali impiegati, disegno dei nodi e modalità di assemblaggio.

Il sistema costruttivo *Lightweight Steel Frame* (LSF) basa il proprio potenziale proprio sulla “definizione progettuale” poiché è possibile in questo caso trasmetterla direttamente alla linea di produzione, con rilevanti vantaggi anche durante le successive fasi. Il LSF si distingue dagli altri sistemi costruttivi a secco principalmente per la configurazione della struttura portante ovvero un telaio costituito da profili in acciaio sagomato a freddo. Questo telaio è articolato in elementi bidimensionali, quali pareti e solai, le cui disposizioni generano una sorta di “gabbia strutturale”¹, in cui ciascuna componente ha un ruolo meccanico definito. In alcuni casi il telaio collabora anche con gli elementi di tamponamento, che quindi a loro volta divengono elementi strutturali: questo aspetto deve essere necessariamente definito nella fase iniziale del progetto e in relazione alla normativa vigente. La collaborazione tra questi elementi richiede un tipo di progettazione differente e quindi una differente definizione dei nodi e dei metodi di assemblaggio. Nella manualistica inglese² e americana³ si distinguono due tipi di progettazione: *all steel design*, dove la progettazione

1 M. Imperadori, intervista del 14/07/2015.

2 LSK, European Light Steel Construction Association. *European Lightweight Steel-framed Construction*, Victor Buck, Luxembourg 2005.

3 AISI America Iron and Steel Institute. *Cold-formed Steel Design manual*, AISI, Washington DC 1996.

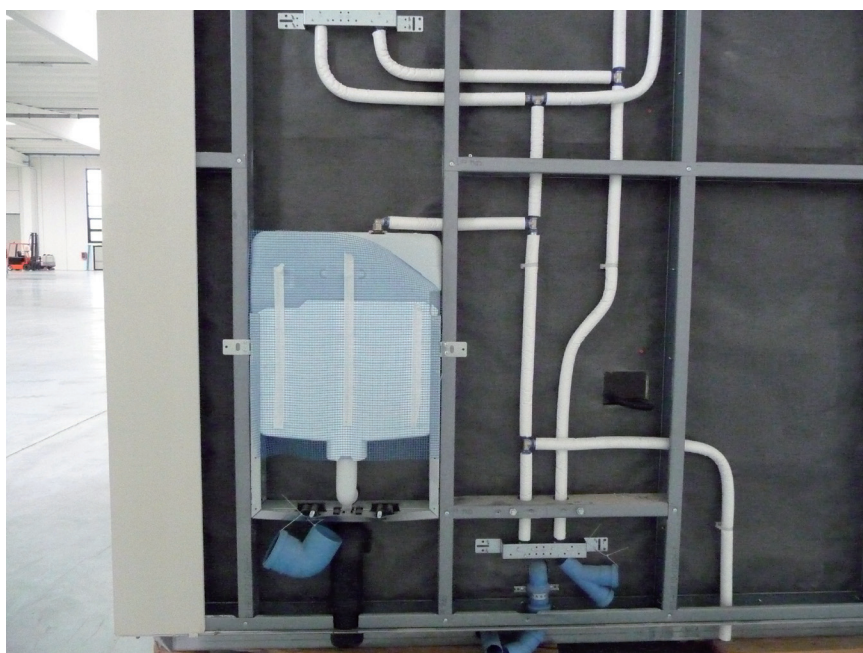


Figura 1. Esempio applicativo del passaggio degli impianti all'interno di un telaio Lightweight Steel Frame. Un'attenta progettazione permette di produrre in maniera puntuale i fori dei profili (per numero, dimensione, posizione). *Immagine dell'autore.*

meccanica viene fatta esclusivamente sulla base delle aste, e *shating imbraced design*, in cui i tamponamenti sono realizzati in pannelli che collaborano all'irrigidimento della struttura.

Una volta definito questo aspetto occorre valutare anche le altre parti del sistema connesse al telaio:

- sistemi strutturali collaboranti di tipologia differente, quali coperture in legno o fondazioni in cemento armato;
- stratigrafia dei materiali per le chiusure e le partizioni;
- impianti, che possono richiedere specifici spazi per la messa in opera (come nel caso dei sistemi domotici);
- eventuali tipi di arredo che necessitano di soluzioni strutturali ad hoc (ad esempio l'impiego di profili doppi per arredi sospesi).

Queste sono alcune variabili utili a progettare la complessità di un edificio: la potenzialità del sistema LSF consiste proprio nel poter trasferire questo livello di precisione progettuale direttamente al sistema produttivo, andando a definire ogni profilo CFS (*Cold Formed Steel*). Tutto questo è reso possibile dall'integrazione di macchinari ad alta prestazione tecnologica e dai sistemi CAD/CAM (*Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing*), in grado di trasmettere le molteplici informazioni digitali direttamente alla linea di produzione, riducendo drasticamente il margine di errore e incidendo sulla quantità di materiale stesso. Tale configurazione può raggiungere livelli di precisione molto elevati, grazie ai *software* e ai macchinari di ultima generazione, flessibili ed estremamente precisi. Questo tipo di lavorazione prende il nome di profilatura, ovvero un sistema di sagomatura basato su rulli la cui disposizione permette di modellare l'elemento in acciaio che viene introdotto nella profilatrice in forma di nastro, ovvero un elemento piano continuo ottenuto dal taglio dei *coils* (bobine di acciaio). La larghezza del nastro determina le dimensioni finali del profilo, in relazione al numero di lavorazioni e piegature. La lunghezza del profilo invece si definisce direttamente programmando il taglio. La profilatrice può essere estremamente flessibile, sia nel variare la disposizione dei rulli che possono modellare differenti geometrie, che per l'integrazione della piegatura con altre lavorazioni, quali il taglio o la preforatura, creando il passaggio per tubi o anche per elementi utili all'assemblaggio,

quali viti. Questa lavorazione conferisce qualità nel prodotto grazie alla precisione dell'operazione in officina dove si ha maggiore capacità di controllo rispetto al cantiere. La profilatura è una lavorazione molto precisa, più della pressopiegatura, un'altra tipologia di modellazione delle lamiere d'acciaio che permette di realizzare profili con minore grado di complessità. La pressopiegatrice è un macchinario che non utilizza elementi continui come i nastri, bensì degli elementi piatti definiti sulle tre dimensioni: generalmente il macchinario funziona manualmente ed è compito dell'operatore muovere i pezzi e inserirli nella pressa. Il grado di dettaglio, di flessibilità e di produttività della pressopiegatrice sono inferiori rispetto quelli della profilatrice, la quale permette di ottenere una gamma di sezioni geometriche e di lavorazioni pressoché infinita. Proprio per questo motivo risulta difficile costruire un abaco delle tipologie di profili CFS impiegati nel telaio strutturale.

Di fronte alla molteplicità di profili possibili, sorge spontanea la domanda su quale sia il più corretto da utilizzare: tale scelta viene fatta generalmente in base al contesto in cui si opera e quindi alla disponibilità manifatturiera. Negli U.S.A. gli elementi impiegati hanno generalmente sezioni geometriche semplici ma spessori che a volte raggiungono i 5 mm come nel caso del *Blue Sky Building Systems*, sistema LSF e omonima società americana di architetti⁴ che impiega questo sistema costruttivo per i solai integrandolo con elementi verticali scatolari in acciaio. Nel contesto europeo invece vengono generalmente impiegati profili in acciaio con spessore ridotto (non superiore ai 3 mm), ma con sezioni geometriche differenti a seconda della posizione del profilo all'interno del telaio. In Francia uno dei sistemi costruttivi in acciaio sagomato a freddo è più diffuso lo *Styltech*⁵, che si basa su profili di differenti sagomature, necessarie in alcuni casi per irrigidire l'elemento a discrezione dello spessore ridotto. Infine ci sono alcuni sistemi in acciaio sagomato a freddo che impiegano un'unica tipologia di profilo, generalmente a C, che viene lavorato in maniera puntuale a seconda della posizione in cui deve essere inserito all'interno del telaio: è il caso

4 Informazioni reperite dal sito www.blueskybuildingsystems.com (settembre 2015).

5 Informazioni reperite dal sito www.ds.arcelormittal.com/construction/styltech (settembre 2015).

del Sistema CIPA® che, attraverso l'impiego di macchinari di ultima generazione, consente alla produzione di realizzare ogni singolo profilo in funzione delle caratteristiche necessarie per lo sviluppo del telaio, senza ricorrere ad ulteriori trasformazioni in cantiere. In questo caso la profilatrice, oltre a modellare la sezione del profilo, può effettuare lavorazioni mirate in specifici punti del profilo CFS, come la schiacciatura del profilo (*swagge*), il taglio dell'anima e delle labbra (*nogging and lips notch*), il taglio inclinato della testa del profilo (*web notch*) o la preforatura per il passaggio delle viti o degli impianti. Queste operazioni permettono non solo di ridurre al minimo la lavorazione in cantiere, ma anche di mantenere la qualità del prodotto, senza compromettere la conformazione del profilo e quindi la sua deformazione.

I contesti in cui viene impiegato il sistema LSF sono differenti, e in base a questo può variare lo spessore, la sezione e la lavorazione del profilo: l'obiettivo resta quello di ottimizzare la produzione, riducendo al minimo le lavorazioni in cantiere. Per questo motivo esistono anche differenti tipologie di montaggio, definite proprio sul grado di lavorazione che viene effettuata in officina: nel caso del *volumetric system* (sistema a volumi) il modulo viene completamente assemblato in stabilimento e trasportato in cantiere esclusivamente per la posa; con il *panel system* (sistema a pannelli) invece vengono montate in cantiere le pareti già definite in tutti i loro strati; infine con lo *stick-built system* (sistema ad aste), l'assemblaggio avviene interamente in cantiere. Questi differenti sistemi vengono spesso integrati l'uno all'altro, soprattutto nel caso dell'impiego dei *pod*, ovvero unità pre-assemblate in officina e successivamente montate in cantiere con la restante struttura portante (realizzata con lo *stick-built system* o con il *panel system*); generalmente corrispondono a bagni e cucine, ovvero quelle unità caratterizzate da una specifica rete di impianti. Per ciascun *pod* occorre effettuare la connessione con estrema precisione, che si tratti di moduli tridimensionali o di profili CFS. La scelta del sistema da impiegare viene fatta sulla base del contesto in cui si opera e quindi ai vincoli legati al cantiere, all'officina o al trasporto stesso dei materiali, che a loro volta sono strettamente connessi alle normative vigenti e al grado di specializzazione della manodopera impiegata. L'assemblaggio in officina permette di avere un controllo maggiore sulla disposizione dei materiali e di garantire il loro corretto funzionamento durante la fase d'uso dell'edificio: questo non ri-



Figura 2. La struttura del solaio in profili in acciaio sagomato a freddo nel sistema costruttivo statunitense Blue Sky Building System. La struttura è composta da travi alte circa 30 cm e da travetti secondari di altezza inferiore: da notare i bulloni (dimensione e affollamento) che fanno intuire la tipologia di profili impiegati e il loro spessore che va oltre i 4 mm. *Immagine tratta dall'archivio digitale del cantiere a Santa Monica (U.S.A.) di Blue Sky Building System.*

Figura 3. Due esempi di lavorazione puntuale del profilo Cold Formed Steel: a sinistra il taglio dell'anima e delle labbra (nogging and lips notch), mentre a destra la preforatura per le viti. *Immagine dell'autore.*

guarda solamente gli elementi strutturali del telaio, ma anche la stratigrafia dei materiali e le prestazioni di isolamento necessarie (termo-igrometrico, acustico, resistenza al fuoco). In questo modo si può parlare di una “modalità” differente di prefabbricazione, non più basata su un vasto numero di prodotti standardizzati. Si tratta di un processo definito dal progetto architettonico stesso.

Tale controllo viene inteso, ed esteso, a tutto l'iter progettuale: dalla progettazione, alla disposizione in cantiere e assemblaggio finale, con l'obiettivo di gestire al meglio ciascuna di questi fasi. Il cantiere ideale vorrebbe esclusivamente l'impiego di un avvitatore, indipendentemente dal sistema di assemblaggio impiegato: che si tratti di un'asta, una parete o un *pod*, questi vengono trasportati in cantiere già predisposti per l'installazione senza la necessità di lavorazioni ulteriori. Per ottimizzare i tempi di montaggio e la corretta disposizione degli elementi, soprattutto delle aste, alcuni macchinari possono stampare sul profilo i codici identificativi corrispondenti a quelli definiti dal progetto, quindi evitano il rischio di collocare un'asta nella posizione scorretta all'interno del telaio. Tale precisione favorisce anche la messa in opera degli altri materiali che compongono le chiusure e le partizioni dell'edificio, garantendone le proprietà intrinseche e il corretto funzionamento meccanico della struttura in acciaio che rivestono.

Per soddisfare i requisiti di isolamento acustico, termoigrometrico e resistenza al fuoco, occorre definire puntualmente i materiali necessari a comporre la stratigrafia dei differenti pacchetti e la loro messa in opera: la struttura in acciaio sagomato a freddo rappresenta una parte di sistema costruttivo che permette di utilizzare una vasta gamma di prodotti, più ampia rispetto a quella offerta dall'analogo *balloon frame* ligneo⁶. I materiali possono essere selezionati strettamente in base alla funzione che devono svolgere e adattati all'occorrenza, ad esempio dalla copertura di un box auto, alla facciata per un'abitazione ad alte prestazioni energetiche. In questo modo i materiali possono essere utilizzati in maniera idonea al contesto in cui si opera, riducendo così gli sprechi e sfruttandone al meglio le proprietà. Gra-

6 P. Santos, L. Simoes da Silva, V. Ungureanu, *Energy efficiency of light weight steel-framed buildings*, in *ECCS T14 European Convention for Constructional Steelwork*, 2012.

zie alla tipologia strutturale del telaio in profili CFS si possono sperimentare materiali innovativi o particolari disposizioni degli stessi. Questa adattabilità contribuisce a rendere il *Lightweight Steel Frame* un sistema dalla significativa capacità di aggiornamento. La progettazione di un edificio realizzato con il sistema LSF può distinguersi molto dagli altri sistemi a secco, come quelli lignei o con elementi in acciaio laminati a caldo, dove anche in questi casi la stratigrafia dei materiali può essere costituita da elementi altamente prestazionali dal punto di vista acustico, termoigrometrico e di resistenza al fuoco. Tuttavia nel sistema costruttivo LSF il livello di precisione che si può raggiungere nel progetto, nella fase produttiva e quindi anche di montaggio è pressoché unica: a partire da un progetto architettonico è possibile definire fino alla singola vite di ogni determinato profilo e di conseguenza, contare ad esempio il numero esatto di lastre necessarie per il rivestimento di una superficie.

La capacità di definire in maniera così dettagliata un progetto viene oggi riconosciuta e agevolata dal processo di progettazione conosciuto come BIM (*Building Information Modelling*). Con questo sistema si è in grado di modellare e gestire in maniera specifica ogni componente del progetto, da quella strutturale a quella di arredo. Si crea un modello contenente numerose informazioni, utili a formulare una corretta stima dei costi e programmare in maniera più idonea il cantiere. Il BIM favorisce un processo di progettazione, gestione e controllo, e il sistema LSF necessita di questo genere di dettaglio. Tuttavia in Italia il BIM è ancora poco utilizzato e spesso viene associato all'idea di un metodo "complesso" di progettazione, derivante dalla coordinazione di tutte le figure coinvolte in un progetto architettonico.

Tuttavia è proprio la definizione di questa "complessità" che spiega il maggior vantaggio di questo modello, andando a descrivere lavorazioni spesso rinviate alla stessa fase di cantiere e quindi un maggior rischio di imprevisti in corso d'opera. I margini di guadagno e di precisione che si raggiungono tramite il processo BIM sono significativi: riduce il margine d'errore della stima dei costi di circa il 3% e i tempi utili per la predisposizione di un preventivo per il progetto vengono ridotti dell'80%⁷. Il siste-

7 Studio effettuato su 32 progetti, tratto da: T. Hartmann, M. Fischer, *Applications of BIM and Hurdles*

ma LSF trova nella modellazione BIM un'efficiente strumento con considerevoli vantaggi nelle fasi di produzione e di montaggio, grazie anche all'integrazione dei sistemi CAD/CAM. Uno degli aspetti più vantaggiosi di questo sistema riguarda proprio il cantiere: grazie all'impiego di prodotti già definiti e pronti all'uso si riduce drasticamente lo stoccaggio dei materiali, che idealmente vengono trasportati dall'officina, singolarmente o già prefabbricati in sistemi più complessi, e immediatamente installati. Si pensi ad esempio che il tempo di realizzazione di una travatura reticolare (alta 35 cm e lunga 6 m, comunemente utilizzata per il solaio di un'abitazione) è di circa 8 minuti, con il lavoro di due operai montatori. Il carattere innovativo in questo sistema consiste proprio nell'intero procedimento. Nel caso di un sistema costruttivo tradizionale in laterizio, la progettazione avviene sull'impiego di materiali e prodotti *standard* e spesso non vengono definiti in maniera dettagliata alcuni tipi di lavorazione, tanto che alcuni componenti una volta giunti in cantiere devono essere ulteriormente lavorati e modellati.

Con i sistemi costruttivi a secco si introduce nel progetto anche l'analisi puntuale per definire tutti quegli elementi che andranno a interagire nella fase di montaggio: per questo motivo anche la fase di progettazione risulta più intensa e focalizzata sulla gestione di diversi aspetti al fine di eseguire in maniera efficiente la successiva fase di cantiere, che ad oggi probabilmente costituisce quella più delicata all'interno dell'intero processo architettonico. Attraverso la progettazione BIM si tenta di creare un modello per il controllo e la gestione di un manufatto architettonico, allo stesso fine con il sistema LSF si dà al progettista la possibilità di trasferire il dettaglio progettuale direttamente al cantiere attraverso la precisione dei macchinari e le configurazioni tra i *software*, oltre che al fondamentale coordinamento tra tutte le figure coinvolte nel processo edilizio.

Bibliografia

AISI America Iron and Steel Institute, *Cold-formed Steel Design manual*, AISI, Washington DC 1996.

Hartmann T., Fischer M., *Applications of BIM and Hurdles for Widespread Adoption of BIM*, in *AISC-ACCL Construction Roundtable Event Report*, CIFE Working Paper n.WP105 (revised) febbraio 2008.

Landolfo R., Russo Ermolli S., *Acciaio e sostenibilità: progetto, ricerca e sperimentazione per l'housing in cold-formed steel*, Alinea, Firenze 2012.

LSK - European Light Steel Construction Association, *European Lightweight Steel-framed Construction*, Victor Buck, Luxembourg 2005.

Santos P., Simoes da Silva L., Ungureanu V., *Energy efficiency of light weight steel-framed buildings*, in *ECCS T14 European Convention for Constructional Steelwork*, ECCS, 2012.

Zambelli E., Imperadori M., Vanoncini P.A., *Costruzione stratificata a secco: tecnologie edilizie innovative e metodi per la gestione del progetto*, Maggioli, Rimini 1998.

Sitografia

www.blueskybuildingsystems.com

www.ds.arcelormittal.com/construction/styltech

www.steelconstruction.info

Il BIM e la progettazione integrata in Lightweight Steel Frame The BIM and the Lightweight Steel Frame integrated planning

Emilio Antonioli

Architetto e dottore di ricerca in Nuove tecnologie per il territorio, la città e l'ambiente, tema Tecnologia dell'architettura, Università Iuav di Venezia

The term BIM, Building Information Modeling, indicates a shared digital representation of the physical and functional characteristics of a constructed object. It is also an operating basis for all the design and management choices that involve the object during its entire life cycle, from the preliminary form definition to its demolition. A BIM model represent also a “simulation” of the building and it is characterized by four fundamental aspects: the use of three-dimensional smart objects as basic components of the model, the inclusion in the model of all data that describe the behavior and relationships between objects, the non redundancy of such data and finally the data coordination, so all related parameters will be updated to each input.

Metal constructions are one of the sectors in which BIM can reach many applications thanks to specific softwares developed for the design and verification of steel structures. BIM can find a wide application in Cold Formed Steel systems too, due to the nature of their production process. The CFS profiles are the result of a CAD/CAM production pro-cess, where a numeric control machine performs all machining operations on the com-ponents, like bending, cutting and drilling. The static calculations are performed through FEM software, using three-dimensional models to check tensions and joints; temperature and humidity checks are made by other softwares that allow to analyze the thermal flows. However, the current development of these programs doesn't allow a full integration of these phases but BIM opens the possibility of a future development. A single parametric model can be used both for the profiles molding and for the static and thermodynamic verifications. All that allows an integrated design of the building with a reduction of time and costs of the design phase, that is one of the most relevant for the Lightweight Steel Frame building.

Il termine BIM, acronimo di *Building Information Modelling*, indica una “rappresentazione digitale condivisa” delle caratteristiche fisiche e funzionali di un oggetto, che costituisce un supporto operativo per le scelte progettuali e gestionali che lo coinvolgono durante il suo intero ciclo di vita, dalla definizione iniziale della forma fino alla sua demolizione (ISO 29481-1, 2010). In sostanza, con il termine BIM si identifica sia il modello virtuale dell’oggetto che il sistema di gestione dei dati ad esso legati (Zacchei, 2014). L’idea di BIM, inteso però come *Building Product Model*, ha origine già alla fine degli anni ’70 quando Charles M. Eastman, professore del Georgia Institute of Technology, teorizza le prime applicazioni di sistemi digitali di gestione integrata dei processi produttivi, definendo il BIM come una «rappresentazione digitale del processo costruttivo che facilita lo scambio e l’interoperabilità delle informazioni in formato digitale» (Eastman, 1999). In tale definizione sono già individuabili le caratteristiche essenziali del moderno BIM: il formato digitale e l’interoperabilità legata al formato di interscambio. Definizioni più recenti di BIM sottolineano invece la triplice natura di questa tecnologia, che può essere descritta come un «nuovo paradigma della progettazione» (NBIMS-US, 2007). Essa si realizza infatti attraverso l’unione di tre aspetti peculiari: un modello tridimensionale intelligente, un processo di collaborazione e gestione condivisa dei dati e un processo di gestione del ciclo di vita dell’edificio.

La base su cui si costruisce questo nuovo paradigma nel settore delle costruzioni è dunque un modello tridimensionale, digitale, dell’oggetto sul quale si instaurano una serie di processi che permettono di gestire l’intero ciclo di vita dell’edificio. Questo rappresenta una vera e propria simulazione dell’opera ed è caratterizzato da quattro aspetti fondamentali che lo differenziano dai più comuni modelli vettoriali: l’uso di oggetti tridimensionali intelligenti come componenti base del modello, l’inclusione di tutti i dati che descrivono il comportamento e le relazioni tra oggetti, la coerenza e la non ridondanza di tali dati e infine la loro coordinazione, affinché ad ogni input corrisponda un aggiornamento di tutti i parametri ad esso collegati (Zacchei, 2010). Sulla base di queste caratteristiche, un modello BIM è formato da oggetti parametrici, costituiti da solidi contenenti informazioni sulle caratteristiche fisiche e dimensionali degli oggetti, sulla tipologia di vincolo tra loro, sull’adattabilità e sulla relazione o

posizione reciproca tra i diversi elementi. Nella modellazione parametrica l'utente non disegna più le singole linee o facce di un oggetto ma sceglie una classe di oggetti (ad esempio muro, trave, finestra, ecc.) e ad essa assegna specifiche caratteristiche che possono riguardare dimensioni, distanze, angoli, posizioni, parallelismi, *offset*, ecc. (Eastman, 2012). Il modello così realizzato deve inoltre essere editabile da operatori differenti, permettendo un automatico aggiornamento di tutte le parti coinvolte nella trasformazione. Infine il modello BIM deve risultare interrogabile, ossia da esso sarà possibile estrapolare tutte le informazioni (disegni, viste tridimensionali, computi e capitolati, ecc.) senza la necessità di predisporre nuovi elaborati di progetto. Il BIM consente di estendere il campo di azione del progetto anche alla quarta e alla quinta dimensione, potendo includere nelle valutazioni il tempo e il costo dei singoli oggetti. In questo modo la progettazione BIM si pone come uno strumento di gestione del progetto che mira all'ottimizzazione di tutti i processi, da quelli legati alla produzione a quelli riferiti alla costruzione fino a quelli legati alla gestione e dismissione dell'opera, potendo programmare tempi e costi di ogni fase di vita dell'edificio. Questo nuovo paradigma progettuale sta trovando sempre più spazio in settori specialistici, come la progettazione strutturale, dove sono stati sviluppati *software* verticali dedicati alla progettazione BIM. Ciò ha permesso di integrare allo sviluppo del modello tridimensionale le fasi di analisi statica, di verifica dei nodi e di contabilizzazione dei materiali permettendo indubbie economie di progetto.

In questo scenario, le costruzioni metalliche sono senza dubbio uno degli ambiti in cui il BIM ha trovato maggiori applicazioni con diversi *software* sviluppati proprio per il progetto e la verifica delle strutture in acciaio. Anche nel settore del *cold formed steel* le tecnologie BIM possono trovare ampia applicazione grazie alla natura stessa del processo produttivo. I profili CFS di più recente concezione sono infatti frutto di tecnologie produttive di tipo CAD/CAM, grazie alle quali un macchinario a controllo numerico esegue tutte le lavorazioni sui diversi componenti della struttura – dalla piegatura al taglio, fino alla foratura – sulla base di un progetto digitale realizzato con un *software* CAD. Dimensionamenti e analisi statiche vengono eseguite mediante *software* ad elementi finiti (FEM) che utilizzano modelli tridimensionali per verificare le tensioni sulle aste e la resistenza delle connessioni,

mentre le verifiche termo-igrometriche sono eseguite con altri *software* che consentono di analizzare i flussi termici attraverso la parete.

Lo stato attuale dello sviluppo dei programmi non consente, ancora, una piena integrazione tra queste fasi ma ne lascia intendere un possibile ambito di sviluppo futuro. La realizzazione di un solo modello parametrico, utilizzabile sia per il passaggio in macchina per la formatura dei profili che per le verifiche statiche e termodinamiche, consentirebbe ulteriori riduzioni dei tempi e costi di progettazione che, nell'ambito delle costruzioni in acciaio sagomato a freddo, incidono in modo rilevante sul costo totale dell'opera inoltre, la possibilità di inserire in tale modello anche i dati relativi a costi, uso dei materiali, tempi e installazione di impianti e arredi va a dare piena forma all'idea di progetto integrato che il BIM vuole proporre e che ben si associa alle tecnologie *Lightweight Steel Frame*; esse fanno infatti riferimento a modelli produttivi in cui la costruzione si realizza per montaggio di componenti, siano essi singole aste o pannelli preformati in officina e già completi di tutte le lavorazioni – foratura, taglio, piegatura, ecc. – necessarie per l'integrazione di impianti, accessori o finiture d'arredo. In questo scenario la progettazione BIM può consentire un controllo ottimale sia sui tempi della costruzione che sulle interferenze tra le diverse lavorazioni, grazie ad un modello digitale di riferimento che contiene in sé tutte le informazioni legate al progetto.

Esempi interessanti in questo campo sono applicazioni per *software* di modellazione tridimensionale sviluppate per la progettazione di telai leggeri in profilati metallici; questi *tool*, che vengono integrati al *software* primario, permettono di definire la sezione delle aste, la conformazione dei nodi o la forma di profili speciali posti in corrispondenza di porte o finestre, semplicemente selezionando da un menù a tendina il componente BIM più appropriato; contemporaneamente i *tool* ne valutano gli ingombri, la resistenza meccanica e le interferenze con gli altri elementi aggiornando il modello in funzione alle caratteristiche scelte. Ciò consente indubbi risparmi temporali in termini di progetto ma, soprattutto, consente di fare riferimento a soluzioni standard verificate, riducendo quindi il rischio di errori progettuali o di disegno. Requisito essenziale per poter sfruttare tutte queste potenzialità è l'interoperabilità, ossia la possibilità di scambiare dati a livello *software* tra differenti applicazioni (NBIMS-US, 2007). Tale concetto è applicato in tutto il settore digi-

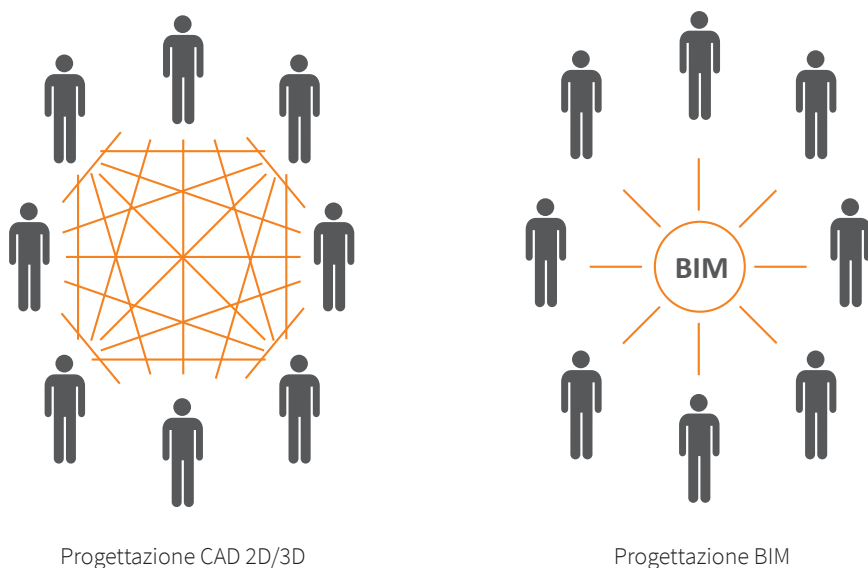


Figura 1. Il diverso approccio alla progettazione CAD tradizionale (a sinistra) e il nuovo paradigma BIM (a destra). Se nel primo caso esistono molteplici e reciproci scambi di informazioni e file tra i vari attori del processo edilizio nel BIM ogni operatore si rapporta direttamente con il modello parametrico andando ad interagire e modificare di conseguenza anche i rapporti e le relazioni con altri aspetti del progetto. Ciò consente un maggior controllo delle interferenze e un minor dispendio di tempo, e quindi di costi, legati all'interpretazione e all'elaborazione dei dati provenienti da altre fonti. *Immagine dell'autore.*

tale mediante la definizione di specifici formati di interscambio quali il formato DXF (*Drawing eXchange Format*) o il formato PDF (*Portable Document Format*). In ambito BIM tale caratteristica è garantita dalla compatibilità del modello con il formato di interscambio ifc.ix, recentemente normato dalla ISO 16739:2013, *Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries*. L'interoperabilità consente quindi lo scambio di informazioni tra i diversi attori del processo edilizio – dal progettista allo strutturista passando per i vari produttori dei componenti e i singoli tecnici coinvolti – fornendo a tutti una base, il modello BIM, su cui operare e da cui ricavare le informazioni utili per la propria attività. Si attua quindi una trasformazione del processo progettuale che contrappone ad un multiplo e reciproco scambio di informazioni, con conseguenti possibili errori e incomprensioni, un'interazione diretta tra il singolo attore e il modello parametrico.

Ad oggi, tuttavia, la diffusione della progettazione “bimcentrica” risulta ancora limitata se si escludono i settori specialistici già citati, soprattutto a causa della scarsa interoperabilità tra i formati nativi dei molti software. Ciò è causa di ritardi e costi aggiuntivi per i vari operatori che sono spesso costretti a rielaborare i disegni per procedere nella definizione delle loro attività di competenza. Le motivazioni di questo fenomeno sono da un lato imputabili allo sviluppo delle piattaforme software, dedicate prevalentemente alla progettazione architettonica, dall'altro alla scarsa conoscenza del BIM in ambito professionale. Molto spesso infatti questi software sono utilizzati in maniera “non completa”, sfruttandone solo le potenzialità di modellazione e visualizzazione 3D e non le effettive possibilità di progettazione integrata. Le caratteristiche della progettazione BIM si pongono dunque come una nuova frontiera di innovazione del processo edilizio fornendo ai produttori e ai progettisti la possibilità di confrontarsi con progetti sempre più complessi ed articolati pur mantenendo sotto controllo tempi e costi del processo. Tuttavia un approccio BIM al progetto non richiede solo strumenti hardware o software appropriati ma anche competenze specifiche e una visione fortemente integrata del progetto in cui tutti gli attori siano partecipi del processo generativo dell'opera fin dalle sue prime fasi ideative.

Bibliografia

Eastman C., *Building Product Models: Computer Environments Supporting Design and Construction*, CRC Press, Florida 1999.

Eastman C. et al., *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*, John Wiley & Sons, 2nd Edition, Hoboken NJ 2011.

ISO 16739:2013, Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries.

ISO 29481-1:2010, Building information modelling - Information delivery manual - Part 1: *Methodology and format*.

NBIMS-US, *National Building Information Modeling Standard™*, National Institute of Building Sciences, Washington DC 2007.

Zacchei V., *Building Information Modeling. Nuove tecnologie per l'evoluzione della progettazione-costruzione*, Aracne, Roma 2010.

Zacchei V., *Nuovi strumenti per gestire il processo di progettazione-costruzione: il Building Information Modelling e la sua diffusione*, in *L'Ufficio Tecnico*, 2014, n.10-11, pp. 100-110.

**Costruire con i profili
sottili di acciaio formato
a freddo: tra ricerca e
sperimentazione** Cold
Formed Steel construction:
from research to field test

Monica Antinori
Fondazione Promozione Acciaio

Federica Scavazza
Cogi srl

This report shows an overview of the design principles for cold-formed steel (CFS) structures in accordance with European Standards.

The structural design of a building in cold-formed steel is based on the Eurocode specifications. Structural systems composed by interconnected components (e.g. trusses, purlins and walls) form a complex design, which is not entirely covered by design code procedures. Numerical analysis is available, but in many situations, modelling can be very complicated. In order to avoid this problem, the Eurocodes allow the use of testing procedures to evaluate structural performance. The experimental approach is necessary to study the behavior of the structural system.

The experimental approach can also be used to investigate the fire performance of the system, particularly for the load-bearing walls and floors. Fire resistance is one of the most fundamental requirements of the building safety.

The design of the building envelope (e.g. external walls, roofs, ground floor and external floor) is important to ensure a good thermal and acoustic behavior and to certify the energy efficiency of the building. The report contains the reference standards to assessing acoustic and energy performance of the building envelope.

The fabrication and assembly of cold-formed steel structures is covered by EN 1090. This Standard specifies requirements for the construction of steel structures, in order to ensure adequate levels of mechanical resistance, stability and functionality.

La crescente competitività a livello internazionale, parallelamente all'attuale orientamento del mercato volto ad un'edilizia di tipo sostenibile, ha indotto alcune realtà produttive alla ricerca e allo sviluppo di sistemi costruttivi innovativi di acciaio. Tali soluzioni strutturali vedono l'utilizzo dei profili sottili di acciaio formato a freddo quali elementi costitutivi lo scheletro portante della costruzione. Si tratta di profili caratterizzati da sezione aperta e dallo spessore estremamente contenuto. Il prodotto di partenza è costituito da un nastro di acciaio strutturale avvolto in una grossa bobina, detta *coil*. Questa lamiera, in quanto materiale base per impieghi strutturali, deve essere conforme ai requisiti di tolleranza e alle condizioni tecniche di fornitura riportate nelle seguenti normative: la UNI EN 10025-1:2005 *Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 1: Condizioni tecniche generali di fornitura*, e per quelli non rivestiti la UNI EN 10346:2009 *Prodotti piani di acciaio rivestiti per immersione a caldo in continuo - condizioni tecniche di fornitura* e la UNI EN 10143:2006 *Lamiere sottili e nastri in acciaio con rivestimento applicato per immersione a caldo in continuo - Tolleranze sulle dimensioni e sulla forma*.

Il *coil* viene posizionato sull'aspo della linea produttiva in modo tale da poter svolgere e lavorare la lamiera in continuo facendola passare attraverso una serie consecutiva di rulli, ciascuno dei quali le conferisce progressivamente una piegatura. Lungo la linea possono essere posizionati differenti stampi ciascuno dei quali interviene eseguendo sul profilo una determinata lavorazione, l'ultima delle quali è rappresentata dal taglio. Così facendo il profilo esce dalla linea produttiva della misura voluta e dotato di tutte le lavorazioni necessarie al suo assemblaggio.

I vantaggi connessi a questa tipologia costruttiva sono molteplici. Anzitutto la leggerezza, dovuta alla geometria del profilo, l'efficienza strutturale, in quanto può essere concepito come un sistema modulare e prefabbricato, la durabilità, garantita dall'utilizzo di acciaio zincato, la rapidità e la semplicità di montaggio assicurate dall'elevata tecnologia ed ingegnerizzazione del prodotto ed infine la sostenibilità, in quanto le strutture sono ottenute da acciaio riciclato e riciclabile al 100% e sono assemblate interamente "a secco" con un utilizzo minimo delle risorse non rinnovabili. Queste caratteristiche si traducono nell'offerta di un sistema costruttivo estremamente competitivo e versatile.

COSTRUIRE CON I PROFILI SOTTILI DI ACCIAIO FORMATO A FREDDO

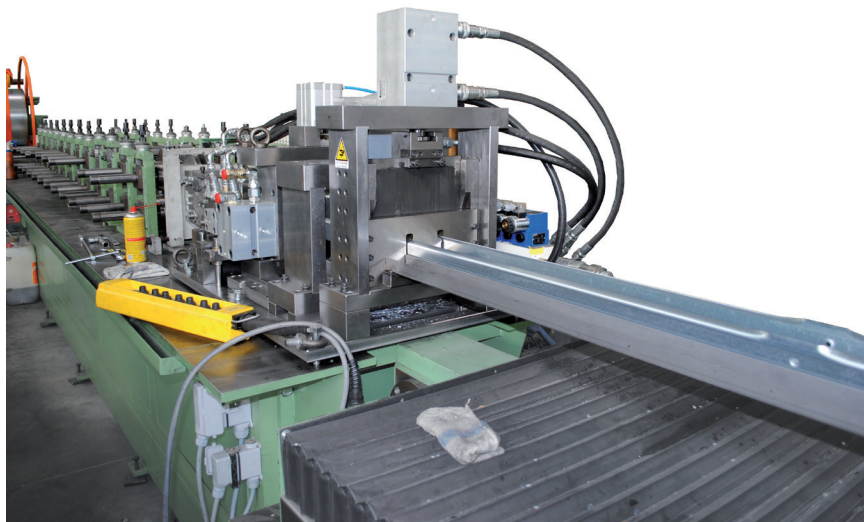


Figura 1. Linea di produzione profilo steelMAX®. *Immagine di steelMAX®.*

Figura 2. Edificio residenziale realizzato con il sistema steelMAX®. *Immagine di SteelMAX®.*

Questa tecnologia, oramai consolidata in nazioni come Stati Uniti, Australia, Canada e Giappone, consente la costruzione di fabbricati a uso commerciale, produttivo e residenziale. La leggerezza dello scheletro portante rende questo sistema costruttivo particolarmente adatto per gli interventi di ampliamento e di sopraelevazione. Inoltre, la massima integrabilità dei profili in *cold formed* con i prodotti dell'edilizia a secco permette la realizzazione di involucri altamente prestazionali ed energeticamente efficienti.

Presupposto fondamentale per il raggiungimento di tutti i vantaggi che il sistema in questione offre è la completa caratterizzazione strutturale di tutte le sue componenti, dal semplice profilo di acciaio alla sua unione, al fine di realizzare elementi portanti di solaio e di parete.

Il quadro normativo di riferimento per la progettazione mediante i profili sottili di acciaio formati a freddo è costituito essenzialmente dal *corpus* degli Eurocodici. Tra i più rilevanti troviamo:

- UNI EN 1990:2006 Criteri generali di progettazione strutturale;
- UNI EN 1993-1-1:2014 Progettazione delle strutture in acciaio. Parte 1-1 Regole generali e regole per gli edifici;
- UNI EN 1993-1-3:2007 Progettazione delle strutture in acciaio. Parte 1-3 Regole generali e regole supplementari per l'impiego dei profilati e delle lamiere sottili piegate a freddo;
- UNI EN 1993-1-5:2007 Progettazione delle strutture in acciaio; Parte 1-5 Elementi strutturali a lastra;
- UNI EN 1993-1-8:2005 Progettazione delle strutture in acciaio. Parte 1-8 Progettazione dei collegamenti;
- UNI EN 1998-1:2013 Progettazione delle strutture per la resistenza sismica. Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici.

La novità e la complessità dei fenomeni che influenzano la risposta strutturale dei profili sottili e delle connessioni, e quindi delle stesse componenti in *cold formed*, è tale da presentare numerose variabili per essere affrontata esclusivamente per via teorica, risulta pertanto indispensabile il supporto della sperimentazione. La sperimentazione si pone come strumento certo in grado di cogliere la complessità della

risposta strutturale, di evidenziarne eventuali criticità e di suggerire soluzioni finalizzate all'ottimizzazione del sistema. La ricerca sperimentale rappresenta la possibilità di validare la fase di analisi numerica che, come anticipato, nel caso dei profili sottili formati a freddo si rivela assai complessa ed onerosa.

Già negli Eurocodici più generali come nella EN 1990 alla Sezione 5.2, nella EN 1993-1-1 alla Sezione 2.5, fino nella EN 1993-1-3 alla Sezione 9, norma di riferimento per i profili sottili, è più volte esplicitato il concetto del *design assisted by testing* ovvero della progettazione assistita dalla sperimentazione. In particolare nell'annesso A della EN 1993-1-3 sono riportate informazioni aggiuntive relative alle procedure di prova da adottare sui profili e sulle componenti strutturali in *Cold Formed Steel* (CFS).

Questo modo di impostare la progettazione apre le porte ad un rapporto sinergico tra mondo industriale e mondo accademico il cui frutto è la ricerca ed il potenziamento di sistemi costruttivi innovativi, come nel caso delle strutture in *Cold Formed Steel*. Tanto più che negli ultimi anni, in seguito all'avvicinarsi di eventi naturali straordinari, è andata sviluppandosi una maggior sensibilità rispetto al tema della sicurezza strutturale. Il comportamento della struttura, specie nei confronti dei carichi orizzontali e di sisma, è materia di interesse sia per i ricercatori che gli operatori del mercato delle costruzioni. Recenti ricerche, eseguite da parte di SteelMAX presso l'Università degli Studi di Trento hanno permesso lo studio e l'ottimizzazione della risposta di sistemi in *Cold Formed Steel*. I risultati ottenuti hanno trovato concreta applicazione, di quanto analizzato sperimentalmente in laboratorio, nella realizzazione di diversi interventi costruttivi. Proprio la fase applicativa, di cantiere, introduce un aspetto fondamentale che riguarda i profili sottili di acciaio formati a freddo in quanto componenti strutturali, ovvero la marcatura CE del prodotto.

Con l'entrata in vigore nel luglio del 2014 della norma UNI EN 1090-1:2012 *Esecuzione di strutture di acciaio e di alluminio. Parte 1: Requisiti per la valutazione di conformità dei componenti strutturali* (armonizzata secondo la Direttiva 89/106/CEE ed il Regolamento Europeo n. 305/2011) si è ampliato il panorama normativo di riferimento per le strutture in acciaio. L'osservanza della EN 1090-1 permette l'immissio-

ne sul mercato e la libera circolazione dei prodotti strutturali di acciaio (e di alluminio) in Italia e in tutto lo spazio economico Europeo.

La norma EN 1090-1 stabilisce i requisiti per la valutazione di conformità delle caratteristiche prestazionali dei componenti strutturali in acciaio e alluminio nonché dei *kit* immessi sul mercato come prodotti da costruzione. Secondo la norma in questione il fabbricante è tenuto ad implementare un sistema di controllo del processo di produzione di fabbrica (FPC). Tale sistema FPC è costituito da procedure scritte, ispezioni, prove e/o valutazioni regolari e dall'utilizzo dei risultati per controllare i prodotti costituenti dei componenti, le attrezzature, il processo di produzione ed il componente fabbricato. La verifica del sistema FPC viene effettuata da un Organismo Notificato, cioè un ente di parte terza autorizzato dal Ministero dello Sviluppo Economico che esegue l'ispezione iniziale dello stabilimento di produzione e del controllo della produzione in fabbrica, in questo caso controlla l'esecuzione delle prove di tipo e qualora l'esito sia positivo, rilascia il certificato di conformità del controllo della produzione in fabbrica. Tale certificato ha validità annuale e deve essere mantenuto attraverso ispezioni periodiche eseguite dall'Organismo Notificato stesso. Al termine di questo *iter*, il fabbricante può e deve apporre sul prodotto la marcatura CE: «La marcatura CE è apposta in modo visibile, leggibile e indelebile sul prodotto da costruzione o su un'etichetta ad esso applicata. Se ciò fosse impossibile o ingiustificato a causa della natura del prodotto, essa è apposta sull'imballaggio o sui documenti di accompagnamento»¹.

La marcatura CE permette e garantisce la rintracciabilità del prodotto, per questo essa si compone oltre che dall'etichetta, anche dalla Dichiarazione di Prestazione (DoP) redatta dal fabbricante e dal Certificato di Conformità del controllo di produzione in fabbrica emesso dall'Organismo Notificato che ha eseguito la verifica ispettiva. La DoP sancisce le caratteristiche e le prestazioni del prodotto, mentre il Certificato di Conformità attesta l'avvenuto controllo dei processi di fabbrica che garantiscono il permanere delle prestazioni dichiarate. Le norme a supporto della EN 1090-1 sono: la UNI EN 1090-2:2011 *Esecuzione di Strutture di*

1 Regolamento Europeo (UE) n. 305/2011.



Figura 3. Test sperimentale effettuato presso l'Università degli Studi di Trento su un pannello di parete realizzato con sistema steelMAX®. Immagine di steelMAX®.

Acciaio e di Alluminio. Parte 2: Requisiti tecnici per strutture in acciaio e la UNI EN 10162:2006 Profilati di acciaio laminati a freddo - Condizioni tecniche di fornitura - Tolleranze dimensionali e sulla sezione trasversale. La norma EN 1090-2 contiene i requisiti tecnici che un componente di acciaio deve rispettare dalle tolleranze geometriche a quelle di produzione e di montaggio. Nel caso dei profili sottili ottenuti per profilatura a freddo le tolleranze delle sezioni trasversali devono essere conformi alla EN 10162.

L'approccio normativo di tipo prestazionale assicura il mantenimento dei requisiti dichiarati dal produttore nei confronti del prodotto marcato CE. Tra le caratteristiche strutturali dichiarate dal produttore all'interno della DoP compare anche la resistenza al fuoco. Le strutture realizzate con profili sottili di acciaio formati a freddo vengono generalmente rivestite con lastre a base di materiali diversi dall'acciaio come il fibro-gesso, il cemento o il legno, sia che si tratti di pareti, sia che si tratti di solai.

La norma UNI EN 13501-2:2009 *Classificazione al fuoco dei prodotti e elementi da costruzione. Parte 2: Classificazione in base ai risultati delle prove di resistenza al fuoco, esclusi i sistemi di ventilazione resistenza al fuoco di un elemento strutturale* prevede per la valutazione della resistenza al fuoco dei prodotti da costruzione i seguenti parametri principali, da cui l'acronimo REI:

- la resistenza (R) intesa come la capacità del prodotto da costruzione di mantenere la resistenza meccanica in condizioni d'incendio;
- la ermeticità (E) ovvero la tenuta a fumi e fiamme in modo tale da impedirne il passaggio al lato non esposto;
- l'isolamento termico (I) inteso come l'attitudine al contenimento della trasmissione del calore.

Per le componenti strutturali di parete e di solaio in CFS le norme di prova per la valutazione della resistenza al fuoco sono le seguenti:

- UNI EN 1363-1:2012 Prove di resistenza al fuoco – Requisiti generali;
- UNI EN 1365-1:2012 Prove di resistenza al fuoco per elementi portanti – Pareti;
- UNI EN 1365-2:2002 Prove di resistenza al fuoco per elementi portanti – Solai e coperture.



Figura 4: Pacchetti di parete tipo con struttura in profili steelMAX®, *Immagine di steelMAX®.*

Anche in questo caso, per poter conoscere il valore effettivo dei parametri descritti precedentemente e contenuti nella EN 13501, la sperimentazione risulta indispensabile. La procedura di prova prevede di testare la componente strutturale opportunamente caricata, trattandosi di un elemento portante, ed esposta al fuoco su di un lato. Il REI calcolato sperimentalmente rappresenta il tempo per il quale la componente è in grado di mantenere adeguata resistenza, ermeticità ed isolamento. Esso varia a seconda della destinazione d'uso dell'edificio ed è generalmente stimato in modo tale da permettere la fuoriuscita o la messa in sicurezza dei suoi occupanti.

La stratigrafia del pacchetto di parete o del pacchetto di solaio ha un ruolo estremamente importante nei sistemi in *Cold Formed Steel*, in quanto può influenzarne il comportamento strutturale. L'involucro di un edificio in *Cold Formed Steel* è costituito da una molteplice interconnessione tra tutti i vari strati che lo compongono: struttura, lastre di rivestimento e isolante. La loro giustapposizione crea degli insiemi di parete e di solaio estremamente tecnologici ed efficienti sia da un punto di vista strutturale che di *comfort* abitativo. Pareti e solai sono prestazionali ed energeticamente efficienti, e allo stesso tempo leggeri e di spessori contenuti.

Le principali norme di riferimento sulle prestazioni energetiche dell'involucro sono: il DPR 59/09 *Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia* e il DM 26/06/09 *Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici*. Esistono poi una serie di normative volte a condurre delle ricerche approfondite sul sistema involucro, magari realizzando delle analisi agli elementi finiti per calcolare eventuali ponti termici (UNI EN ISO 10211:2008, UNI EN ISO 14683:2008) o per calcolare le ore di *discomfort* interne all'edificio durante il periodo estivo (UNI EN 15251:2008).

Oltre al *comfort* termo-igrometrico anche il *comfort* acustico rientra tra i requisiti che un sistema struttura-rivestimento deve essere in grado di garantire. Il quadro normativo di riferimento è composto essenzialmente dalla Legge quadro sull'inquinamento acustico, dal DPCM 05/12/1997 *Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici*, dalla UNI EN 11376:2010 *Acustica in edilizia. Classificazione acustica delle*

unità immobiliari – Procedura di valutazione e verifica in opera e dalla UNI EN 12354-2:2002 Acustica in edilizia. Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti. Isolamento acustico al calpestio tra ambienti. In particolare per la valutazione del rumore impattivo da calpestio mediante la conduzione di test sperimentali su campioni di solaio in scala reale le norme di riferimento sono la UNI EN ISO 717-2:2013 Acustica – Valutazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio – Parte 2: isolamento rumore di calpestio e la EN ISO 10140-3:2010 Acustica - Misurazione in laboratorio dell'isolamento acustico di edifici e di elementi di edificio – Parte 3: Misurazione dell'isolamento del rumore da calpestio. Seppur non obbligatoria, questo tipo di sperimentazione volta allo studio acustico di un involucro realizzato con struttura leggera in Cold Formed Steel permette una conoscenza approfondita del reale comportamento di questo innovativo sistema costruttivo.

Bibliografia

Baldassino N., Accorti M., Zandonini R., Scavazza F., Rogers C.A., *Lateral loading response of CFS framed shear walls sheathed with cement board panels*, in atti del convegno *22nd International Specialty Conference on Cold-formed Steel Structures*, St. Louis (USA), 5-6, Novembre 2014, pp. 793-807.

Baldassino N., Zandonini R., Rogers C.A., Manzini G., Scavazza F., *Analisi Sperimentale della Risposta di Sistemi di Parete Realizzati con Profili Formati a Freddo*, in atti del XXIV Congresso C.T.A. *Le giornate italiane della costruzione in acciaio*, Torino, 30 settembre-2 ottobre 2013, C.T.A. Collegio dei Tecnici dell'Acciaio, Milano 2013, pp. 341-348.

Baldassino N., Zandonini R., Manzini G., Scavazza F., Rogers C.A., *Investigation on Cold-Formed Steel Braced Walls in Advancements and Achievements in Structural Steel*, in atti del convegno *10th Pacific Structural Steel Conference (PSSC2013)*, Singapore, 8-11 October 2013), Research Publishing Services, Singapore 2013, pp. 231-236.

Baldassino N., Torresani G., Zandonini R., Manzini G., Scavazza F., *On the response of cold-formed steel sections under compression in Research and Applications in Structural Engineering*, in atti del convegno *5th International Conference on Structural Engineering, Mechanics and Computation*, Cape Town, 2-4 September 2013, Leiden - CRC Press - Balkema – Taylor & Francis Group, London 2013, pp. 1023-1028.

Direttiva 89/106/CEE.

DM 26/06/09 *Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici*.

DPCM 05/12/1997 *Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici*.

DPR 59/09 *Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia*.

EN ISO 10140-3:2010 *Acustica - Misurazione in laboratorio dell'isolamento acustico di edifici e di elementi di edificio - Parte 3: Misurazione dell'isolamento del rumore da calpestio*.

L447/95 "Legge quadro sull'inquinamento acustico".

Regolamento Europeo (UE) n. 305/2011.

UNI EN 1365-2:2002 *Prove di resistenza al fuoco per elementi portanti - Solai e coperture*.

UNI EN 12354-2:2002 *Acustica in edilizia. Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti. Isolamento acustico al calpestio tra ambienti*.

UNI EN 1993-1-8:2005 *Progettazione delle strutture in acciaio. Parte 1-8 Progettazione dei collegamenti*.

UNI EN 10025-1:2005 *Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 1: Condizioni tecniche generali di fornitura*.

COSTRUIRE CON I PROFILI SOTTILI DI ACCIAIO FORMATO A FREDDO

UNI EN 1990:2006 *Criteri generali di progettazione strutturale.*

UNI EN 10143:2006 *Lamiere sottili e nastri in acciaio con rivestimento applicato per immersione a caldo in continuo – Tolleranze sulle dimensioni e sulla forma.*

UNI EN 10162:2006 *Profilati di acciaio laminati a freddo - Condizioni tecniche di fornitura - Tolleranze dimensionali e sulla sezione trasversale.*

UNI EN 1993-1-3:2007 *Progettazione delle strutture in acciaio. Parte 1-3 Regole generali e regole supplementari per l'impiego dei profilati e delle lamiere sottili piegate a freddo.*

UNI EN 1993-1-5:2007 *Progettazione delle strutture in acciaio. Parte 1-5 Elementi strutturali a lastra.*

UNI EN ISO 14683:2008 *Ponti termici in edilizia. Coefficiente di trasmissione termica lineare. Metodi semplificati e valori di riferimento.*

UNI EN 15251:2008 *Criteri per la progettazione dell'ambiente interno e per la valutazione della prestazione energetica degli edifici, in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica.*

UNI EN ISO 10211:2008 *Ponti termici in edilizia. Flussi termici e temperature superficiali. Calcoli dettagliati.*

UNI EN 10346:2009 *Prodotti piani di acciaio rivestiti per immersione a caldo in continuo – condizioni tecniche di fornitura.*

UNI EN 13501-2:2009 *Classificazione al fuoco dei prodotti e elementi da costruzione. Parte 2: Classificazione in base ai risultati delle prove di resistenza al fuoco, esclusi i sistemi di ventilazione resistenza al fuoco di un elemento strutturale.*

UNI EN 11376:2010 *Acustica in edilizia. Classificazione acustica delle unità immobiliari – Procedura di valutazione e verifica in opera.*

UNI EN 1090-2:2011 *Esecuzione di Strutture di Acciaio e di Alluminio. Parte 2: Requisiti tecnici per strutture in acciaio.*

UNI EN 1090-1:2012 *Esecuzione di strutture di acciaio e di alluminio. Parte 1: Requisiti per la valutazione di conformità dei componenti strutturali.*

UNI EN 1363-1:2012 *Prove di resistenza al fuoco – Requisiti generali.*

UNI EN 1365-1:2012 *Prove di resistenza al fuoco per elementi portanti – Pareti.*

UNI EN ISO 717-2:2013 *Acustica – Valutazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio – Parte 2: isolamento rumore di calpestio.*

UNI EN 1998-1:2013 *Progettazione delle strutture per la resistenza sismica. Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici.*

UNI EN 1993-1-1:2014 *Progettazione delle strutture in acciaio. Parte 1-1 Regole generali e regole per gli edifici.*

Nuovi obiettivi per il settore delle costruzioni

New engineering goal

Chiara Trojette

**Architetto e assegnista di ricerca presso il Dipartimento di
Culture del Progetto, Università Iuav di Venezia**

Lightweight Steel Frame construction might be analyzed under several points of view. The aim of this essay is to suggest a broader framework evaluation, considering the resource efficiency in the construction sector and the possibility to adopt alternative models to the current take-make-use-dispose.

The main points that must be considered are: the description of some issues regarding the construction sector, the direction taken by the European Union with regard to them and, within this framework, the role and the qualities of Lightweight Steel Frame technology.

Within the EU half of the extracted materials, half of the energy consumption, one third of water consumption and third of the generated waste are attributable to the construction, the use and the disposal of buildings. Even if most of the construction and demolition waste is recyclable, the European recycle average is below 50%.

As a consequence the European Commission aims to reduce the resource use in the building sector, to incentivize a more efficient recycled construction materials market and to create a common European method to evaluate the global environmental performance of buildings.

It's more and more strategic to consider the whole life cycle of a building from the extraction of the raw materials that will constitute the construction materials, to their disposal. In particular the circular economy model, considering the life of materials as a circle, not as a line, gives maximum importance to the durability and to the research on recyclable materials, eco design and on new business models.

The Lightweight Steel Frame technology is based on a prefab metal structure that permits a high rate of customization in the choice of the materials that makes it in line with the EU goals and the transition towards a circular economy.

Il tema delle costruzioni in acciaio sagomato a freddo è stato trattato, negli interventi riportati nelle pagine precedenti, sotto diversi punti di vista. Obiettivo del presente scritto è proporre al lettore di considerare il tema in un'ottica più ampia, ovvero dal punto di vista dell'efficienza delle risorse nel settore delle costruzioni e di possibili modelli alternativi all'attuale. Per fare ciò saranno sinteticamente affrontati tre nodi principali: la descrizione di alcune problematiche che caratterizzano il settore edilizio, la direzione intrapresa dall'Unione Europea per farvi fronte e, all'interno di questo *framework*, il ruolo della tecnologia che prevede l'impiego di strutture in acciaio sagomato a freddo.

La Commissione Europea ha calcolato che all'interno dell'UE la metà dei materiali estratti, la metà del consumo energetico e un terzo del consumo idrico sono imputabili alla costruzione, al mantenimento in funzione e alla demolizione del patrimonio edilizio. Il settore edile genera un terzo dei rifiuti prodotti in Europa: paradossalmente la maggioranza di questi materiali sarebbe riciclabile, tuttavia, ad eccezione di alcuni stati membri che riciclano fino al 90%, la media europea si attesta sotto il 50%¹. Il cosiddetto CDW (*Construction and demolition waste*, così i rifiuti del settore delle costruzioni vengono normalmente definiti in letteratura) ha dunque un peso rilevante nella valutazione della sostenibilità del costruito e trovare delle alternative allo smaltimento di questi rifiuti significherebbe incidere in modo significativo sul livello di impatto ambientale dell'edilizia. I dati finora citati riguardano il termine della vita utile degli edifici, ma in Europa il 5-10% del consumo energetico totale è connesso alla fabbricazione dei prodotti da costruzione². L'impatto considerato riguarda dunque l'intero ciclo di vita degli edifici: si parla sia di consumo di risorse sia di produzione di rifiuti, considerando il periodo che va dalle fasi iniziali di produzione al momento dello smaltimento.

Con "ciclo di vita di un edificio", ma in generale di qualsiasi prodotto, ci si riferisce generalmente ad un ciclo lineare con un inizio e una fine, un modello che ha caratterizzato e tuttora caratterizza la società in cui

1 Studio *Management of CDW in the EU*, Commissione Europea, 2011.

2 Studio *Resource efficiency in the building sector*, Ecorys and Copenhagen Resource Institute, Rotterdam, 2011.

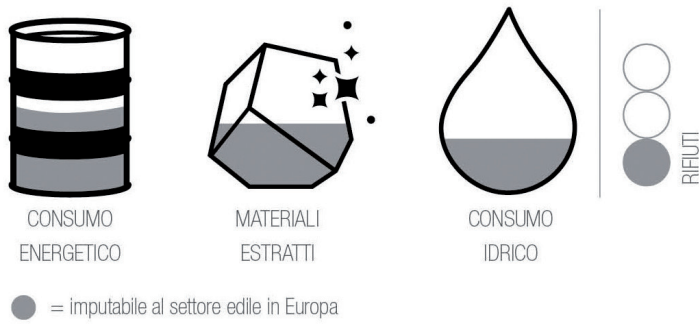


Figura 1. I consumi imputabili al settore delle costruzioni in Europa. *Immagine dell'autore.*

viviamo dalla prima industrializzazione a oggi. Esso è rappresentabile e scomponibile in alcune macro fasi: l'estrazione delle materie prime, la fase di progettazione e l'utilizzo di energia costituiscono l'*input* iniziale a cui seguono la lavorazione delle materie prime e dei semilavorati per la realizzazione del prodotto finito. Il prodotto, inteso in senso generale, sia esso un oggetto o un edificio, viene utilizzato dagli utenti per un certo tempo al cui termine il prodotto viene smantellato. Quest'ultima fase avviene in genere portando in discarica i materiali; in alcuni settori, quali l'edile, una parte è recuperata, ma la maggior parte dei materiali che in partenza hanno composto l'edificio terminano qui la loro vita utile perché non sono più utilizzabili per altri scopi. Ad esempio non sono più disassemblabili, oppure i materiali sono talmente degradati da non poter più essere impiegati per altri scopi. Si ha quindi uno spreco sia di materia sia dell'energia ad esso incorporata.

Per meglio comprendere l'entità del problema è utile pensare all'edificio in senso globale, dunque dai singoli materiali da costruzione impiegati sino a ciò che l'uomo sicuramente aggiunge per rendere l'edificio vivibile: l'arredo. Questa categoria è parte integrante dell'edificio e le questioni descritte in questo intervento sono applicabili a entrambi gli elementi. A fronte di queste problematiche si è scelto di analizzare la direzione presa dall'Unione Europea e gli obiettivi fissati perché incentivano e, in generale, da essi dipendono, a catena, la ricerca e dunque l'innovazione e lo sviluppo di nuove imprese. Gli obiettivi UE sono sintetizzabili come segue³:

- ridurre l'uso delle risorse negli edifici;
- creare un metodo comune europeo per valutare la prestazione ambientale dell'edilizia;
- incentivare un mercato più efficace dei materiali da costruzione riciclati.

3 I principali documenti analizzati sono:

- Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al comitato delle regioni – Opportunità per migliorare l'efficienza energetica delle risorse nell'edilizia. COM(2014) 445 final.
- Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al comitato delle regioni – Verso un'economia circolare: programma per un'Europa a zero rifiuti. COM(2014) 398 final/2.

L'attuazione del primo obiettivo può avvenire attraverso una progettazione che calibri l'uso delle risorse rispetto alla funzionalità dell'edificio e che tenga conto degli scenari di demolizione selettiva, ovvero del destino dei materiali impiegati una volta giunti a fine vita; attraverso una pianificazione più accurata delle attività di cantiere per garantire un maggior uso di risorse e prodotti efficienti sotto il profilo energetico, promuovendo quindi la fabbricazione di prodotti da costruzione con materiali riciclati, il riutilizzo di materiali esistenti e l'uso di alcuni rifiuti come combustibile. In generale il progetto del ciclo di vita dei materiali scelti per ogni determinata opera assume quindi un ruolo fondamentale.

La riduzione dell'uso di risorse e gli obiettivi finora elencati sono attuabili a certe condizioni: il riciclo deve essere economicamente competitivo rispetto allo smaltimento in discarica, i siti di riciclaggio devono essere agevolmente raggiungibili e ben distribuiti sul territorio ed infine deve esserci la possibilità di realizzare un adeguato livello di purezza dei materiali riciclati. Un grosso problema nel riciclo si presenta infatti sia quando un materiale non è riciclabile poiché non disassemblabile da altri, sia quando, una volta riciclato, il livello qualitativo delle sue caratteristiche è inferiore rispetto alla materia originaria. Si ribadisce dunque l'importanza delle scelte progettuali: non tutti i materiali ben si prestano ad essere disassemblati né ad essere riciclati senza perdere le proprietà originali.

Il secondo obiettivo, la creazione di un metodo comune europeo per valutare la prestazione ambientale dell'edilizia, è stato supportato dalla stesura di diversi documenti, quali la *Tabella di marcia per un'Europa efficiente sotto il profilo delle risorse*⁴ e *Strategia per la competitività sostenibile del settore delle costruzioni e delle sue imprese*⁵, che pongono l'efficienza delle risorse come una delle principali sfide che il settore delle costruzioni deve affrontare nel periodo fino al 2020.

Conseguenza di ciò è l'importanza dei metodi per quantificare e valutare l'efficienza: sono attualmente disponibili numerosi metodi di cer-

4 COM(2011) 571

5 COM(2012) 433

tificazione della sostenibilità del costruito, ma ciascuno è incentrato su risorse e parti diverse dell'edificio, del suo ciclo di vita e di ciò che lo compone. È dunque ancora difficile costruire un approccio globale al ciclo di vita degli edifici ed è necessario un quadro di riferimento comune con degli indicatori chiave. Importanti ambiti di riferimento sono l'uso totale di energia, compresa l'energia contenuta nei prodotti e nei processi di costruzione, l'uso dei materiali e dei relativi impatti ambientali, la progettazione in vista della demolizione selettiva, la gestione dei rifiuti di costruzione e demolizione⁶, il tasso di materiale riciclato o riciclabile contenuto nei prodotti da costruzione, la quantità d'acqua utilizzata dagli edifici durante l'intero ciclo di vita.

La strategia *Europa 2020* va quindi in una direzione ben diversa rispetto all'attuale modello *take-make-use-dispose*, letteralmente “prendi-produci-usa-getta”: al centro dell'agenda per l'efficienza delle risorse c'è la transizione verso un'economia circolare. Si tratta di un modello economico che prevede di tendere all'eliminazione dei rifiuti e al mantenimento del valore dei prodotti per un periodo più lungo: le risorse restano all'interno del sistema economico e, di conseguenza, la loro produttività aumenta. Ci sono alcune parole e concetti chiave che ben illustrano la transizione verso il progetto circolare:

- durabilità: aumentare il lasso di tempo durante il quale i prodotti garantiscono le prestazioni per l'assolvimento delle quali sono stati progettati e realizzati;
- sostituzione: ridurre l'utilizzo di materiali rischiosi o difficili da riciclare a favore di materiali più adatti;
- mercato: creare o incentivare mercati per materiali riciclati;
- eco-design: progettare prodotti che agevolino le operazioni di riparazione, aggiornamento, miglioramento, restauro, ri-uso e riciclo, dunque l'importanza della fase di progettazione;
- riduzione e separazione: favorire la riduzione dei rifiuti e la differenziazione degli stessi direttamente da parte dei consumatori;

6 Si veda il caso dell'azienda Sekisui House descritto nel capitolo Scenari di innovazione in M. Barucco, *Progettare e costruire in acciaio sagomato a freddo*, EdicomEdizioni, Monfalcone, 2015.

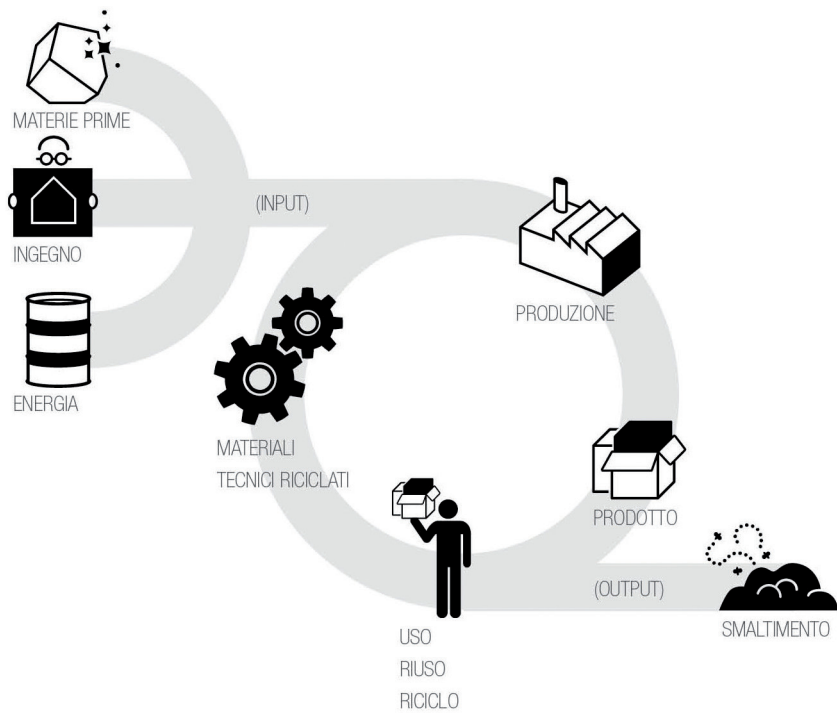


Figura 2. Rappresentazione del ciclo di vita alla base dell'economia circolare. *Immagine dell'autore.*

- raccolta e separazione: incentivare i sistemi automatizzati di raccolta e separazione dei rifiuti che minimizzino i costi delle successive operazioni di riciclo e riuso;
- simbiosi industriale: facilitare i cluster industriali che trattano i sottoprodotti al fine di prevenirne la riduzione a rifiuto;
- nuovi modelli di business: incoraggiare il noleggio e i leasing come alternative al possesso dei prodotti e dunque un nuovo tipo di rapporto tra le imprese e i consumatori.

All'interno di questo quadro, che ruolo hanno le costruzioni in acciaio sagomato a freddo? Innanzitutto i metalli sono già i materiali più recuperati e riciclati dato il loro elevato valore nei mercati già esistenti. Il ciclo di vita dell'acciaio è adatto ad inserirsi in un modello circolare e, non a caso, il primo Regolamento Europeo in materia di *end of waste* è dedicato proprio ai metalli. A confronto con calcestruzzo e legno, l'acciaio presenta un tasso di riciclabilità nettamente superiore e non è soggetto a *downcycle*, ovvero la perdita di qualità che subisce un materiale in seguito al riciclo. Un edificio con struttura in CFS è in linea con gli obiettivi della Commissione Europea perché produce una quantità quasi irrilevante di scarti di produzione, è un sistema prefabbricato montato a secco e dunque reversibile, che permette la distinzione e il recupero dei materiali utilizzati, consente un alto livello di personalizzazione del pacchetto costruttivo e dunque la scelta di materiali che meglio rientrano nei processi di transizione verso un'economia circolare.

Bibliografia

Barucco MA., Trojeto C., *Indoor Air Quality in housing: a more exhaustive interpretation of the issue*, in atti del convegno IAHS 2014 World Congress on Housing, Madeira, Portugal, 16-19 dicembre 2014, ITeCons, Coimbra 2014.

Barucco MA., *Progettare e costruire in acciaio sagomato a freddo*, Ediciom, Monfalcone 2015.

BCSA – British Constructional Steelwork Association, in collaboration with TATA Steel, *The whole story from cradle to grave*, documento reperibile al sito www.tatasteelconstruction.com (2015).

COM(2011) 571, Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni, *Tabella di marcia verso un'Europa efficiente nell'impiego delle risorse*.

COM(2014) 398 final/2: Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni, *Verso un'economia circolare: programma per un'Europa a zero rifiuti*.

COM(2014) 445 final: Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni, *Opportunità per migliorare l'efficienza delle risorse nell'edilizia*.

Ellen MacArthur Foundation, *Towards the circular economy – Economic and business rationale for an accelerated transition*, Isle of Wight (UK) 2013.

Ellen MacArthur Foundation, *Towards the circular economy – Opportunities for the consumer goods sector*, Isle of Wight (UK) 2013.

Ellen MacArthur Foundation, *Towards the circular economy – Accelerating the scale-up across global supply chains*, Isle of Wight (UK) 2014.

Trojeto C., *Alzi la mano chi è riciclabile! Nel settore delle costruzioni non tutti i materiali si prestano al riuso e al riciclo. I metalli dove stanno?*, in *OFFICINA**, 2015, n. 4, pp. 28-33.

Trojeto C., *L'acciaio e un approccio innovativo al ciclo di vita degli edifici*, in *OFFICINA** Toolbox, Venezia 2015, n. 1, pp. 18-19.

**Housing eco-efficiente
nei paesi emergenti.
Progetto e Life Cycle
Assessment di un alloggio
per la regione di Dakar**

Eco-efficient housing in
the developing countries.
Project and Life Cycle
assessment of a building
in Dakar

Antonio D'Acunzi

**Architetto e dottore di ricerca in Tecnologia dell'architettura
e rilievo e rappresentazione dell'architettura e dell'ambiente,
Università degli Studi di Napoli Federico II**

LSF construction has been widespread used as a structural system in industrialized countries since decades, particularly where prefab housing had already met with people and construction market acceptance.

Since then the productivity in steel manufacture and design has been increased. Fabrication and construction has made steel a low cost solution and, nowadays, some important attempts to enter new unexplored market are occurring in Countries historically characterized by a total lack of any kind of industrial and innovation culture.

The market principle alone is not enough to guarantee the pursuit of environmental objectives, which are based upon the choice of technologies related to them. Particularly in emerging economies, the pace of demographic growth is such that the pressure on the environment and on natural resources is constantly increasing, in spite of technological progress.

Buildings need to be energy-efficient; they might use the least energy possible during their life cycle and produce minimal waste. If an eco-efficient way of managing resources is to be reached indeed, new construction systems need to be based on proper studies concerning methodologies and assessment tools to ensure adequate levels of sustainability in these countries.

This paper aims to investigate LSF contribute to the global improvement of the sector as regards the level of sustainability of the housing sector in these countries. Comparing a steel framed house with the local construction standards, it becomes significant establishing if LSF could reasonably be effective “technological option” for improving these countries’ housing sector.

The research is focused on a LCA case study of a two-family detached house prototype specially designed for the Dakar Region (Senegal), in order to evaluate and quantify the environmental benefits expected.

La ricerca e la sperimentazione di tecnologie prefabbricate nel settore dell'*housing* dei paesi emergenti¹, rappresenta un tema di grande interesse sia per il settore produttivo, sempre alla ricerca di nuovi mercati, sia per quanto riguarda quello dell'architettura e dell'ingegneria. “Nuovi” materiali e tecniche, o alle volte materiali e tecniche consolidate ma “ri-innovate”, vengono messi in campo con l'obiettivo di ridurre sempre di più i costi economici del progetto e i carichi ambientali.

Fino a pochi anni fa gli approcci adottati nella produzione edilizia di tali Paesi erano essenzialmente due, spesso tra loro in rapporto antagonistico e conflittuale dal punto di vista sia tecnico che socio-economico. Il primo prevedeva l'impiego di tecnologie tradizionali, talvolta denominate tecnologie povere o comunque caratterizzate dall'impiego di materiali di facile reperimento locale, a basso costo (di costruzione), basate su tipi costruttivi appartenenti alla consuetudine locale, spesso obsoleti dal punto di vista della rispondenza ai requisiti minimi di qualità, *comfort*, sicurezza e salvaguardia dell'ambiente di moderna concezione. Un secondo approccio prevedeva il raggiungimento di livelli prestazionali minimi, ottenuti con l'impiego di tecnologie più evolute, esportate *tout court* da contesti industrializzati, attraverso una riduzione dei costi e dei tempi di realizzazione e la meccanizzazione del cantiere con un conseguente impiego ridotto di manodopera.

Tuttavia, l'auspicata riduzione dell'uso di risorse (un valore aggiunto a tutti gli stadi dello sviluppo del progetto e per tutti gli attori della filiera) e la spinta dagli orientamenti del mercato globale (rivolto ad una sempre maggiore dematerializzazione dei prodotti e delle conoscenze) hanno indirizzato l'industria delle costruzioni verso l'adozione di logiche produttive che fondano sulla leggerezza, flessibilità e integrabilità i propri punti di forza e di competitività economica. Il termine “risparmio”, riferito a prodotti di derivazione industriale, ha dunque perso l'accezione negativa che ne connotava in passato l'attitudine a rappresentare una sorta di surroga a basso costo del manufatto artigianale, per lasciare posto al concetto di ef-

1 Partendo dalla definizione data da A. Van Agtmael del World Bank Institute, nel presente studio la definizione adottata per “paese emergente” è quella di “paese che è meno prospero della media mondiale, ma che aspira a convergere verso uno *status* superiore, da paese sviluppato”.

ficienza. Tali orientamenti hanno velocemente riabilitato anche il concetto di “*housing* prefabbricato”, che ha assunto sempre di più i connotati di soluzione abitativa “sostenibile”, grazie alla capacità di minimizzare i rifiuti e gli scarti e di massimizzare il livello di efficienza energetica degli edifici. “Produrre di più con minori impatti sull’ambiente” rappresenta il paradigma moderno dell’eco-efficienza, indicatore chiave di quello sviluppo eco-trainato che si dirige verso la sostenibilità ambientale, non solo in riferimento agli aspetti normativi cogenti, ma come possibile *driver* di crescita aziendale.

In scenari caratterizzati da un generale livello di arretratezza del settore delle costruzioni, tipico dei paesi in via di sviluppo, le problematiche relative al trasferimento tecnologico da altri contesti spaziano tra differenti livelli, continuamente interrelati o interrelabili fra loro, generando complessità sia sul piano organizzativo che metodologico, tecnico, gestionale ed ecologico. A fronte di tale complessità risulta dunque evidente quanto l’adozione di tecniche e tecnologie “leggere”, come il *Lightweight Steel Frame* (LSF), basate su logiche e procedure di tipo *lean*, siano particolarmente indicate, perché capaci di generare valore aggiunto attraverso un generale “snellimento” e ottimizzazione del processo costruttivo.

Molto apprezzati nell’ambito della prefabbricazione leggera grazie alla capacità di dar vita a edifici residenziali *cost-effective*, sicuri da un punto di vista sismico, eco-efficienti e durevoli, i sistemi con profili sottili in acciaio formato a freddo presentano i ben noti vantaggi tipici delle strutture a secco e di quelle in acciaio. Per comprenderne appieno le potenzialità che sono in grado di esprimere in contesti poveri, è utile porre l’accento su alcune caratteristiche connotanti.

Prima tra tutte la possibilità di personalizzare il livello di prefabbricazione. Esso è del tutto scalabile rispetto al contesto di applicazione, data la flessibilità del processo produttivo degli elementi e del processo di programmazione e progettazione. È possibile concepire lo stesso edificio partendo da uno sistema di tipo *stick-built* fino a prefigurare la fornitura in loco di unità abitative completamente assemblate in officina (*modular construction*) passando attraverso una serie di combinazioni intermedie. In tal modo, in base alle peculiarità del progetto, alle condizioni del sito e del mercato di riferimento, si riesce a calibrare il

rapporto manodopera locale/elementi confezionati per una migliore gestione economica dell'investimento².

Grazie alla flessibilità del processo costruttivo, alla semplicità di assemblaggio degli elementi e agli avanzamenti tecnici nel settore produttivo, un ulteriore vantaggio in termini di personalizzazione del processo risiede nella possibilità di produrre i profili *in loco* partendo da nastri di lamiera, mediante l'impiego di macchine profilatrici da cantiere³. In zone dove problemi di accessibilità, la mancanza di infrastrutture e/o la lontananza dai siti produttivi rappresentano un ostacolo all'uso di sistemi costruttivi di matrice industriale, tale condizione costituisce un notevole incentivo alla diffusione del LSF, che in tal modo si pongono in condizione di accelerare il trasferimento di *know-how* per un migliore inserimento nella struttura produttiva locale. Numerosi sono i vantaggi sul piano ambientale in termini di minor impiego di risorse locali, riduzione degli scarti e contenimento dei fattori inquinanti dovuti al trasporto dei materiali da costruzione.

A livello produttivo le fasi maggiormente impattanti sul consumo di acqua e di energia elettrica si condensano a monte delle lavorazioni che conducono alla realizzazione dei *coils* impiegati. Le operazioni connesse alla profilatura degli elementi comportano infatti un dispendio minimo di risorse e determinano una produzione di scarti di lavorazione prossima allo zero.

Altro fattore determinante riguarda le caratteristiche di flessibilità progettuale, integrabilità funzionale e assemblabilità/disassemblabilità degli elementi di involucro. In contesti caratterizzati da una domanda di mercato in continua evoluzione, tipica dei Paesi emergenti, i vantaggi offerti dai sistemi struttura-rivestimento, coniugati alle citate caratteristiche di flessibilità proprie del processo produttivo degli elementi in acciaio formato a freddo, traducono al meglio il con-

2 Dal punto di vista della gestione economica, aumentando o diminuendo il numero di operazioni da eseguire a piè d'opera è possibile traslare lo scadenziario degli stati di avanzamento in modo da farlo coincidere, senza interruzione delle lavorazioni, con i flussi di cassa pianificati.

3 In alcune circostanze (per progetti di grandi dimensioni) è anche possibile ed auspicabile allestire in cantiere una piccola catena di montaggio per la produzione *just in time* di elementi piani e volumetrici (pareti, travi reticolari, moduli tridimensionali).

retto di “ottimizzazione delle risorse disponibili”. È possibile infatti definire le abitazioni in *cold formed* come edifici *lyfe cycle oriented*, in quanto sistemi aperti ed aggiornabili, cioè in grado di essere adattati ed evolvere dal punto di vista morfologico e funzionale, quindi destinati ad uno scenario di fine vita diverso dal conferimento in discarica. La loro versatilità li rende adatti a soddisfare la crescente e mutevole domanda abitativa di questi Paesi in modo *smart*, rispondendo in maniera differenziata al complesso quadro esigenziale dei mercati emergenti. Fabbisogno energetico, costo, livelli di *comfort*, qualità dell’aria *indoor* e qualità estetiche divengono tutti parametri “scalabili”, a patto di concepire la progettazione degli elementi di dettaglio come parte fondante del processo di progettazione integrata del sistema edificio-impianto-ambiente.

Caso studio: progetto e Life Cycle Assessment di un alloggio in LSF per la regione di Dakar

Il settore delle costruzioni della regione di Dakar (Senegal), come quello di molti paesi del sud del mondo, mette in luce uno scenario complesso caratterizzato dalla presenza di un parco edilizio che evidentemente non risulta adeguato, né per livello quantitativo che per caratteristiche qualitative, a soddisfare le esigenze della popolazione residente. Il *trend* della domanda sia nel breve che nel lungo periodo pone l’attenzione sulla necessità di ammodernamento del settore delle costruzioni attraverso indispensabili processi di innovazione delle attuali tecniche costruttive.

Analizzando le caratteristiche del contesto locale, emerge il dato che tale processo di rinnovamento debba avvenire mediante l’adozione di scelte tecnologiche appropriate, capaci cioè di produrre una risposta valida sia sul piano del mercato (fattibili economicamente), sia su quello tecnologico, per garantire una sostenibilità a livello generale delle strategie adottate.

In linea con quelli che sono gli orientamenti attuali, è possibile affermare che un valido approccio per la corretta valutazione dei benefici derivanti dall’adozione di un sistema costruttivo rispetto ad un suo *competitor*, possa essere quello di esaminarne comparativamente

le *performance* ambientali. Ai fini della ricerca⁴, è stato effettuato un *benchmark* riferito ad alcuni indicatori sensibili, meglio specificati nel seguito della trattazione in riferimento ad un prototipo⁵ di abitazione, realizzato per la regione di Dakar rispettivamente con sistema LSF e con sistema a telaio in c.a. gettato in opera⁶. Il prototipo rappresenta un modello di studio semplificato, progettato⁷ per consentire la restituzione di due organismi edilizi analoghi, differenti morfologicamente solo nelle soluzioni tecnologiche adottate.

Il prototipo in LSF⁸ presenta un'ossatura portante costituita da elementi modulari, piani e tridimensionali, formati da sezioni ottenute da nastri in acciaio zincato mediante processo di profilatura in continuo. L'edificio poggia su di una platea in c.a. che funge contemporaneamente da struttura di fondazione e da solaio di terra. La struttura di elevazione è costituita da unità volumetriche (unità bagno) e pareti portanti, che sostengono la copertura a due falde. Diversi sono i parametri utilizzabili per la valutazione dei livelli di eco-efficienza di una tecnologia, sia a livello delle caratteristiche intrinseche dei prodotti (prestazioni, impieghi, rendimenti nel tempo, ciclo di vita, ecc.), sia dai processi produttivi ad essi associati. Nel caso dei profili sottili in acciaio lo studio delle caratteristiche dei materiali e del loro processo produttivo risulta senza dubbio uno dei principali fattori che

4 Tesi di Dottorato di Ricerca in Tecnologia dell'Architettura e Rilievo e Rappresentazione dell'Architettura, XXVI ciclo, Università degli Studi di Napoli Federico II, dal titolo: *Sistemi costruttivi industrializzati per l'habitat eco-efficiente: un alloggio in cold formed steel per la Regione di Dakar (Senegal)*, di A. D'Acunzi, relatore prof. S. Russo Ermolli, Università degli Studi di Napoli Federico II, Dipartimento di Architettura.

5 Tipologia, caratteristiche e dimensioni sono state definite partendo dall'analisi del settore residenziale locale, allo scopo di esplicitarne meglio le potenzialità di penetrazione nel mercato.

6 In fase di progettazione sono stati volutamente omessi gli aspetti relativi al calcolo strutturale dell'edificio, in quanto non ritenuti rilevanti ai fini dei risultati ricercati. La comparazione è stata infatti condotta limitatamente all'ossatura dell'edificio, ritenendo che le unità tecnologiche di completamento possano ritenersi essenzialmente non discriminanti ai fini della valutazione delle caratteristiche di eco-efficienza del sistema costruttivo, seppur significative ai fini della riduzione dei consumi in esercizio.

7 Il predimensionamento degli elementi strutturali, per ciascuna delle soluzioni proposte, è stato effettuato conformemente alle indicazioni della manualistica di riferimento per entrambe i sistemi.

8 In questa sede si omette la descrizione del modello in c.a.

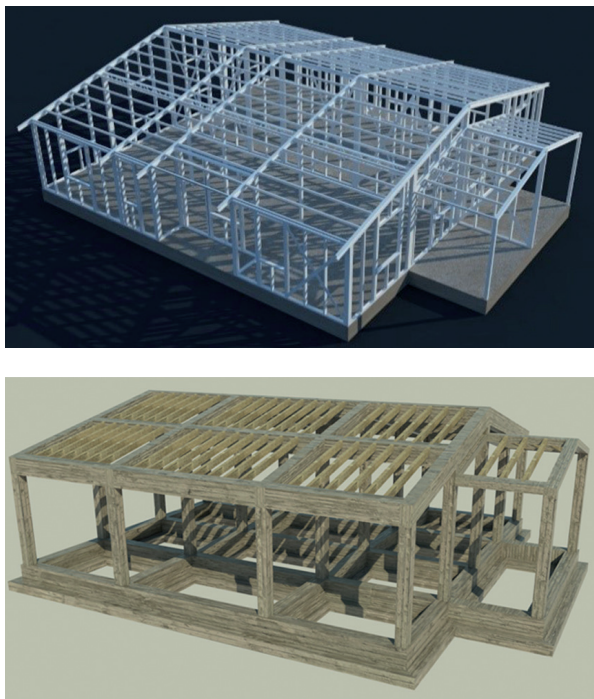


Figura 1. Prototipo di un alloggio bifamiliare per Dakar. Telaio strutturale del modello in acciaio e del modello in c.a. a confronto. *Immagine dell'autore.*

possono determinare un primo livello di conoscenza in base al quale, ad esempio, stimare la qualità generale dell'organismo edilizio e i suoi impatti sull'ambiente. Ragionando in ottica sistemica, tali informazioni vanno integrate considerando il contributo che il singolo elemento apporta alla riduzione dell'impatto ambientale dell'intero sistema edificio, attraverso il monitoraggio e la misurazione delle emissioni climalteranti e dei consumi energetici durante la vita dell'edificio.

La ricerca è stata dunque orientata alla realizzazione di un confronto tra i sistemi LSF e lo standard costruttivo del mercato di riferimento, condotto in accordo con la metodologia *Life Cycle*⁹, allo scopo di valutare il reale impatto delle attività connesse alla realizzazione dell'edificio nel tempo e orientare l'innovazione verso l'impiego di prodotti e sistemi adatti al raggiungimento di obiettivi di eco-efficienza.

Per definire correttamente i confini del sistema è necessario specificare ancora una volta che si tratta di una analisi condotta all'interno del sottosistema tecnologico "strutture di elevazione" e "strutture di fondazione", escludendo non solo gli elementi tecnici che compongono l'involucro edilizio e gli impianti, ma anche le strutture secondarie dei solai. Lo studio LCA condotto ha preso in esame le seguenti fasi¹⁰ del ciclo di vita del prototipo:

9 I dati di inventario LCI utilizzati per l'acciaio sono riferiti ai prodotti derivati sia da procedimento in altoforno, o BOF, che da impianti ad EAF, nello specifico da 50 impianti di produzione appartenenti a 28 tra le maggiori industrie siderurgiche a livello mondiale. L'integrità e la validità dello studio sono state garantite dal rispetto delle linee guida contenute nella norma ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006 e dall'approvazione da parte di un istituto di critica indipendente. I dati di origine per l'analisi LCA relativa all'acciaio impiegato per la realizzazione delle strutture di elevazione nella soluzione in LSF provengono dalla banca dati LCI data for Steel products redatta dalla Worldsteel Association. L'inventario è riferito ai prodotti semilavorati da costruzione provenienti da rotoli di lamiera in acciaio zincato a caldo (HDG) di spessore compreso tra gli 0,3 mm ed i 3 mm, e contiene i dati raccolti nel periodo 2005-2008. I dati di origine riguardanti il calcestruzzo utilizzato per le fondazioni di entrambe i prototipi e per le strutture di elevazione della soluzione in c.a., provengono dalle ricerche condotte dalla Portland Cement Association pubblicate in *Environmental Life Cycle Inventory of Portland Cement Concrete*, 2002.

10 Per una maggiore significatività degli impatti relativi alle fasi di trasporto, costruzione e dismissione, si è ipotizzato di realizzare l'edificio tipo a Dakar, con la presenza dei relativi impianti per entrambe le tecnologie posti alla stessa distanza dal sito di costruzione.

HOUSING ECO-EFFICIENTE NEI PAESI EMERGENTI



Figura 2. Analisi degli impatti suddivise per fasi LCA a confronto. Immagine dell'autore, rielaborazione grafica di Valentina Covre.

- Fase 1: Pre-produzione e produzione;
- Fase 2: Trasporto;
- Fase 3: Messa in opera;
- Fase 4: Dismissione e riciclaggio;
- Fase 5: Impatti evitati;

In ciascuna di esse la valutazione è stata effettuata considerando le interazioni di entrambi i sistemi costruttivi con l'ambiente analizzando i seguenti indicatori:

- Consumo di risorse materiali [t, mc];
- Consumo di energia primaria non rinnovabile (EE) – [GJ eq.];
- Emissione di gas serra [kgCO₂ eq.];

I dati mostrano i risultati delle analisi, suddivisi per indicatore di riferimento (ordinate) e per fase LCA (ascisse) per le due tecnologie in esame. I carichi ambientali relativi alle fasi di pre-produzione e produzione rappresentano la quota più rilevante di impatti all'interno del ciclo di vita per i due sistemi, maggiore della somma degli impatti generati nelle fasi successive¹¹. Durante la fase di cantiere, come prevedibile, gli impatti prodotti dalla soluzione in cemento armato gettato in opera risultano essere notevolmente più elevati rispetto a quelli prodotti dalla soluzione in acciaio leggero. Questo dato trova giustificazione nel fatto che i profili metallici, una volta trasportati in cantiere, vengono prevalentemente movimentati a mano e vengono assemblati mediante attrezzature a bassa intensità energetica. L'unico impatto significativo che incide in questa fase è prodotto dai mezzi di sollevamento meccanici utilizzati durante il posizionamento e l'assemblaggio degli elementi modulari spaziali (moduli bagno).

Per la soluzione che impiega cemento armato gettato in opera sono stati considerati gli impatti prodotti dalla betoniera e dalla pompa elettrica in relazione alle ore effettive di getto, escludendo dal calcolo gli impatti aggiuntivi relativi alla vibrazione del c.a., all'approvvigionamento di acqua e alle operazioni di armatura e disarmo delle casseforme, perché ritenuti di modesta entità.

¹¹ Si ricorda che nell'analisi condotta è stata omessa la fase di esercizio.

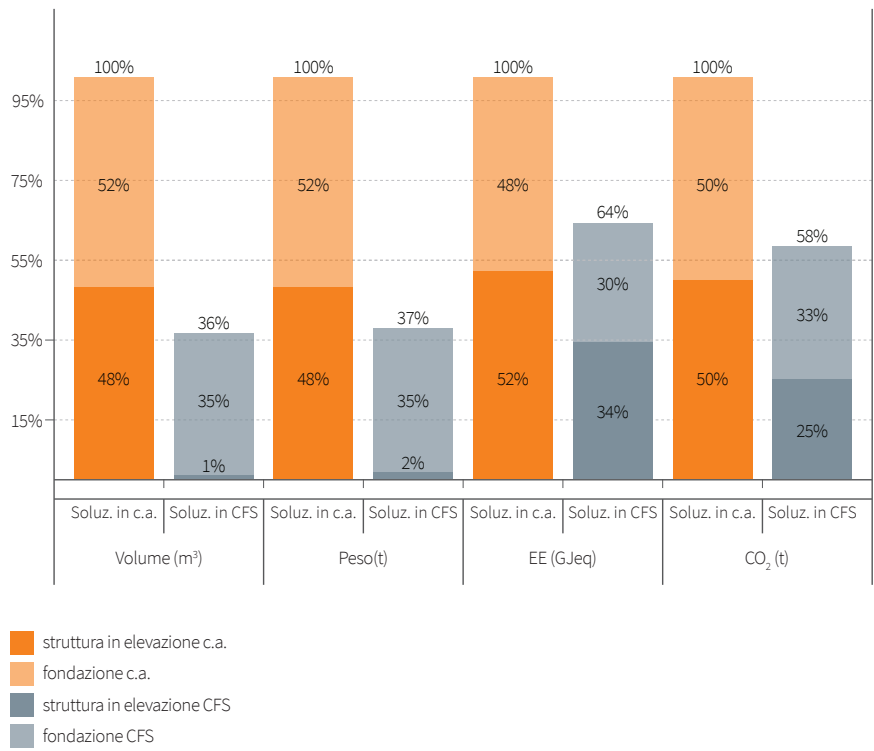


Figura 3. Grafico degli impatti su base 100 associati alla costruzione dell'edificio con sistema costruttivo LSF e c.a. a confronto. Immagine dell'autore, rielaborazione grafica di Valentina Covre.

In fase di dismissione e riciclaggio si è opportuno valutare sia gli impatti prodotti dalla demolizione della struttura, sia gli impatti e i crediti ambientali ottenibili ipotizzando uno scenario di fine vita che massimizzi l'efficienza della filiera del riciclo¹². È stato dunque adottato il metodo LCA denominato *avoided products*, in base al quale dall'impatto generato viene scalato il carico ambientale della realizzazione dei corrispondenti prodotti vergini, in modo da poter valutare il beneficio netto derivante dalla differenza tra impatti evitati e impatti causati. Dal confronto effettuato si evince come, secondo i parametri considerati nel modello LCA, la soluzione realizzata in *cold formed steel* offra notevoli risparmi durante il ciclo di vita, sia dal punto di vista dell'impiego di risorse materiali ed energetiche che rispetto alle emissioni di agenti inquinanti. In particolare, dal punto di vista dell'intensità materiale, le soluzioni convenzionali richiedono quantitativi di materiali ed energia superiori (3 volte se si prende in considerazione l'intera ossatura, 100 volte solamente per le strutture di elevazione).

Gran parte degli impatti riferiti al prototipo in LSF derivano dal contributo della struttura di fondazione in c.a., predominante sia in termini di peso che di emissioni. Tale condizione è accentuata dalla scelta di adoperare come modello di studio un edificio monopiano. Siccome l'incidenza percentuale delle strutture di fondazione, per tale tipo di costruzione, non è proporzionale al numero di impalcati, si può affermare con buona approssimazione che per edifici multipiano il sistema in acciaio possa offrire delle *performance* ancora più elevate rispetto agli indicatori presi in esame. Osservando le quantità impiegate per la realizzazione delle strutture di elevazione, risulta evidente come una progettazione tesa ad ottimizzare la morfologia degli elementi in funzione delle sollecitazioni, come quella dei profili leggeri in acciaio formato a freddo, consente di ridurre gli *input* di materia e, di conseguenza, gli impatti ad essa connessi in tutte le fasi del processo edilizio secondo un approccio eco-efficiente alla gestione delle risorse.

12 Il cemento armato rientra nella categoria di dismissione "rifiuti da demolizione", idealmente riciclabili al 100%, recuperati in seguito alla demolizione controllata dell'edificio e riprocessati per ottenere aggregati da riciclo. I ferri di armatura si è utilizzato un tasso di recupero in fase di demolizione pari al 70% e del 30% in fase di riciclaggio in frantoio dotato di deferizzatore.

Bibliografia

AA.VV., *Alternative eco-tecnologiche per l'Habitat nei Paesi in via di sviluppo*, documento del gruppo di lavoro Alberton E., CLUT, Torino 1994.

Canadian Sheet Steel Building Institute, *The Lightweight Steel Frame House Construction Handbook*, CSSBI 59-05, CSSBI, Cambridge ON 2005.

Ceragioli G., Cattai G., *Tecnologie per l'uomo*, FOCSIV, Milano 1982.

Costa F., *Sistema di valutazione e certificazione ambientale dei prodotti industriali*, in atti del convegno internazionale *Riciclare: tecniche, esperienze e prospettive nell'architettura e nel design*, Napoli 2000, Giannini, Napoli 2001.

De Filippi F., Comoglio Maritano N., Ceragioli G., *Uscire dal tunnel: tecnologie intermedie o avanzate e l'ibridazione tecnologica per l'habitat nei paesi in via di sviluppo*, in Missori A., *Tecnologia, progetto, manutenzione*. Scritti sulla Produzione Edilizia in ricordo di Giovanni Ferracuti, Franco Angeli, Milano 2004.

Gottfried A. (diretto da), *Quaderni Del MPE, L'edilizia residenziale*, Hoepli, Milano 2002.

Guadagni A. (a cura di), *Il prontuario dell'Ingegnere*, Hoepli, Milano 2010.

Landolfo R., Russo Ermolli S., *Acciaio e sostenibilità. Progetto, ricerca e sperimentazione per l'housing in cold-formed steel*, Alinea, Firenze 2012.

Losasso M. (a cura di), *Progetto e innovazione, nuovi scenari per la costruzione e la sostenibilità del progetto architettonico*, Clean, Napoli 2005.

Pacheco-Torgal F., Cabeza L.F., Labrincha J., Giuntini De Macalhaes A., *Eco-efficient Construction and Materials: Life Cycle Assessment (LCA), Eco-Labeling and Case Studies*, Woodhead Publishing, Sawston Cambridge 2014.

Sinopoli N., Tatano V. (a cura di), *Sulle tracce dell'innovazione*, Franco Angeli, Milano 2002.

The Steel Construction Institute, *Energy Efficient Housing Using Light Steel Framing*, SCI Publication P307, Ascot 2006.

UN-HABITAT, *Sénégal. Profil Urbain de Dakar*, Programme des Nations Unies pour les Établissements Humains, Nairobi 2008.

UN-HABITAT, *Profil du secteur du logement au Sénégal*, Nairobi 2012.

Widman J., *Sustainability of Modulus Construction – Environmental Study of the OpenHouse Steel System*, SBI Report 229:2, The Swedish Institute of Steel Construction, Stockholm agosto 2004.

Zambelli E., Vanoncini P. A., Imperadori M., *Costruzione stratificata a secco*, Maggioli, Rimini 1998.

Zanelli A. et al., *Assemblage, la libertà costruttiva. Il progetto d'abitazione mediante elementi industriali e kit personalizzabili*, Sole 24 Ore libri, Milano 2010.

A misura d'uomo

Human oriented

MariaAntonia Barucco

**Architetto e dottore di ricerca in Tecnologia dell'architettura,
ricercatore presso Dipartimento di Culture del progetto, Uni-
versità Iuav di Venezia**

There is a difference between invention and innovation . The Cold Formed Steel used in construction isn't an innovation because its first widespread applications date back to the mid-1800s . The Cold Formed Steel described in this text and in this book is an innovation, because it meets a whole string of current demands such as low cost, environmental sustainability and flexibility in the constructive process. Furthermore, it develops taking advantage of the innovations that characterize our age, the age of information, in which it is possible to work and collaborate among many, making a single project with the specific skills of each participant. An important example of this dynamic is precisely the collaboration between SPH Ltd., a company that works and builds with the Cold Formed Steel, and Arrex Spa, leader in the production of finishing and furniture.

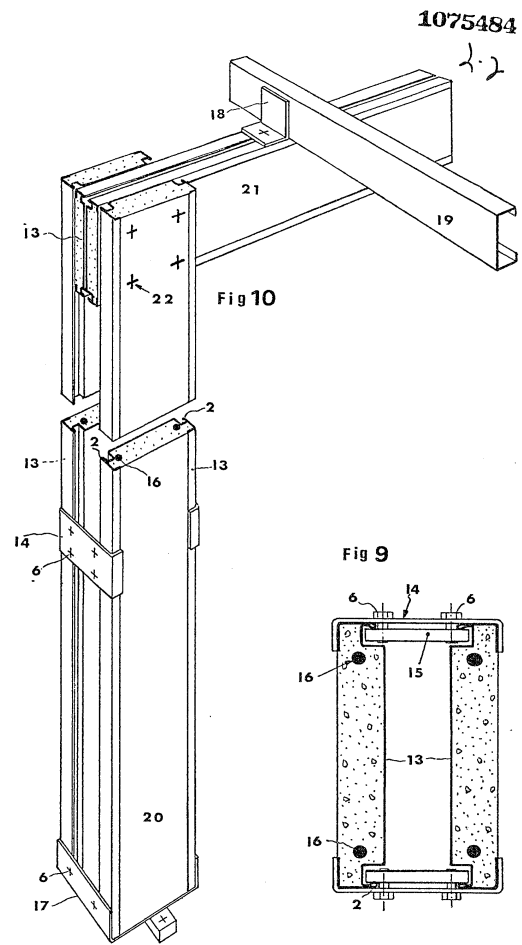
The processing techniques that use these matched technologies, meet the most challenging questions about the appropriateness and the quality of the building, answering to the questions that have characterized research and studies in the history of architectural technology. The research developed in Iuav and the production that demonstrates the excellence of SPH and Arrex in this innovative sector show, not only, how it is possible to value the highest working and professional skills, make the construction process flexible and save energy and non-renewable resources, but also, how we can grow developing a virtuous network for the exchange of information and competence.

All this in the name of the sustainability and the research for more and more high levels of quality, in order to meet articulated and different market demands, in a lot of areas and markets around the world.

Vi è differenza tra novità e innovazione. La novità è una nuova idea, un'invenzione, un nuovo sviluppo scientifico o un nuovo prodotto non ancora realizzato tecnicamente o materialmente. L'innovazione è la realizzazione dell'invenzione e il suo sfruttamento commerciale, l'innovazione è un processo che comprende la progettazione, la realizzazione fisica e la commercializzazione o la diffusione dell'idea (Freeman, 1982). Non tutte le invenzioni si trasformano in innovazioni e molte innovazioni non derivano direttamente da invenzioni in quanto possono essere innovative anche una riorganizzazione di conoscenze esistenti, una nuova forma organizzativa o una ricombinazione di prodotti esistenti in risposta ad un nuovo tipo di domanda (in funzione, ad esempio, all'apertura di nuovi mercati).

L'impiego dell'acciaio sagomato a freddo per la realizzazione di edifici non è una novità: i primi impieghi si registrano all'inizio del 1800 e le sperimentazioni storicamente più rilevanti risalgono al periodo delle guerre mondiali. In alcuni contesti geografici la lamiera d'acciaio in edilizia è stata impiegata tanto diffusamente da definire l'immaginario collettivo di luoghi (l'Australia, innanzitutto) o da definire uno stile riconosciuto da collezionisti e appassionati (in America, le case Lustron Company). L'impiego dell'acciaio sagomato a freddo è un'innovazione: i caratteri di modernità che costituivano la novità dell'inizio dell'800 oggi vengono riscoperti alla luce dei sistemi di progetto, disegno e produzione più evoluti (la modellazione BIM). I sistemi di calcolo delle prestazioni (statiche, fisiche e ambientali) degli immobili mostrano virtuosi collegamenti con altri settori produttivi, diversi ma dialoganti con quelli dei sistemi, materiali e componenti per l'architettura: è il caso di SPH s.r.l. (azienda operante nella realizzazione di immobili con struttura in acciaio sagomato a freddo) e Arrex s.p.a. (azienda *leader* nella produzione e commercializzazione di finiture e arredi).

Le novità possono stupire e, assieme allo stupore, è spesso riconoscibile una certa dose di sconcerto. Le novità: non si sa bene come possano funzionare, quali gli strumenti per accordare ciò che è nuovo con ciò che è di più consueto impiego. Vi è poi il timore delle potenzialità insite in ogni novità, potenzialità inizialmente sconosciute ma che, si suppone, scardineranno delle prassi (e probabilmente anche delle rendite di posizione, degli *status quo*).



C. & R. Fromont
Smith & Sons

Figura 1. Una pagina del brevetto CA1075484 registrato nel 1980 da Michele e Marguerite Fromont. Il brevetto propone l'impiego di profili in acciaio sagomato a freddo irrigiditi grazie all'impiego del cemento armato. La mancata diffusione di questo sistema costruttivo, sebbene non senza potenzialità, annovera lo studio dei coniugi Fromont tra le invenzioni.

Dall'altro lato, vi è chi progetta le novità: chi studia per arrivare a proporre un prodotto o un processo nuovo che, se troverà riscontro presso un adeguato pubblico, potrà essere detto "innovazione". Tali progetti saranno percorribili se sfrutteranno tecnologie disponibili e se proporranno, contemporaneamente, tecnologie nuove, probabilmente anche cambiando le modalità organizzative della produzione dei beni. Tali progetti guadagneranno spazio (e mercato) se saranno in grado di rispondere ad esigenze in modo alternativo (migliore) a quello proposto dalle prassi consolidate o se, oltre a rispondere a tali esigenze (che potremmo definire consolidate e caratterizzanti il mercato immobiliare), saranno in grado di cogliere domande attualmente disattese o inascoltate in uno o in più mercati.

Di certo l'innovazione non è il frutto di casualità: la si progetta e la si pianifica per ottenere riscontro da parte dei portatori d'interesse a cui questa è destinata. Tale ragionamento ha ancora più rilevanza se collocato all'interno del settore edile, caratterizzato dall'inerzia che accompagna ogni nuova tecnologia a disposizione del progetto e del cantiere. Emblematica prova del carattere conservatore dell'edilizia è il testo del prof. Sinopoli (2002), che descrive come molti dei prodotti oggi di normale impiego in edilizia abbiano spesso impiegato decenni per affermarsi in modo significativo (un esempio: sono serviti 55 anni per affermare l'impiego dei blocchi in calcestruzzo cellulare in Italia, dal 1930 al 1985).

Le cause di tale inerzia vengono solitamente individuate nella complessità del processo edilizio: un'abitazione non produce cause e conseguenze economiche in un solo mercato, quello della compravendita di immobili, ma anche in una serie di mercati intermedi. Chi propone un'innovazione tecnologica al settore edilizio deve essere cosciente che sarà tenuto al confronto con un panorama variegato di interlocutori: dal costruttore all'accademia, dall'investitore al legislatore, passando attraverso tutti coloro che operano in campi affini e che avranno a che fare, ad esempio, con l'integrazione impiantistica e la manutenzione delle nuove strutture e dei nuovi pacchetti costruttivi. Ciascuna delle figure coinvolte nel processo edilizio e nella diffusione di una tecnologia innovativa possono essere freno o catalizzatore della diffusione dell'innovazione.

Tecnologia appropriata

Per comprendere al meglio il lavoro svolto grazie al Fondo Sociale Europeo e in virtù della collaborazione tra SPH, Arrex e l'Università Iuav di Venezia (Barucco, 2015), è necessario fare ricorso a studi e riferimenti appartenenti all'ambito della sociologia e dell'economia. A valle di tali riflessioni sarà possibile comprendere le ragioni del successo del sistema tecnologico *Lightweight Steel Frame* (LSF) e prospettare modi e tempi per una prossima evoluzione del sistema, sostenuta da un'ondata di diffusione accentuata anche da alcuni mercati specifici (un esempio: le abitazioni a consumo energetico pari a zero).

Un punto di partenza: la definizione di tecnologia appropriata viene spesso confusa con quella di tecnologia alternativa (alternativa alla esasperata impronta capitalistica che può assumere la società industrializzata) o di tecnologia intermedia (che propone soluzioni che facciano da ponte tra i paesi industrializzati e quelli in via di sviluppo). In comune, le tre tecnologie (appropriata, alternativa e intermedia), hanno l'essere strumenti per interpretare la singolarità delle richieste, ma la tecnologia appropriata non è protesta o affermazione di una cultura locale: la tecnologia appropriata è un mezzo flessibile, che serve per contribuire a produrre condizioni di vita differenti, strettamente legate ad un luogo nella sua momentanea condizione (Gangemi, 1980). Per questa ragione non è possibile dare una rigida definizione di tecnologia appropriata, in relazione a un modello di sviluppo ottimale: non esiste un concetto di qualità assoluto e astratto, il migliore dei mondi possibili. È invece possibile lavorare per identificare e conseguire un miglioramento praticabile dell'attuale condizione, e questo è complesso. Il Nobel per l'economia Amartya Sen ne *Lo sviluppo è libertà* (2000), sottolinea l'articolazione del mondo attuale (articolazione data dalla sempre più stretta interrelazione tra le persone) e la conseguente impossibilità di proporre «tecniche modeste per un mondo complicato» (Vacca, 1978): l'epoca dell'informazione ha creato le condizioni per lo sviluppo di un sistema decentrato, a gestione diffusa e a carattere comunitario dell'innovazione, della produzione industriale e della tecnologia. Ciò costringe a rivedere la gestione massificata e verticistica dell'industria edilizia ipotizzata dalla ricostruzione del dopoguerra e conduce a nuove possibili innovazioni, a nuove domande.

Una domanda: quali connotazioni caratterizzano le tecnologie appropriate? Innanzitutto la ricerca e un'adeguata comunicazione. «Le tecnologie appropriate in un contesto industrializzato [ndr: quale il mondo di oggi e, plausibilmente, quello di domani] significano attività ad alto contenuto di ricerca, atte a realizzare sistemi decentrati e in migliore equilibrio con il territorio» (Balcet et al., 1980). Per questa ragione non è possibile sviluppare e declinare una tecnologia appropriata senza un sistema di informazione e diffusione della conoscenza: la circolazione delle informazioni può rendere possibile una programmazione non autoritaria né gerarchica dello sviluppo, che consenta la centralizzazione dei dati di interesse generale e al contempo dia la possibilità di scambiare esperienze e metodologie di valutazione in occasione di ciascuna delle applicazioni del sistema, per trarne nuovamente informazioni e spunti per il miglioramento continuo della tecnologia stessa (Perniola, 2004).

Augusto Vitale (1985), distinguendo l'industrializzazione edilizia di tipo chiuso (la prefabbricazione pesante) da quella di tipo aperto (che definisce "soffice") individua nel tipo di lavoro, nella valorizzazione delle potenzialità tecnologiche, e nella produzione decentrata e coordinata tre caratteristiche fondamentali per parlare dell'appropriata tecnologia dell'architettura. Questi tre pilastri sono descritti in un libro che rappresenta un tavolo di discussione, coordinato da Virginia Gangemi, che aggiunge: «La peculiarità del carattere di appropriatezza oggi è legata all'attenzione particolare, nuova in campo edilizio, al problema della risorsa come bene energetico» (Gangemi, 1985). Quattro punti, in totale, per la definizione di appropriatezza nel campo della tecnologia dell'architettura. Quattro punti validi ancora oggi e, nel tempo, più volte ripresi nella definizione di innovazione in edilizia (Sinopoli, 2002). Quattro punti che la sociologia e l'economia chiedono di soddisfare con altrettante risposte (Balcet et al, 1980) al fine di poter ragionare sull'appropriatezza della tecnologia dell'acciaio sagomato a freddo.

Primo punto. Un rapporto relativamente meno elevato tra capitale fisso e lavoro impiegato. Questo bilanciamento consente di aumentare l'intensità del lavoro e gli investimenti in ricerca: per la realizzazione di un edificio LSF è necessaria una quota di forza lavoro con qualifiche

2404108

23.

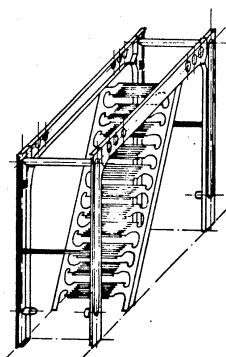


Fig. 304

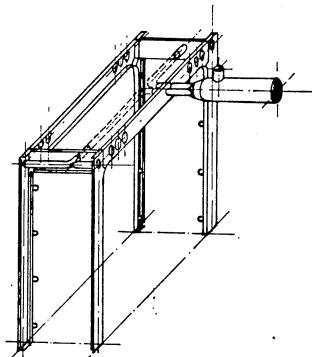


Fig. 305

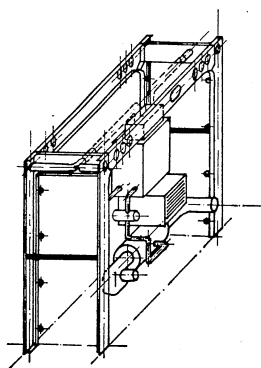


Fig. 306

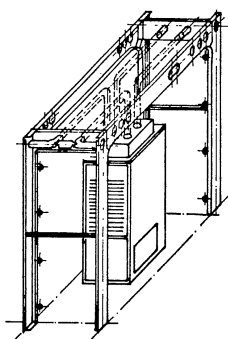


Fig. 307

509831/0752

Figura 2. Una pagina del brevetto DE2404108 registrato nel 1975 da Gerd Treitz. Il brevetto illustra le potenzialità di uno scheletro strutturale in acciaio sagomato a freddo dal passo modulare: in particolare, l'inventore si concentra sulle possibilità di integrare il modulo strutturale con elementi di risalita (scale, sempre in acciaio sagomato a freddo) e con soluzioni impiantistiche di varia natura. In altre pagine vengono illustrate anche possibili elementi di tamponamento dei solai e delle pareti, oltre che uno schema di base per il passaggio degli impianti sanitari. Certo non in queste fogge, ma ancora oggi si impiegano soluzioni simili nelle strutture in acciaio sagomato a freddo.

mediamente più alte rispetto a quanto necessario per la realizzazione di un edificio con tecnologie tradizionali. Questa media mostra un *gap* ancor più ampio confrontando le strutture produttive tradizionali di materiali e prodotti per l'edilizia con gli stabilimenti di progetto e produzione di elementi in acciaio sagomato a freddo.

La progettazione di ogni parte dell'edificio viene svolta attraverso attenti calcoli ingegneristici fondati sul dialogo tra tutte le figure coinvolte nel progetto. La ricerca della composizione architettonica di forme, spazi e funzioni è dunque arricchita da una rosa di competenze, spunti e occasioni di innovazione che solo l'industrializzazione adattiva e *on demand* può consentire di concretizzare rapidamente e a costi inferiori alla media del mercato. Nel momento in cui il rapporto tra capitale fisso e lavoro impiegato cominciano a far scorgere ai portatori d'interesse le dinamiche descritte poco sopra è possibile ampliare la definizione di processo edilizio al progetto e a produzioni che solitamente gli sono tangenti ma non vi afferiscono direttamente. È il caso dell'arredo, che è una componente dell'abitare che solitamente viene considerata solo a valle della completa realizzazione di un immobile. Agli studi di *design* e di tecnologia degli anni '70 si devono i dimensionamenti e le conformazioni più usuali dell'organizzazione dello spazio interno degli alloggi e dei luoghi di lavoro. Alle attuali potenzialità della produzione *on demand* e alle ricerche nel settore dell'arredo si deve la possibilità di coordinare, in contesti specifici, la realizzazione dell'arredo a quella dell'edificio. Alcuni mercati richiedono espressamente tale tipo di coordinamento: si tratta di contesti in cui la qualità italiana del progetto e della produzione contribuisce alla caratterizzazione di un elevato *status quo* dalla committenza. Altri mercati richiedono necessariamente dotazioni minime di arredo (ma anche di stoviglie e biancheria per la casa): sono gli appalti per la realizzazione di abitazioni a basso costo che le nazioni in via di sviluppo gestiscono con l'appoggio della Banca Mondiale.

La progettazione della produzione, sia degli elementi in acciaio sagomato a freddo che degli arredi, consente di raggiungere entrambe questi mercati e consente anche di offrire alla committenza più tradizionale (la committenza italiana) soluzioni adatte a rispondere a queste principali e ad altre più specifiche esigenze, tenendo conto di elementi e fattori tipici, come da definizione di tecnologia appropriata.

Secondo punto. Il risparmio di energia e di risorse non rinnovabili. Questo obiettivo è duplice e, oltre alla riduzione del consumo di energia da fonte fossile, richiede l'utilizzo di prodotti edilizi realizzati con materiali che possano essere reimpiegati per nuove produzioni, senza causare il decadimento delle loro qualità prestazionali. Ciascuna fase del ciclo di vita di ogni edificio consuma energia e impiega materiali, in alcune di queste fasi la responsabilità di tali consumi è imputabile principalmente all'industria (all'inizio e alla fine del ciclo di vita dell'edificio) mentre, nella fase d'uso, sono l'*operating energy* e i lavori di manutenzione e riqualificazione a incidere sui consumi sia di energia che di risorse. Lavorazione industriale e uso possono essere però anche i luoghi e i momenti per il risparmio o la produzione di questi preziosi beni.

L'inizio e la fine del ciclo di vita di ogni edificio si svolgono in ambito industriale, perché sono le fabbriche a produrre le parti che verranno condotte in cantiere e perché saranno nuovamente gli stabilimenti industriali a farsi carico di ogni prodotto e materiale che potrà essere riciclato o recuperato (auspicando la riduzione delle macerie di demolizione e un incremento della differenziazione dei rifiuti, questo ambito acquisirà importanza in un prossimo futuro). Le aste di acciaio sagomato a freddo possono essere riciclate e riciclabili senza causare il decadimento del materiale e quindi senza perdita di qualità o spreco di energia. Un vantaggio notevole, considerato che le attività di costruzione e di demolizione producono 56,7 milioni di tonnellate di rifiuti: il 44% dei rifiuti prodotti in Italia, considerato che la produzione nazionale da condurre in discarica si attesta a circa 128,5 milioni di tonnellate (ISPRA, 2009). La fase d'uso di ogni edificio è lasciata agli utenti, così come buona parte degli interventi di manutenzione e riqualificazione. La naturale complessità del settore edilizio lega queste fasi all'artigianalità e i dati reperibili in merito all'incidenza delle attività di manutenzione mostrano che, soprattutto nella fase di inizio d'uso di un immobile, si interviene anche pesantemente sulla componente materiale dell'architettura al fine di adeguarla all'inserimento di mobilio e di quelle che ormai vengono considerate come dotazioni base di ogni immobile (in un'abitazione, si tratta ad esempio di interventi per la sistemazione di elettrodomestici, variazioni al disegno delle canalizzazioni elettriche e installazione di elementi per l'automazione di porte, finestre e per l'inserimento di

allarmi). La progettazione integrata analizzata nelle ricerche svolte in Iuav garantisce la risoluzione di queste problematiche a monte, durante la fase di progetto, in modo tale da non dover procedere a demolizioni (nemmeno parziali) tra la conclusione del cantiere di costruzione vero e proprio e la messa a regime dell'immobile.

Ciò richiede la capacità di gestire una più complessa progettazione, in cui sono chiamati non solo committente e progettista, ma anche impiantista, strutturista e produttore di arredi e finiture. A una maggiore complessità iniziale, insita nella progettazione integrata, corrisponde una più precisa prefigurazione dei costi, dei tempi e delle lavorazioni in cantiere e quindi una vistosa riduzione dei tempi di costruzione, degli scarti da costruzione e delle spese impreviste. Una visione più completa e dettagliata del progetto necessita un'elaborazione più articolata di documenti per il cantiere, documenti che risulteranno preziosi nel lungo arco di vita dell'edificio: ogni modifica con variazione di cubatura e ogni trasformazione interna potrà trovare una dettagliata descrizione, ad esempio, della presenza di strutture portanti o del percorso delle condotte e delle canalizzazioni. Anche questo porta a una riduzione dei consumi di risorse non rinnovabili e di energia.

Terzo punto. Decentramento per una valorizzazione e non per un uso distruttivo del territorio e delle risorse naturali ed umane. Il decentramento slega produzioni e processi di produzione dalle macchine: storicamente, la disponibilità delle macchine determinava la configurazione della produzione, oggi il decentramento sviluppa una configurazione basata sui flussi di produzione e i relativi flussi di informazioni. È la tecnologia a coordinare la produzione e l'informazione che alimenta il processo edilizio. Per la realizzazione di un edificio LSF l'aumento di lavoro specializzato e il risparmio di risorse ed energia sono possibili proprio grazie a una simile, articolata, rete di operatori che non condividono necessariamente un ambiente fisico ma che operano su un unico progetto, per un unico obiettivo.

Questo approccio può consentire un uso più razionale delle risorse naturali esistenti e a piccola scala, sarà sufficiente inserire nella rete di operatori chi vive e conosce il luogo in cui l'edificio verrà realizzato. Analogamente, sarà possibile recuperare e valorizzare il patrimonio

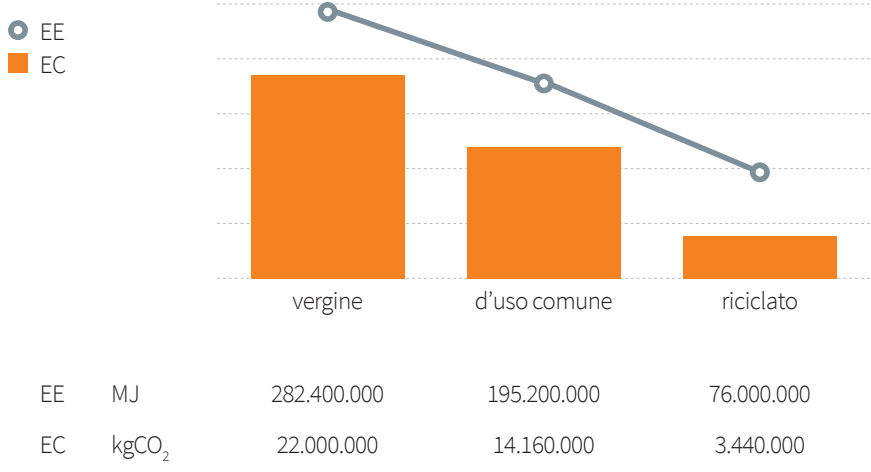


Figura 3. Progettare l'inizio e la fine del ciclo di vita dell'edificio pone di fronte alla necessità di acquisire nuove informazioni. Ad esempio in merito all'energia incorporata (embodied energy, EE) e all'anidride carbonica incorporata (embodied carbon, EC) nei materiali da costruzione. I dati riassunti in questo grafico derivano dal documento Inventory of Carbon and Energy (ICE) curato dal prof. Geoff Hammond e dal prof. Craig Jones dell'Università di Bath. *Rielaborazione grafica di Margherita Ferrari.*

di esperienze produttive locali: la flessibilità della rete di cui sono stati esposti gli esiti nel convegno *Lightweight Steel Frame* (aprile 2015) ha già mostrato di saper operare in contesti distanti da quello italiano, anche attraverso la virtuosa relazione con ambiti geografici, produzioni e culture costruttive differenti. L'obiettivo indicato da questo genere di decentramento è lo sviluppo di un'organizzazione più democratica e partecipativa dei processi costruttivi, ma anche decisionali e gestionali. Processi che supportano la grande flessibilità progettuale del sistema tecnologico utile alla realizzazione degli edifici con struttura in acciaio sagomato a freddo; quella flessibilità che è data dall'accorta giustapposizione di strutture semplici nella produzione, nella messa in opera, nell'integrazione e nella gestione; semplici nella pratica e articolate nella progettazione e nel coordinamento, quegli aspetti di supervisione che consentono di identificare nella rete descritta un'eccellenza nel settore delle costruzioni in acciaio sagomato a freddo.

Quarto punto. Pluralismo tecnologico. Negli anni '60 molti studiosi analizzavano e descrivevano le potenzialità insite nelle nuove tecnologie della produzione industriale di cemento armato, queste sarebbero dovute divenire la soluzione per l'innovazione del settore edile, prima legato alla stessa artigianalità che era riconoscibile nei cantieri di centinaia di anni prima. Chi teorizzava poche grandi industrie dedite alla produzione di tutte le parti dell'edificio, come pezzi di un grande gioco di costruzioni universalmente (o almeno nazionalmente) diffuso; chi auspicava la riduzione del numero dei prodotti edilizi e l'esclusione dal mercato dei settori merceologici non sufficientemente incisivi da consentire una drastica riduzione dei prezzi in relazione ad una più spinta industrializzazione; chi vedeva il futuro dell'industrializzazione edilizia in un programma di obsolescenza programmata, che garantisse una base solida per un mercato che, oltre delle nuove costruzioni, si facesse carico anche del ricambio dei prodotti e dei componenti.

Alla base di tutte e tre queste teorie vi è la «progressiva eliminazione di quelle frange produttive extra-industriali, quei fuori serie ancora oggi possibili almeno in piccola parte ed ai quali viene, o veniva, affidata una attività di ricerca avente una certa quota di libertà dalle regole industriali» (Cetica, 1969). La tecnologia dell'architettura a misura d'uomo

(la tecnologia appropriata) contraddice questo approccio all'edilizia industrializzata perché amplia la gamma delle regole industriali sino dove arriva il pensiero di almeno uno dei tanti soggetti coinvolti nel processo edilizio. Un processo edilizio che non fonda la propria costruibilità sul ridotto numero di elementi facilmente assemblabili da chiunque e prodotti da pochi; un processo edilizio che è tanto più realisticamente percorribile quanto più è flessibile e aperto al confronto e all'interazione con soggetti e prodotti diversi tra loro.

La forza del progetto non è più, come teorizzato negli anni '60, nel buon progetto (un unico progetto) di poche parti tra loro assemblabili; la forza del progetto sta nella disciplina del lavoro coordinato, nella rete che supporta e coordina i contributi progettuali di più soggetti, specializzati in produzioni dalle elevate prestazioni e dalla elevata flessibilità. Il *know how* degli industriali innovatori, nel caso dell'acciaio sagomato a freddo, è il terreno fertile dal quale nasce una diramazione di esperienze di cantiere e di ricerche professionali, oltre che universitarie, dai quali stanno nascendo nuove idee, spunti e interrelazioni. La tecnologia appropriata dell'acciaio sagomato a freddo ricerca la complementarità con altre tecnologie e, in questo senso, il pluralismo tecnologico arricchisce le aste del sistema LSF di progressiva e diffusa innovazione: ogni interrelazione con differenti produzioni costituisce un arricchimento delle basi tecnologiche esistenti, specialistiche ma condivise. Questo arricchimento si realizza sia a livello intrasettoriale che a livello intersettoriale: il primo guarda ai produttori di elementi e sistemi per l'edilizia, il secondo apre a settori diversi (affini, come quello dell'arredo, o anche più distanti).

A misura d'uomo

«Ogni cambiamento implica una catena d'altri cambiamenti, in Andria come tra le stelle: la città e il cielo non restano mai uguali. Del carattere degli abitanti d'Andria meritano di essere ricordate due virtù: la sicurezza in sé stessi e la prudenza. Convinti che ogni innovazione nella città influisca sul disegno del cielo, prima d'ogni decisione calcolano i rischi e i vantaggi per loro e per l'insieme della città e dei mondi» (Calvino, 1972). Le innovazioni a misura d'uomo che non

separano la fase progettuale da quella produttiva difficilmente rimarranno episodi isolati e, a un cambiamento, ne saranno collegati degli altri (relativi, ad esempio, ai modi d'uso, di progetto, d'acquisizione, di gestione, ecc.).

Una tecnologia a misura d'uomo è una tecnologia appropriata in relazione al contesto umano e ambientale in cui si inserisce, e quindi è adatta ai sistemi economici, sociali, culturali, territoriali ed ecologici con i quali si relaziona; così anche ogni innovazione, ogni cambiamento. Romano Del Nord insegna che, stando così le cose, «il vero problema a cui si deve dare risposta è come si pianifica l'innovazione e perché la si pianifica e la si progetta» (Del Nord et al., 2007). La risposta al come e al perché, nel caso della tecnologia dell'acciaio sagomato a freddo è una sola: “insieme”.

Quella dell'acciaio sagomato a freddo è una infra-tecnologia operante tra e attraverso le prassi consolidate nel settore edilizio, pianificata e proposta come struttura all'interno di questioni aperte o soluzioni e prassi tradizionali. L'acciaio sagomato a freddo fa del trasferimento tecnologico e del dialogo con reti diverse e distanti il mezzo per sviluppare un settore industriale e un ciclo produttivo: è una tecnologia per lavorare insieme. Quella dell'acciaio sagomato a freddo è una tecnologia innovativa perché necessita dell'attuale sistema delle comunicazioni per essere effettivamente innovativa (e non solo una novità). La tecnologia dell'acciaio sagomato a freddo è pianificata e progettata perché anche il settore edilizio possa sfruttare quella forte intensità del lavoro che nasce dalla ricerca, dall'innovazione e dal dialogo tra specializzazioni caratterizzanti l'epoca delle comunicazioni e l'esigenza di sostenibilità ambientale che deriva dalla condivisione e dall'argomentazione delle pratiche del vivere “insieme”. Il risultato di questo “come” e di questo “perché” è un prodotto e una ricerca: una “cosa” che viene qui descritta come il sistema tecnologico realizzato con l'acciaio sagomato a freddo. Le ricerche condotte nelle università, le produzioni sviluppate nelle industrie e il dibattito sostenuto durante il convegno dell'aprile 2015 vogliono offrirsi come elementi per la diffusione della rete dell'innovazione tecnologica appropriata, a misura d'uomo.

Bibliografia

Balcer G., Colombo U., Lanzavecchia G., Zorzoli G.B., *La speranza tecnologica. Tecnologie e modelli di sviluppo per una società a misura d'uomo*, Etas libri, Milano 1980.

Barucco MA., *Progettare e costruire in acciaio sagomato a freddo*, Edicom, Monfalcone 2015.

Calvino I., *Le città invisibili*, Einaudi, Milano 1972.

Cerica P. A., *Continuità della produzione* in Spadolini P. (a cura di), *Design e Tecnologia. Un approccio progettuale all'edilizia industrializzata* Edizioni Luigi Parma, Bologna 1969.

Del Nord R., Felli P., Torricelli M.C., *Materiali e tecnologie dell'architettura*, Laterza, Roma 2007.

Freeman C., Soete L., *The Economics of Industrial Innovation*, Frances Pinter, Londra 1982.

Gangemi V. (a cura di), *Architettura e Tecnologia appropriata*, Franco Angeli, Milano 1985.

Perniola M., *Contro la comunicazione*, Einaudi, Milano 2004.

Sen A. K., *Lo sviluppo è libertà. Perché non c'è crescita senza democrazia*, Mondadori, Milano 2000.

Sinopoli N., Tatano V. (a cura di), *Sulle tracce dell'innovazione: tra tecniche e architettura*, Serie di Architettura, FrancoAngeli, Milano 2002.

Vacca R., *Tecniche Modeste per un Mondo Complicato*, Rizzoli, Milano 1978.

Vitale A., *Una nuova strategia per la produzione industriale in architettura*, in Gangemi V. (a cura di), *Architettura e Tecnologia appropriata*, Franco Angeli, Milano 1985.

Linea del tempo: acciaio e industrializzazione

Steel and industrialization
timeline

MariaAntonia Barucco

**Architetto e dottore di ricerca in Tecnologia dell'architettura, ricercatore presso Dipartimento di Culture del progetto,
Università Iuav di Venezia**

A timeline, although not exhaustive, can be a useful tool to describe the events linked to steel. The beginning of the time line corresponds with the first industrial revolution, which upset Europe (and beyond) with a number of inventions and innovations in the field of metalworking. The metals, progressively more pure and refined by slag, are used for the production of machines for the industry and for the construction of structures for the building. The buildings become larger and are freed from the heavy brick walls, which badly suited to host the new manufacturing machines. The conclusion of the timeline corresponds with the establishment of the ECSC (European Coal and Steel Community), after this date the equilibrium between European countries changed profoundly. It was 1951 and it was a few years after the end of the second world war conflict: the reasons and forms of collaboration between countries that led to the constitution of the European Union are defined in this period.

Between these two dates, the development of the timeline shows events not usually highlighted in the history of steel, but can enrich the study of innovation steel. One of the first applications of the metal (iron) to large construction takes place in Italy: Vanvitelli consolidates the structure of the dome of St. Peter in Rome (1742). In the first half of the nineteenth century (1848), the funds for the disease and, generally, for the corporate welfare in favor of the workforce are organized for the first time. A little later, the first battles to protect the environment: a German convent opposes the construction of a blast furnace because the coal mining process would have poisoned a river and made it impossible to fish and use the water for making beer and wash shoes (1852). But the timeline also shows the events that cross private lives and political choices, weddings and rail networks (1863). Also appear the experiments for the realization of prefabricated houses (in the first half of 1900) ...

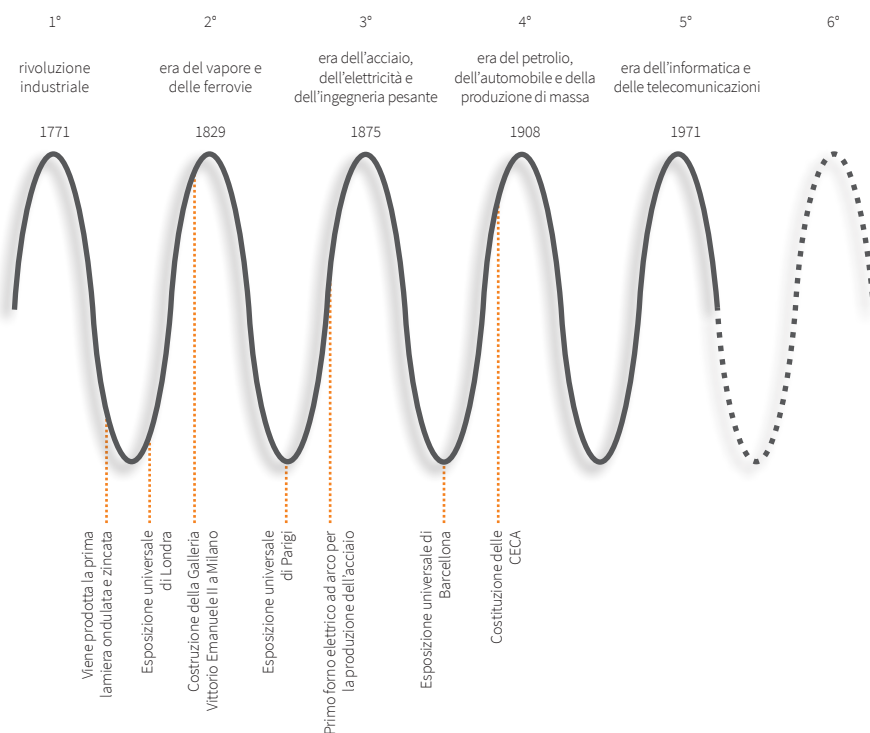
The timeline proposed here is not exhaustive and is not a collection of notions. The timeline has been developed pursuing the objective of organizing a series of notes to better understand the history of the steel and industrialization, to better understand its use in construction. It is a story that, in turn, reveals curious anecdotes, catalyzes a more known history, or is implied to some national policies. A story, summarized in the following pages, which I hope will be useful to look into the future.

Una cronologia, seppure non esaustiva, può essere uno strumento utile per raccontare le vicende legate all'acciaio, dalle sue prime applicazioni nel mondo delle costruzioni, durante la prima rivoluzione industriale, sino alla formazione della CECA (Comunità Europea del Carbone e dell'Acciaio) dopo la cui costituzione (1951) gli equilibri tra gli stati europei mutarono profondamente. Siamo a pochi anni dalla conclusione del secondo conflitto bellico mondiale e si stanno definendo le ragioni e le forme di collaborazione tra nazioni che porteranno alla costituzione dell'Unione Europea.

La scelta di queste date per l'avvio e il termine della linea del tempo è avvenuta in funzione di un approccio legato agli aspetti socio-politici che hanno influenzato la storia del costruire e la storia della produzione industriale (soprattutto in Europa). L'acciaio, e l'industria metallurgica tutta, hanno avuto una forte influenza nella definizione degli equilibri sovranazionali e, assieme ad altre materie prime, ancora influiscono sul destino di grandi aree geografiche (oltre che nazionali, economiche e politiche): prima della rivoluzione industriale l'impiego di materiali ferrosi era scarsamente diffuso (ci si riferisce a materiali molto meno raffinati ma precursori dell'acciaio).

I primi impieghi dei metalli a base ferrosa; risalgono al tempo dei Sumeri e degli Ittiti. Già 4000 anni prima della nascita di Cristo venivano realizzati piccoli oggetti in ferro quali punte di lancia o gioielli e, più in generale, piccoli oggetti prodotti per un mercato che si potrebbe definire "del lusso" e spesso connesso a riti e tradizioni radicati anche nella religione. A questi originari impieghi dei metalli ferrosi dobbiamo, oltre l'origine della siderurgia, anche l'etimologia della parola stessa *σιδηρεία* (la lavorazione del ferro), parola che contiene un'antica radice europea *σιδ-* che ha a che fare con il senso di essere terso, splendente, e dalla quale deriva il latino *sīdūs* (astro, corpo celeste). Questa etimologia ricorda che è dalle stelle (dalle stelle cadenti) che il ferro arrivava sulla terra, erano infatti le meteoriti a offrire alla siderurgia il materiale ferroso nella sua forma più pura e quindi preziosa per le lavorazioni in officina.

L'avvio della linea del tempo che qui si assume viene fissato in corrispondenza con la prima rivoluzione industriale. Questa interessò prevalentemente il settore tessile-metallurgico, con l'introduzione della spoletta volante e della macchina a vapore: l'impiego delle macchine

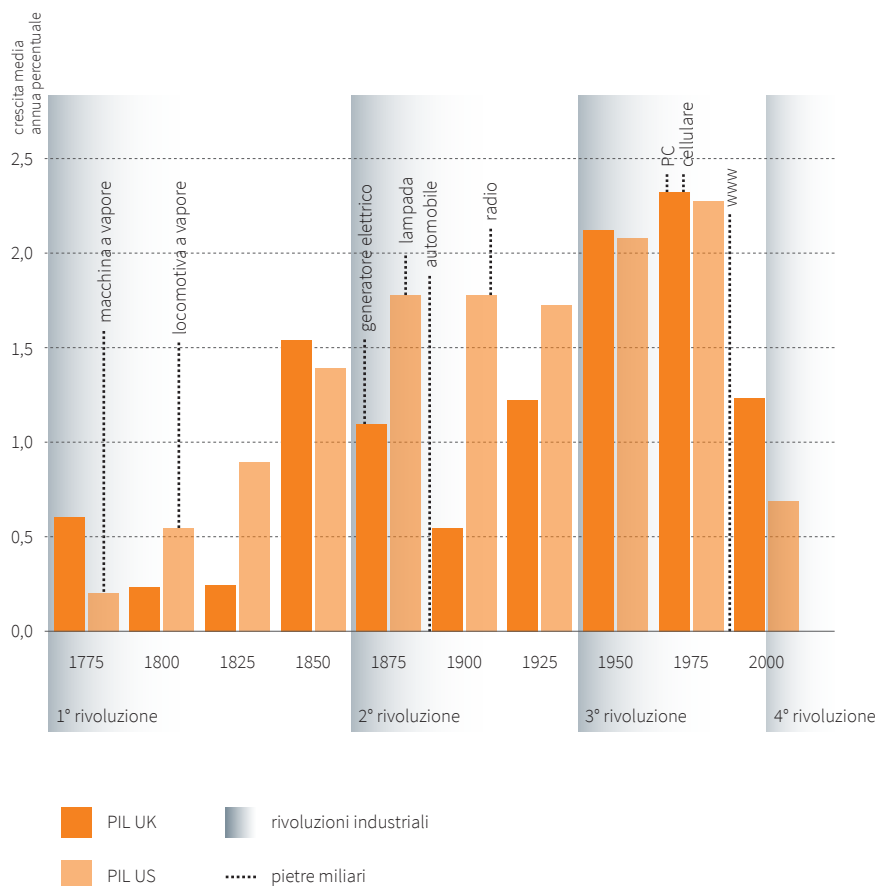


Questo grafico riassume e schematizza le onde descritte negli studi sviluppati a partire dalle ricerche di Nikolaj Dmitrievič Kondrat'ev, economista sovietico che ha vissuto a cavallo tra il 1800 e il 1900. Le onde K (chiamate così in onore di Kondrat'ev) descrivono le rivoluzioni tecnologiche ed economisti, sociologi, filosofi e studiosi della tecnica vi mettono in relazione l'andamento del mercato (ad esempio in funzione delle fluttuazioni del PIL o dell'indice Standard & Poor's), la storia del pensiero e la registrazione di brevetti. L'ipotesi che propongo è legata alla descrizione della sesta onda, alla sesta "rivoluzione tecnologica" dedicata a un uso più efficiente delle capacità progettuali dell'ingegno umano oltre che delle risorse naturali. L'impiego dell'acciaio sagomato a freddo può essere un buon banco di prova per sfruttare i vantaggi della manifattura digitale e dell'organizzazione BIM della progettazione: queste scelte progettuali possono corrispondere con relativa semplicità alla grande complessità della domanda di sostenibilità ambientale e di migliorate *performances*, oltre che favorire lo spostamento del costo del costruito dalla fase della costruzione (del cantiere) a quella della progettazione (e del coordinamento e del dialogo tra i portatori di interesse). *Rielaborazione grafica di Margherita Ferrari.*

a vapore per la movimentazione dei telai meccanici richiedeva nuove forme e nuovi spazi per la fabbricazione dei beni che, dapprima artigianali, divengono industriali. A questa evoluzione corrisponde una parallela serie di invenzioni e innovazioni nel campo della lavorazione dei metalli che, progressivamente più puri e raffinati da scorie, divengono di comune impiego per la produzione di macchinari per l'industria, oltre che per la realizzazione di elementi strutturali per la costruzione di edifici in cui i pesanti muri di laterizio pieno o di pietra lasciano spazio ad esili pilastri, e i solai in legno e cotto collaborano con le prime traviature in ghisa (prima) e reticolari (poi). Di non secondaria importanza la produzione di suppellettili e ornamenti e, alla rivoluzione in campo produttivo, corrispose una rivoluzione anche nel settore dei trasporti: le ferrovie e i ponti collegavano regioni e aree d'Europa (e del mondo, grazie ai trasporti marittimi) che prima erano scarsamente connesse: si costruiscono ponti dalla portata sempre maggiore e, a partire dalle prime sperimentazioni empiriche, si fondano le basi del calcolo strutturale e della moderna scienza delle costruzioni.

La linea del tempo mostra che, dopo il *boom* di innovazione legato alla rivoluzione industriale, le evoluzioni della tecnologia del metallo applicata al settore edilizio hanno sviluppato strade differenti, strettamente legate al genio di singoli ma anche alle politiche nazionali (o internazionali) di alcune aree geopolitiche del mondo. Gli indirizzi di queste "strade differenti" sono già individuabili negli orientamenti nazionali della seconda metà dell'Ottocento ma, per semplicità, è possibile scorrere la linea del tempo e capire che, dalla data della conclusione della Seconda guerra mondiale, l'acciaio viene impiegato in modo diverso in diversi contesti: molte nazioni hanno dovuto ripensare a una propria identità nell'ambito dell'industria edilizia e molte hanno anche dovuto affrontare una conversione (almeno parziale) delle industrie belliche, strettamente collegate con la siderurgia.

La linea del tempo consente di soffermarsi su alcuni eventi solitamente non evidenziati nella storia dell'acciaio ma che, per il loro carattere, possono arricchire di spunti di riflessione. È italiana una delle prime applicazioni del metallo (il ferro) alle grandi costruzioni: è merito del genio di Vanvitelli nel consolidamento strutturale della cupola di San Pietro a Roma (1742). Risale alla prima metà dell'Ottocento l'organizzazione e



Questo grafico rielabora i contenuti di un *report* proposto nell'ottobre 2014 dal The Economist: la rielaborazione sostanziale che propongo è relativa ai "confini" delle cosiddette "rivoluzioni industriali". Ad ogni crisi segue una rinascita dell'economia, questo assunto è alla base di molti articoli di economia (specialmente oggi, in un periodo di crisi economica dall'estensione globale). Tra un periodo di prosperità economica e il successivo, è chiaro, vi è un periodo di crisi economica. In relazione a tale periodizzazione vi è lo sviluppo di nuove tecnologie ("vincenti") per la sostituzione delle precedenti (che, non più sufficienti al sostegno della crescita economica, vengono considerate "perdenti").

Se, invece di concentrarsi sugli andamenti del PIL, ci si orienta alla lettura delle innovazioni tecnologiche è possibile pensare ad ogni rivoluzione tecnologica come ad una nuova costruzione (di prodotto e di processo) a fronte delle competenze acquisite nel periodo di tempo precedente. Ogni rivoluzione non è la negazione di quanto fatto prima ma è una crescita in virtù del progresso della ricerca (la ricerca cresce lentamente, e sono rare le scoperte inattese). Per questo motivo il grafico che propongo "sfuma" la conclusione di ciascuna delle tre rivoluzioni industriali descritte (nettamente) dal The Economist e lascia lo spazio per cominciare a definire il tempo della quarta rivoluzione industriale.

lo sviluppo di fondi per malattia e, in generale, per il *welfare* aziendale a favore della forza lavoro (1848). Di poco successive, le prime battaglie per la salvaguardia dell'ambiente: un convento tedesco si oppone alla costruzione di un altoforno perché il processo estrattivo del carbone avrebbe avvelenato la fauna ittica e reso impossibile l'uso dell'acqua per fabbricare la birra e lavare i panni (1852). Ma la linea del tempo riporta anche le vicende che incrociano vite private e scelte politiche, matrimoni e costruzione di reti ferroviarie (1863). Compaiono anche le sperimentazioni per la realizzazione di case prefabbricate (nella prima metà del 1900), ecc.. Questa rete di eventi e collegamenti può consentire l'astrazione di un'idea in merito alla tecnologia dell'impiego dei metalli ferrosi e, più in particolare, dell'acciaio? È efficace riferire le costruzioni in metallo ad una simile linea del tempo?

Certamente è possibile cogliere quali siano i passi e progressi che hanno consentito la realizzazione di elementi costruttivi (senza le cave di *carbon coke*, non sarebbero state aperte le fonderie e via di seguito). Tali consequenzialità, relazionate allo sviluppo economico, tecnologico o del pensiero, consentono di parlare di rivoluzioni tecnologiche e di rivoluzioni industriali. Ogni rivoluzione tecnologica, riferendosi agli studi svolti da Kondratiev (e poi al lavoro di Schumpeter, Freeman e Perez), è l'esito di un insieme di piccole invenzioni e innovazioni. Un picco positivo nello sviluppo della produzione industriale è possibile grazie alla messa a frutto di tali tecnologie: ogni picco positivo viene suddiviso in due fasi, quella della prosperità (in salita) e della recessione (in discesa). Le invenzioni e le innovazioni hanno dunque luogo durante i picchi negativi della produzione e anche ai picchi negativi vengono riconosciute due fasi di sviluppo, quella della depressione (in discesa) e quella dell'impoverimento (in salita).

La maggior parte dei teorici dei cicli sono d'accordo nell'identificare cinque "rivoluzioni tecnologiche" a partire dalla rivoluzione industriale fino ai giorni nostri, cinque cicli compiuti ed un sesto nel quale ci troviamo oggi (Barucco, 2014). Queste cinque onde sono:

- Rivoluzione industriale 1771;
- Era del vapore e delle ferrovie 1829;
- Era dell'acciaio, dell'elettricità e dell'ingegneria pesante 1875;

- Era del petrolio, dell'automobile e della produzione di massa 1908;
- Era dell'informatica e delle telecomunicazioni 1971.

Ogni rivoluzione industriale descrive un sistema produttivo che risulta radicalmente differente rispetto al sistema precedente. La definizione di rivoluzione industriale viene solitamente attribuita a Arnold Toynbee che, nel 1884, parla dello sviluppo della produzione e dell'economia dell'Inghilterra, il termine però è stato impiegato anche prima e ha acquisito rilievo grazie a Marx, Mill ed Engels. Il termine, in ogni caso, descrive un totale cambiamento nella società o in alcuni suoi aspetti; un cambiamento che, forse, non è tanto riconducibile a una rottura quanto all'accelerazione di un processo già in corso. Legare ogni rivoluzione industriale a una variazione nelle fortune di un paese consente di trovare delle corrispondenze tra l'andamento del PIL e l'andamento della produzione. In uno speciale dedicato dal *The Economist* all'attuale crisi economica mondiale vengono analizzati gli andamenti del PIL di America e Regno Unito e, di conseguenza, vengono riconosciute tre rivoluzioni industriali (Ryan, 2014):

- 1° rivoluzione industriale 1760 - 1840 (era del vapore, dell'acciaio e delle ferrovie);
- 2° rivoluzione industriale 1870 - 1914 (era dell'elettricità e dell'automobile);
- 3° rivoluzione industriale 1970 - oggi (era delle comunicazioni).

Guardando alle rivoluzioni industriali e alle rivoluzioni tecnologiche qui descritte, la linea del tempo che segue consente di sottolineare due aspetti che possono indicare una strada per lo sviluppo delle costruzioni che impiegano l'industrializzazione come strumento per affrontare l'attuale crisi (nel merito della quale concordano le due visioni descritte qui sopra).

Un primo punto è la continuità del flusso degli eventi. Non è possibile individuare una rottura netta tra le tecnologie di un periodo e le tecnologie del periodo successivo. Ogni innovazione tecnologica si fonda sulle competenze e sulle capacità sviluppate e provate prima ed è grazie a questa crescita di *know how* che è quindi possibile ogni periodizzazione (industriale o tecnologica). Un secondo punto sta nel riconoscere che il settore dell'impiego del metallo nel settore delle co-

struzioni (e il mondo delle costruzioni, in generale) necessita oggi di una svolta. Tale svolta è possibile, oltre che coerente al contesto storico di riferimento, solo se relazionata alle tecnologie innovative che, secondo gli studiosi di Kondratiev, sono in fase di sviluppo e prima applicazione e, secondo il *The Economist*, sono a disposizione ma latenti. Il riferimento è, in questo caso, esplicito e diretto verso le nuove forme di progetto e i nuovi strumenti per l'organizzazione del processo edilizio. Tutto ciò trova riscontro nella nuova esigenza di sostenibilità ambientale dell'industria edilizia.

In conclusione: la linea del tempo qui proposta non è esaustiva e non è una raccolta di nozioni. La linea del tempo è stata sviluppata inseguendo l'obiettivo di organizzare una serie di appunti per meglio comprendere la storia dell'acciaio e dell'industrializzazione del suo impiego nell'ambito delle costruzioni; una storia che, di volta in volta, si rivela figlia di curiosi aneddoti, catalizzante una storia più nota o sottesa ad alcune politiche nazionali. Una storia, riassunta nelle pagine che seguono, con l'augurio che possa essere utile a guardare verso il futuro.

1709

Il 25 gennaio, Abraham Darby I, a Coalbrookdale nello Shropshire, riesce per primo ad ottenere 4 t di ghisa da minerali di ferro utilizzando non più carbone di legna ma **carbon fossile** sia pure preventivamente trattato sotto forma di carbon coke. Darby I è un pioniere dell'industria siderurgica e il capostipite di una dinastia di fonditori che hanno caratterizzato il primo periodo della rivoluzione industriale inglese e la storia della siderurgia.

1723

Viene promulgato un decreto del re di Francia secondo il quale serviva il **permesso del re** per operare nell'industria siderurgica. Questa attività era una delle poche concesse a chi aveva titoli nobiliari, d'altro canto se il padrone della forgia avesse abbandonato l'attività anche il titolo nobiliare avrebbe dovuto essere ceduto. Questo accadeva perché l'unica attività considerata degna di un nobile era l'arte della guerra e le ferriere e le

forge erano attività produttive strettamente legate all'industria bellica.

1725

G. B. Vico scrive e pubblica **Scienza Nuova**.

1735

Abraham Darby II fornisce metallo a Thomas Newcomen per la fabbricazione delle prime **macchine a vapore**. Queste stesse macchine a vapore vengono utilizzate nelle fonderie Darby per insufflare aria nell'altoforno, in modo da aumentare la combustione e la purificazione del ferro (migliorandone la qualità); in questo modo Darby II sostituisce definitivamente il carbone di legna con il carbon fossile. Questo nuovo metodo, però, si diffonde con molta lentezza tanto che ancora nel 1747 Coalbrookdale è l'unico forno in cui il minerale viene trattato esclusivamente con carbon fossile e con carbone coke.

1742

Luigi Vanvitelli alla fine del 1730 divenne "ar-

chitetto revisore delle misure" della fabbrica di San Pietro a Roma per cui si occupò del consolidamento della cupola michelangiolesca (1742-1748). Aggiunse sei anelli di ferro fucinato a rinforzo della cupola per sopperire alle deficienze statiche del tamburo e dei contrafforti, bloccando la spinta della cupola e neutralizzando quindi l'inadeguatezza del tamburo e dei contrafforti.

1747

Appare la prima relazione sul nuovo processo industriale del Darby (che determinò il dominio dei Darby nella fase iniziale della produzione siderurgica in scala industriale). In tale relazione Abram Darby III rendeva di pubblico dominio le tecniche utilizzate a Coalbrookdale, nella prima fonderia per la lavorazione del ferro fuso in barre che utilizzava come combustibile il **carbone minerale** (coke) anziché la legna. Questo tipo di lavorazione si dimostrò subito la più conveniente in quanto permetteva una maggiore altezza di carico e si diffuse rapidamente a tutti gli altiforni

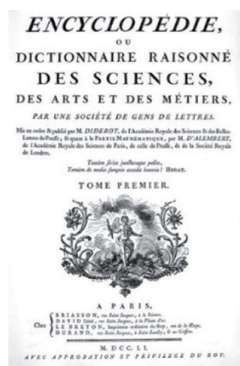
aumentandone la produttività (non si formava cenere e l'aria necessaria alla combustione circolava più facilmente, ciò favoriva la fusione a temperature più alte e la decarburazione del metallo).

L'intenso sfruttamento delle risorse dell'Hayange (Francia) porta gli industriali ad ampliare le loro attività minerarie nel Longwy (poco più ad ovest). I contadini si appellano alla Corte Finanziaria di Bar e ottengono l'imposizione di limiti al disboscamento messo in atto dagli industriali: quei boschi infatti erano utilizzati come pascoli e una loro riduzione avrebbe di certo creato forti danni alla loro economia. Poco dopo anche l'inquinamento delle acque del fiume Fensh creò dei problemi: le periodiche morie di pesci provocarono forti diminuzioni di reddito per gli abitanti della zona. Questo condusse gli industriali a cambiare area di espansione per le loro attività: si diressero verso est dove comunque i problemi legati al legno continuavano a creare conflitti e limitazioni attraverso decreti

e norme. In Francia solo dopo il 1769 si cominciò ad impiegare il carbone minerale in alternativa al legno.

1751-1765

Vengono pubblicati i primi 17 volumi dell'Encyclopédie edita da D'Alembert e Diderot. A questi seguono 11 volumi di illustrazioni, 5 di materiale supplementare e 2 di indici. A questo ambizioso progetto collaborarono i più prestigiosi intellettuali del tempo, come Voltaire e Rousseau.



1757

Subito dopo lo scoppio della guerra dei Sette Anni lo stato francese invia lo scienziato e ingegnere minerario Gabriel-Jean Jars a condurre uno **studio sulle**

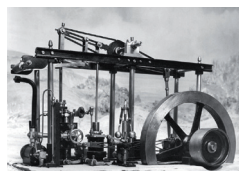
miniere di ferro e sulle fonderie di Boemia, Ungheria, Tirolo e Sassonia. L'obiettivo era la riorganizzazione della produzione del ferro nella Francia centrale e orientale sulla base delle best practices imparate all'estero.

1764

J. J. Winckelmann scrive e pubblica la *Storia Sociale dell'Arte*.

1769

James Watt inventa la sua prima macchina a vapore, alla base delle sue ricerche c'era l'analisi delle perdite di vapore dalla macchina di Newcomen, la prima applicazione del vapore ad un processo industriale. La macchina di Newcomen era una pompa a pistone azionata da un motore a vapore a condensazione interna mentre la macchina di Watt aveva un condensatore separato dal cilindro, in modo da



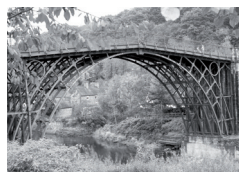
ridurre le perdite di vapore. Nel 1774 Watt inizia a collaborare con Matthew Boulton, che una decina di anni prima aveva fondato una fonderia; nel 1781 i due misero a punto una gigantesca pompa a vapore che Watt brevettò nel 1782 e che Boulton vendette a Wilkinson nel 1783.

François Ignace de De Wendel collabora con Gabriel-Jean Jars e inaugura ad Haiange il primo forno a coke della Francia.

1775-1779

Abraham Darby III continua l'attività di famiglia a Coalbrookdale e avvia la fabbrica alla produzione di rotaie. È anche uno dei principali sottoscrittori per la realizzazione del **ponte sul fiume Severn**, la più grande costruzione in metallo mai realizzata prima d'allora, opera realizzata su progetto di Thomas Farnolls Pritchard a partire da un'idea di John Wilkinson. La struttura è data da un arco semicircolare di circa 31 metri di corda e circa 12 metri di monta, l'arco è formato da cinque costole e

la struttura ha un peso complessivo di 378 tonnellate. Il ponte è ancora oggi visibile (e utilizzabile) nella cittadina di Ironbridge.



1779

Luigi XVI aveva da tempo incaricato l'ingegnere minerario Gabriel-Jean Jars di riorganizzare la produzione del ferro nella Francia centrale ed orientale sulla base delle informazioni che aveva raccolto nei suoi anni di viaggi all'estero: l'obiettivo era rifornire la regia manifattura di armi. A tal fine fu chiamato in Francia l'inglese William Wilkinson, fratello del pioniere della fusione con il carbon coke, John Wilkinson; egli diede parere favorevole per la realizzazione di una ferriera a Le Creusot, un grande impianto di altiforni "all'inglese" che però non riusciva a produrre consistenti quantità di metallo. François Ignace De Wendel entrò nelle trattative tra lo stato francese e Wilkinson

e definì l'importanza della **costruzione di nuovi altoforni a coke**. Poiché lo stato non era in grado di finanziare questo progetto, fu De Wendel a pagare e in cambio ebbe in concessione tutti gli impianti per quindici anni: questo divenne uno dei maggiori centri siderurgici in Francia.

1776

Adam Smith scrive e pubblica **“Ricerche sopra la natura e la causa della ricchezza delle nazioni.”** Nello stesso anno il Congresso di Filadelfia approva la Dichiarazione di Indipendenza degli Stati Uniti, nel 1783 questa viene riconosciuta (con la pace di Parigi).

1776

Per la prima volta nella storia Charles Louis Aubry propone l'impiego di una **struttura reticolare** per la realizzazione di un ponte.

1787

Victor-Nicolas Louis comincia a ricostruire

il **tetto del Théâtre Français** (Parigi) che era stato distrutto in un incendio nel 1781. La costruzione (conclusa poi nel 1790) prevede l'impiego di strutture in ferro battuto per la realizzazione di una sorta di armatura a sostegno del soffitto costruito con terracotta. Queste sperimentazione era volta a ridurre il rischio di incendio connesso all'utilizzo di strutture lignee e il disegno complessivo della copertura mostra una conoscenza intuitiva del momento di inerzia, non ancora formulato scientificamente.

John Wilkinson costruisce quello che, probabilmente, fu il primo **battello in metallo**. Fu varato sul fiume Severn e battezzato con il nome “Trial”: misurava 21,3 metri di lunghezza, pesava 8 tonnellate ed era interamente rivestito di lamiere di ferro rivettate tra loro. Dopo il Trial, Wilkinson costruì altri battelli (forse tre) migliorandone progressivamente le caratteristiche tecniche: di queste realizzazioni, sebbene siano giunte a noi pochissime informazioni di dettaglio, si può intuire il valore

dal punto di vista della ricerca applicata in quanto Wilkinson era ben consapevole che ogni battello in metallo gli costava circa tre volte un analogo battello realizzato in legno.

Nell'estate la crisi finanziaria in Francia si fa decisamente pesante: lo stato non garantisce più i fondi promessi alle industrie e alcune fonderie falliscono, la produzione diminuisce rapidamente. È la bancarotta dell'ancien régime.

1789

Il feudalesimo in Francia diviene una questione scottante e le famiglie della siderurgia, ben collegate con la nobiltà, divengono altamente vulnerabili.

Con la rinnovata opportunità di manifestare, i contadini della valle del Fensh tornarono a protestare per l'**inquinamento dell'acqua** illustrando i danni all'economia causati da «una perdita di animali, sterilità e aborti di vacche e cavalle, a causa delle correnti del fiume da parte della fonderia».

1793-1796

I problemi dimensionali legati alla produzione, al trasporto e alla messa in opera delle strutture in metallo portano a realizzare la campata del ponte di Sunderland, sul Wear, impiegando dei **pannelli in ferro** con funzione di cunei di volta. La storia di questo ponte è molto particolare: Tom Paine (che diventerà famoso come scrittore politico) aveva progettato un ponte sul fiume Schuylkill per la città di Philadelphia, nel 1786 si spostò in Inghilterra per brevettare il disegno per costruirne i pezzi al Rotherham Ironworks. Era il 1789 e i pezzi erano a Paddington, esposti al pubblico a pagamento, quando scoppiò la Rivoluzione Francese: Paine partì per Parigi e lasciò il ponte nelle mani dei creditori, così i pezzi furono rilevati da Rowland Burdon che vi costruì il ponte di Sunderland (vicino a Newcastle).

1794

Dopo la proclamazione della Repubblica

Francese le famiglie che avevano l'oligopolio delle lavorazioni metalliche (in buona parte nobili o legate alla nobiltà) si ritirano in pochi e piccoli impianti (o all'estero). Poche industrie francesi lavorano ancora, spesso gestite da donne (considerate meno pericolose dei loro mariti) e quasi esclusivamente per dare continuità alle indispensabili **forniture belliche**.

1795-1796

Il Consiglio delle Miniere francese suggerisce la vendita delle proprietà pubbliche, tale scelta è motivata dal **costo del ferro**, triplicato, e dalla scarsa (e quindi inefficiente e costosa) manodopera specializzata.

1801

M. Boulton e J. Watt realizzano la **filanda di Salford** (Manchester). L'edificio ha sette piani e struttura portante mista formata da murature perimetrali esterne in mattoni, pilastri interni in ghisa e travi in acciaio. Le travi hanno sezione a T rovescia, ottimale per offrire l'imposta alle

voltine in laterizio del soffitto; i pilastri sono cavi, a sezione circolare e connessi tra loro con giunti a bicchiere che riprendono fedelmente le connessioni tra le tubazioni in ghisa utilizzate per la realizzazione degli acquedotti. Essendo il controventamento assicurato dalla muratura perimetrale, la colonna sopporta solo sforzi assiali: per questo motivo questa soluzione strutturale rimase insuperata e quindi spesso ripetuta per oltre mezzo secolo.

1802-1817

Pubblicazione (in 5 volumi) del **“Traité théorique et pratique de l'art de bâtir”** di Jean-Baptiste Rondelet. Tra il 1810 e il 1881 furono effettuate 16 ristampe dell'opera che, per quasi un secolo, svolse un ruolo fondamentale nella conoscenza di tutte le questioni di edilizia. Nel capitolo “Opere di feramenta” vengono trattati ancoraggi, collegamenti e capriate in metallo; viene mostrato il progresso tecnico degli elementi di fabbrica in ghisa e lo spettacolare impiego del ferro nella costruzione di ponti. Alcune

tavole sono dedicate al ponte di Coalbrookdale e al Pont des Arts di Parigi. I disegni che rappresentano le opere in termini più generale vengono integrati da dettagli che descrivono giunti e punti di imposta.

1805

Iniziano gli investimenti della **famiglia Haniel** nell'industria mineraria: le scelte di questa famiglia incideranno sulle sorti del settore minerario e di molte politiche connesse a questo così come l'industria mineraria determinerà le fortune della famiglia.

1807

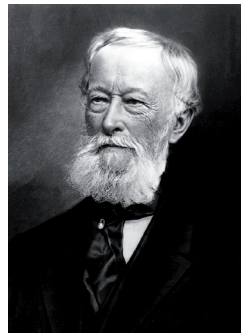
Dopo alterne vicende la famiglia De Wendel ottiene il permesso di costruire un **laminatoio per lamiere sottili** lungo il fiume Fensh, vicino ad Hayange. Successivamente venne acquisita e annessa al laminatoio una preesistente e vicina fonderia. Tutto ciò fu possibile grazie ai prestiti bancari e non più grazie alle fortune di famiglia, come accadeva prima della

Rivoluzione Francese.

Ugo Foscolo scrive e pubblica “I Sepolcri”.

1811

Friedrich Krupp avvia ad Essen un impianto per la fabbricazione dell'acciaio fuso al crogiolo e, successivamente, di acciaio inossidabile (ma ebbe scarso successo). Il figlio Alfred (nato l'anno successivo la fondazione dell'attività) in seguito prese la direzione della ditta paterna e riuscì in pochi anni a migliorare la fabbricazione dell'acciaio; in particolare, nel 1847, fabbricò un cannone e avviò così uno dei rami di produzione che rese la Krupp famosa in tutto il mondo.



Telford introduce i **timpani reticolari a collegamento fra arco e impalcato** affrontando

tando così il problema dell'irrigidimento e della collaborazione strutturale, problema sinora insoluto. Questo influisce enormemente nell'evoluzione strutturale dei ponti.

1813

Madame de Stael pubblica "Della Germania", manifesto del Romanticismo europeo.

1814-1815

Estromesso Napoleone Bonaparte (nel 1814 si apre il congresso di Vienna) e dopo la Restaurazione, l'**industria siderurgica francese** si trova ancora in condizioni precarie ed è lontana dalle evoluzioni e dalle eccellenze riscontrabili del resto d'Europa.

1816

François De Wendel va in Inghilterra per apprendere nuove tecniche ed **assumere manodopera specializzata** (in questo è fortemente osteggiato dal regno inglese). Purtroppo gli operai specializzati inglesi non sem-

pre rimanevano a lavorare presso la famiglia De Wendel, in Lorena, e non sempre mantenevano il segreto sulle tecniche di lavorazione che la famiglia cercava di introdurre in Francia: molti di loro si spostarono nelle Ardenne portando con sé molte informazioni sui nuovi macchinari inglesi.

1817

James Watt collauda sul Reno **un battello in metallo con motore a vapore**, in questa occasione conosce gli Haniel che, una decina d'anni prima, avevano cominciato a investire nell'industria siderurgica.

1818

Thomas Telford, ingegnere scozzese, realizza un ponte sospeso sul Menai. Il ponte ha luce di 176 metri e fu costruito con sedici catene di sospensione, ciascuna costituita da 935 barre di ferro forgiato (oggi in acciaio): l'unico elemento stabilizzante la costruzione è il **peso delle catene**. Due anni dopo Telford divenne il primo presidente della Institution of Civil Engineers, a Londra.



1821-1822

All'inizio del 1800 la famiglia De Wendel non godeva di un'ottima situazione finanziaria: la Francia era una nazione votata all'agricoltura e non era presente una forza lavoro specializzata in siderurgia. François De Wendel ricopriva, nel frattempo, ruoli politici (era sindaco di Hayange e, più tardi, membro del consiglio generale del dipartimento della Mosella) che accrebbero di rilevanza dopo la Restaurazione. Come rappresentante del consiglio generale delle manifatture lavorò affinché lo stato francese applicasse delle misure protezionistiche volte a escludere dal commercio il ferro svedese e inglese, in questo modo **il ferro francese aumentò il proprio prezzo** proprio in un periodo in cui la domanda di metallo per l'industria bellica era in crescita costante e ci si avviava anche la costruzione di una

nuova rete ferroviaria, nuove condotte d'acqua e illuminazioni a gas.

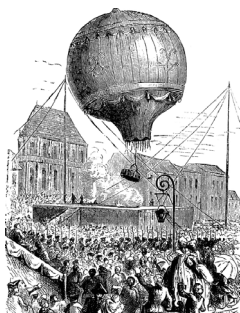
1823

John Cockerill realizza in Belgio (a Searing) un impianto di lavorazione dei metalli che applica tutte le tecniche allora in uso in Inghilterra. Costruì un motore a vapore e poi un **altoforno**. Sperando in un rapido sviluppo della rete ferroviaria, Cockerill investì nel progetto molti capitali ma la domanda di metallo tardò ad aumentare e lo stabilimento fu chiuso nel 1839, la rete ferroviaria nazionale fu ampliata solo successivamente.

1824

Prima esecuzione della **Nona Sinfonia di Beethoven**.

Marc Séguin (nipote di Joseph ed Etienne de Montgolfier, diventati celebri nel 1783 per la realizzazione della mongolfiera) realizza sul Rodano **un ponte sospeso a cavi metallici**: alla catena sono collegati i cavi metallici che sorreggono l'alta e rigida trave reticolare in legno serrata da



tiranti metallici e irrigidente tutta la struttura (sul modello dei ponti nordamericani). Tra il 1835 e il 1837 lavorò anche in Italia e realizzò a Firenze due ponti sospesi a canapi di ferro: quello di San Ferdinando (presso San Niccolò) e quello di San Leopoldo (presso le Cascine).

1827-1830

In Inghilterra si studia la sezione ideale delle travi in metallo e, in particolare, si sviluppa la sezione asimmetrica con un rapporto tra le ali di 6:1 (in cui se l'ala superiore misura 1, quella inferiore misurerà 6, in modo inversamente proporzionale alle resistenze della ghisa in fase di compressione e tensione). Tale proporzione deriva dalla formula di Hodgkinson, che ha il merito di fornire ai progettisti un metodo analitico per stabilire la

dimensione delle travi in ghisa in modo da evitare un'eccessiva forza di trazione. Questa sezione viene utilizzata sino alla metà del 1800, coprendo luci sino a 15 metri.

1829

A Parigi comincia la costruzione del **ponte degli Invalidi**, un'opera di Claude-Louis Navier, uno dei padri della moderna scienza delle costruzioni. La costruzione venne interrotta nel 1835 prendendo come pretesto un dissesto negli attacchi delle funi: i maligni suggeriscono che i falsi discorsi scientifici servirono a coprire dei semplici interessi commerciali, utili a realizzare un ponte tradizionale. Navier morì l'anno successivo, il 21 agosto del 1836, si dice per il dispiacere di non veder realizzato il suo progetto. «Un ponte sulla Senna, che con titolo malaugurato doveva dirsi degli Invalidi, un ponte sospeso a catene di ferro sopra colonne isolate [...], quell'opera andò fallita, e si ebbero a demolire le fabbriche già innalzate, ed a sgomberarle de'tanti materiali le sponde. E pure ci si erano spesi

oltre due anni di assidua fatica, e i lavori delle pietre e del ferro apparivano bellissimi!» (1833) Su disegno di questa opera mai compiuta fu successivamente realizzato (nel 1832) il ponte sospeso Real Ferdinando sul Garigliano, del Regno delle Due Sicilie.

Pierre - François - Léonard Fontaine costruisce la Galerie d'Orléans nel Palais-Royal di Parigi, questo edificio viene spesso preso a riferimento per riflettere sulla storia dello **sviluppo urbanistico** della metropoli francese in relazione con gli sviluppi dell'innovazione tecnologica. L'adozione di nuovi materiali o di soluzioni insolite incide sul gusto estetico e sulle abitudini socialmente condivise: «In tarda età anche Fontaine, uno dei fondatori dello stile impero, si convertì al nuovo materiale» (Giedion, *Bauen in Frankreich*) realizzando il modello dei futuri centri commerciali e amministrativi che si diffonderanno in tutta Europa.

1832

Henry Rouhault costruisce **le serre dell'Or-**

to Botanico di Parigi con intelaiatura in ferro e chiusura in lastra di vetro. Bruno Zevi commenta questo prototipo di serra ottocentesca dicendo che «ormai gli architetti non riuscivano più a ricoprire con decorazioni posticce le invenzioni degli ingegneri».

1833

Jean-Baptiste Rondelet, nel suo Trattato teorico e pratico dell'arte di edificare, paragona il ferro al legno e propone soluzioni in cui il secondo materiale viene impiegato al posto del primo. In particolare, al capitolo dedicato alle «Travi armate» scrive: «Siccome i legnami di grande dimensione sono rari e carissimi, e in generale di qualità meno sicura, in ragione della maggiore età degli alberi, si è immaginato di supplire ad essi nelle costruzioni, col mezzo di armature che riuniscano la solidità e l'economia» (1833).

1836

Gli Shneider rimettono in funzione i vecchi impianti di Le Creusot gra-

zie al sostegno finanziario della banca Seillière. Contemporaneamente i De Wendel creano un sistema salariale che prevede un supplemento per l'anzianità degli operai (una mensilità in più dopo il cinquantesimo anno d'età), **un sistema pensionistico** per gli operai più meritevoli, un fondo d'assistenza per malattie e infortuni e, infine, un sistema di scuole gestite da preti e da suore per ragazzi e ragazze.

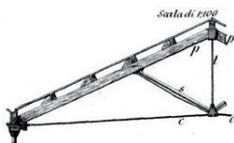
1837

Vittoria diventa regina della Gran Bretagna.

1840

Per eliminare la spinta della copertura a falde viene realizzata la prima **capriata Polonceau**, chiamata così dal nome di Jean-Barthélémy Camille Polonceau, l'ingegnere inventore della stessa. Queste travi permettono di coprire luci fino a 14-15 m, mediante la combinazione di due travi armate ferro-legno collegate tramite una cerniera metallica a tre vie: in questo tipo di trave capriata, simile a una

trave reticolare, il monaco è diviso in due e sono moltiplicate le saette di sostegno dei puntoni.



Viene prodotta la prima **lamiera ondulata e zincata**. Le lastre hanno ondulazione alta o bassa a (seconda del carico) e vengono impiegate nella costruzione di case, per le pareti e le coperture oltre che per i solai interpiano. In poco tempo una serie di produttori specializzati offrono numerosi modelli di abitazioni residenziali di varie dimensioni e prodotte interamente in ferro. Un carattere importante di questi edifici è che vengono venduti scomposti in elementi singoli, trasportabili senza problemi e che possono essere montati da lavoratori non specializzati. Viene ampiamente proposta per la colonizzazione dell'Africa: «[...] l'abitazione per l'Africa è circondata da tutti i lati da ampie zone d'ombra ma, per la sua tipologia, è particolarmente adatta per le zone tropicali dove, grazie all'elevata

conducibilità termica del materiale, si raffredda rapidamente dopo il tramonto del sole, garantendo quindi temperature notturne sempre piacevoli. Inoltre a quelle latitudini le abitazioni di questa fattura garantiscono il vantaggio di non poter essere distrutte facilmente né dalla forza bruta né dagli animali e non consentono l'ingresso di fastidiosi insetti [...]» J. Faulwasser, *Technik des Bauwesens*, in: "Das Buch der Erfindungen Gewerbe und Industrien", Lipsia 1896 (pag. 386). Le proprietà di questo nuovo bene di esportazione di ferro, sottolineate con parzialità, non cambiano il fatto che si tenesse poco conto delle condizioni climatiche e dei bisogni locali. La capanna di lamiera ondulata doveva ancora diventare il sinonimo mondiale delle baraccopoli dei quartieri poveri.

Giorgio Enrico Falck si stabilisce a Dongo (lago di Como) e comincia a lavorare stabilmente con la **società di Rubini** che fu rinominata Rubini, Falk, Scalini e Comp. Falk vi investì pochi fondi ma apportò alla società una grande

esperienza tecnica (era un ingegnere meccanico specializzato in siderurgia e con esperienze di lavoro in Alsazia). La necessità di importare materie prime, di cui l'Italia scarseggia, non fermò i due: Falk era un convinto sostenitore dell'innovazione e della modernizzazione della produzione in fabbrica, in particolare l'adozione del "sistema inglese" (che impiegava aria calda e gas per scaldare i forni di pudellaggio), la produzione di lamiera e l'impiego di torba come combustibile alternativo al carbone di legna (vicino a Torno c'erano molti vasti giacimenti di torba).

1842

Il 23 giugno l'arciduca Ranieri, viceré del Regno Lombardo-Veneto, inaugura uno dei primi ponti in ferro costruiti a Milano (in contrada S. Damiano, all'altezza dell'attuale via Mascagni). L'architetto è Tettamanti e la realiz-



zazione è ad opera di Rubini e Falck. La costruzione viene abbellita dal quattro sirenette di ghisa che tengono in mano un remo (chiamate "sorelle Ghisini", perché realizzate in ghisa). Nel 1930 i Navigli vennero coperti e il ponte (con le sue sirene) venne smontato e rimontato in Parco Sempione (dove è ancora oggi).

In questo periodo il più importante produttore di coke e di metalli del bacino dalle Ruhr è Franz Haniel: a partire dal primo forno realizzato nel '21 dedicò tutta la vita al miglioramento dell'efficienza dei suoi impianti, sempre prendendo a riferimento il modello inglese che collegava l'estrazione del carbone alla produzione del ferro. **Il problema più rilevante era la qualità del carbone** che purtroppo, nel bacino della Ruhr era molto scarsa.

I prezzi del ferro inglese scendono e i produttori renani entrano in agitazione: inviano a Berlino dei portavoce chiedendo dazi doganali per proteggere le produzioni nazionali.

1846-1850

Costruzione del **ponte Britannia**, progettato da Robert Stephenson. Il ponte è realizzato con una trave tubolare continua su appoggi, la luce delle due campate centrali era di 146 m, quella delle campate laterali era di 70 m. La sezione del ponte era tubolare chiusa a forma rettangolare, con piattabanda compressa cellulare; all'interno della sezione transitava il convoglio ferroviario. «Gli imponenti tubi del ponte Britannia si dimostrarono talmente robusti durante l'installazione che non fu necessario appendere delle catene di sospensione supplementari dalle torri, la cui altezza a quel punto divenne ingiustificata [...]. Durante le prove di collaudo, l'incurvatura del ponte era minima e la riuscita strutturale del metodo fu assoluta. Infatti, il ponte sarebbe ancora oggi in funzione sullo stretto di Menai, se non fosse per il calore di un incendio (scatenato inavvertitamente in una copertura di legno che era stata aggiunta per protegger-

re il ferro dalla fuggine) che nel 1970 deformò i tubi in ferro battuto in modo talmente drammatico che si decise di ricostruire il ponte sotto forma di arco. Solo una delle sezioni dei tubi Britannia originali scampò all'incendio» (Petroski, 1994). Questo ponte offre l'occasione per una ridefinizione dei criteri organizzativi del grande cantiere, sviluppando la distinzione fra la costruzione a piè d'opera di parti del manufatto e le fasi del montaggio.



1848

Nel bacino della Ruhr gli operai sono in rivolta. La Jacobi, Haniel & Huyssen risponde con **il potenziamento e il coordinamento del welfare aziendale a favore della forza lavoro**: vennero istituiti dei fondi per malattia ai quali gli operai potevano accedere previa versamento mensile di una piccola somma.

1849



Isambard K. Brunel realizza a Chepstow **un ponte a telaio lenticolare** che segna un'ulteriore tappa nell'evoluzione delle strutture in metallo: il ponte ferroviario è sostenuto da due tubi in ferro realizzati per tronconi a piè d'opera e giuntati tra loro in modo tale da poter sorreggere, appeso a cavi, il piano ferroviario realizzato come una piastra.

1850

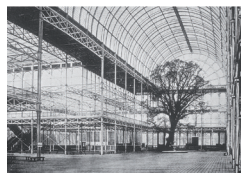
Lo sviluppo economico italiano per gran parte dell'Ottocento è **una storia di arretratezza** e di scarsa dotazione di risorse per la tecnologia della rivoluzione industriale (non ci sono grandi giacimenti di ferro e di carbone). Carlo Cattaneo sviluppa dunque una teoria secondo la quale era l'intelligenza a costituire il principio essenziale dell'eco-

nomia pubblica. Erano dunque necessari meccanismi istituzionali per superare l'arretratezza.

Riprendono le **attività produttive nell'area di Hayange**: a mano a mano che l'economia si riprende dagli sconti rivoluzionari, l'attività aumenta.

1851

Prima esposizione universale: a Londra viene realizzato il **Crystal Palace**. L'unità base che costituiva l'edificio era un quadrato del lato di 24 piedi (circa 7,3 m). La pianta del corpo centrale dell'edificio era un grande rettangolo costituito da 77x17 di queste unità, la costruzione raggiungeva una superficie totale di 84.000 m². L'uso del ferro permise di evitare grossi pilastri e muri portanti, perciò quasi tutte le chiusure esterne potevano essere realizzate con lastre di vetro. Inoltre, la produzione industriale degli elementi (sia in metallo che in vetro) fa-



cilità enormemente la costruzione e permise di trasformare il cantiere in una catena di montaggio. Dopo l'esposizione il Palazzo viene smontato e rimontato a Sydenham Hill, dove restò fino al 1937, quando fu distrutto da un incendio.

1852

Barlow propone una **trave in ghisa rinforzata con armatura** con due barre di ferro nell'ala inferiore: questo ne aumenta la resistenza a trazione consentendo un aumento del carico del 50% e la diminuzione della differenza dimensionale tra le ali come calcolata con la formula di Hodgkinson (elaborata 20 anni prima). La proposta di Barlow viene però subito dimenticata perché diviene sempre più frequente l'impiego di sezioni in lamiera composte mediante chiodatura.

Stephenson inizia la progettazione del **primo ponte costituito da archi di ghisa con catena di ferro** (si tratta di travi a profilo parabolico, dette bow-string). Il ponte, realizzato a Newcastle, è noto

con il nome di "High Level" e, nel 1849, la sua struttura verrà perfezionata irrigidendola con una trama di diagonali tra arco e tirante (come proposto dagli studi di Telford del 1811 e realizzato nel ponte in lamiera realizzato da Brunel a Windsor).

Isambard Kingdom Brunel progetta e inizia la costruzione del **ponte a fasci funicolari** in ferro sul fiume Avon, a Clifton, vicino a Bristol. Il ponte, di 214 m di luce, è considerato uno dei capolavori dell'ingegneria ottocentesca, la sua realizzazione verrà completata 5 anni dopo la morte di Brunel.

Il ponte Britannia ha dei problemi statici: «[...] per la determinazione delle azioni interne nella struttura iperstatica intervenne direttamente B. Clapeyron che studiò lo schema a trave continua con l'equazione dei tre momenti da lui sviluppata.» Per risolvere i **problemi di instabilità delle lamiere** N. Jourawsky costruì un modello sperimentale in scala del ponte. «Il ponte Britannia fu anche di stimolo per le ricerche sulle giunzioni chiodate,

sull'influenza del vento e sull'effetto delle azioni termiche».

Luigi Bonaparte diviene Napoleone III, imperatore di Francia.

Una linea ferroviaria unisce Francia e Germania, nel 1859 vengono raggiunti anche gli stabilimenti in Lussemburgo e, un anno dopo, i bacini carboniferi belgi.

Le suore della cittadina di Sterkrade si oppongono alla costruzione di un altoforno: il processo estrattivo del carbone avrebbe avvelenato la fauna ittica e **reso impossibile l'uso dell'acqua** per fabbricare la birra e lavare i panni.

1853

Elisha Graves Otis deposita il brevetto del **primo ascensore munito di un sistema di sicurezza** destinato a impedire la caduta violenta della cabina in caso di guasti o rotture ai cavi. Questa innovazione è stata presentata al pubblico alla Exhibition of the Industry of All Nations di New York (1853) e ha visto eclatanti ap-

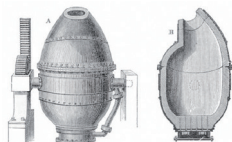
plicazioni nel 1889, in occasione della presentazione della Tour Eiffel a Parigi; questa invenzione agevolerà lo sviluppo degli edifici a scheletro in metallo.

1855

A soli quattro anni di distanza dall'esposizione di Londra, ha luogo l'Esposizione Universale di Parigi: i parigini rivaleggiano con il Palazzo di Cristallo costruendo l'avveniristico **Palais de l'Industrie**, con pilastri in ghisa e travi in ferro a traliccio per la copertura. L'edificio fu progettato dall'architetto Jean-Marie-Victor Viel e dall'ingegnere Alexis Barrault.

1856

Henry Bessemer inventa **il convertitore Bessemer**, un particolare forno (a forma di pera) per produzione industriale dell'acciaio partendo dalla ghisa fusa prodotta nell'altoforno:



è stato il primo forno a permettere la produzione dell'acciaio in un'unica fase di lavorazione.

1857

La Rotonda della British Museum Reading Room, a Londra, fu completata in quest'anno su progetto dell'architetto Sydney Smirke, fratello di Robert, noto pittore. La sala di lettura è a forma circolare ed è coperta da **una cupola in ferro**. Oggi la grande corte in cui si trova la sala di lettura è coperta dalla cupola di vetro di Norman Foster, realizzata in un progetto di riapertura al pubblico di uno spazio che per molti anni è stato adibito a magazzino.

Napoleone III inaugura **la nuova cittadina del ferro** (ora Stirling-De Wendel). Era stata progettata come "città ideale", un modello di vita industriale, religiosa e sociale: cinque vie parallele (con nomi di santi) formavano una griglia al cui centro vi era una piazza e una grande chiesa (in quanto la coesione della popolazione doveva essere garantita dalla devozione).

1858

Brunel progetta e realizza **un'enorme trave reticolare** per la realizzazione del ponte che attraversa il fiume Tamar tra Plymouth nel Devon e Saltash in Cornovaglia (Inghilterra): è un ponte ferroviario (a binario unico non elettrificato) composto di 2 campate centrali "lenticolari con forma ovale" in ferro (lunghe 138,7 m ciascuna) e da altre 17 campate più piccole di accesso al ponte, per una lunghezza totale di 667 m. La trave reticolare viene inizialmente realizzata seguendo criteri intuitivi, privi di un preciso valore scientifico; il problema della mancanza di una strumentazione teorica che andasse oltre il consueto metodo del poligono delle forze verrà risolto a partire dagli anni '60 con i lavori di Ritter Culmann e Maxwell. Nel frattempo il ponte verrà inaugurato dal principe Alberto il 2 maggio 1959 e Brunel morirà il 5 settembre dello stesso anno.

Bessemer studia **un sistema di colata continua** e riesce ad ottenere direttamente dall'accia-

io fuso una lamiera della lunghezza di un metro circa, lamiera tutt'oggi conservata al British Museum di Londra. Questo suo studio e applicazione precorrono nel tempo l'importantissima invenzione della colata continua realizzata in America nel 1935.

1859

Emil Škoda rileva la concessione di una modesta fabbrica di macchinari di Plzeň (a 90 km a sud-ovest di Praga) dove prima lavorava come operaio: diviene così imprenditore e in breve tempo specializza la propria fonderia nella produzione di armi per l'impero Austro-ungarico e, poi, nella produzione di carri armati. Al termine della Prima guerra mondiale la Škoda convertì la produzione da bellica a civile grazie all'avvio della produzione di automobili.

Charles Darwin scrive e pubblica **"Dell'origine delle specie"**.

Durante la seconda Guerra d'Indipendenza Rubini e Falck (e la loro fabbrica) si schierano

con Garibaldi fornendo anche armi per i conflitti.

1860

In Italia ha avvio la Spedizione dei Mille con l'occupazione del Regno delle Due Sicilie da parte di Garibaldi.

Viene redatto il trattato Cobden-Chevalier per il libero scambio commerciale e il **prezzo del ferro in Francia crolla** per effetto della concorrenza inglese.

1862

La Krupp installa il primo convertitore Bessemer nell'Europa continentale.

1863

Inizia la costruzione della **Mole Antonelliana** di Torino, pensata come una sinagoga e realizzata in occasione della liberalizzazione delle religioni per scelta di Carlo



Alberto. L'equilibrio della copertura è affidato a 5 robustissime intelaiature in ferro e ad un sistema di tiranti in ferro nascosti dalla sovrapposizione di volte e nervature. Gli elementi in metallo sono una sorta di rinforzo strutturale progettato da Antonelli dopo che aveva deciso di innalzare la cupola più di quanto era stato inizialmente progettato.

Il figlio di Falck (Enrico) sposa la figlia di Rubini (Irene), l'industria viene così unificata. Gli obiettivi di sviluppo guardano all'**impiego di rottami per la lavorazione di nuovo metallo** e alle agevolazioni del commercio legate alla nuova rete ferroviaria che si sarebbe costruita per arrivare fino a Lecco (una volta che Venezia fosse stata liberata dagli austriaci). Purtroppo gli sviluppi politici resero il ferro d'oltralpe più conveniente rispetto a quello prodotto nel nord Italia: ha inizio una crisi del settore.

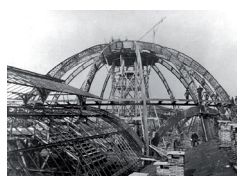
1864

Fu creato il **Comité del Forges**, presieduto da Eugène Schneider.

L'obiettivo era raccogliere informazioni sui prezzi esteri, individuare potenziali mercati e creare buone relazioni con il Governo.

1865

Sir Carl Wilhelm Siemens attorno al 1850 aveva progettato e realizzato un forno che, nel 1865, l'ingegnere francese Pierre-Emile Martin utilizzò per l'**ossidazione della ghisa**. Il forno veniva caricato con rottami di ghisa e acciaio che, portati a temperature molto elevate, perdevano il carbonio in eccesso e le altre impurità presenti nella ghisa grezza: in questo modo era possibile ottenere l'acciaio. Impiegando scambiatori di calore rigenerativi era inoltre possibile diminuire il consumo di combustibile del 70-80% rispetto quanto richiesto dai forni tradizionali.



Giuseppe Mengoni vince il concorso per la progettazione e la costruzione della **Galleria Vittorio**

Emanuele II a Milano.

Il Comune, che guardava a Londra e Parigi come esempio di urbanizzazione, di innovazione tecnologica e di cambiamento sociale, indisse un concorso internazionale al quale parteciparono 176 architetti. I capitali necessari alla realizzazione della galleria si trovarono costituendo una società e offrendo ai soci i futuri ricavi delle proprietà in costruzione; questa società fallì prima della conclusione dei lavori e il Comune di Milano assunse la proprietà della galleria e continuò a fornire il capitale necessario (con gravi ritardi e forti perdite). Mengoni morì il 30 dicembre 1877 cadendo da un'impalcatura durante un'ispezione alla cupola centrale, il complesso fu terminato poco dopo.

Dopo anni di crisi l'industria siderurgica francese riprende vigore, grazie al rinnovamento degli impianti, ora dotati di **nuovi altiforni e numerosi impianti di puddellaggio**.

1866

Gottfried Heinrich Gerber, un ingegnere bavarese,

ottiene il brevetto per il progetto di quella che ancora oggi è denominata **trave Gerber**. Questa trave viene utilizzata da Gerber per la prima volta nel ponte Sofia a Bamberg (1867).

1867

Karl Marx pubblica il libro "Il Capitale".

Viene registrato il primo brevetto del francese Monier, inventore del **cemento armato**: il brevetto descrive l'inserzione puramente esemplificativa di una rete di fili di ferro nel cemento.

1868

Il convertitore Bessemer viene per la prima volta installato anche in America.

Viene perfezionata la **trave reticolare a falce** per realizzare la copertura della St. Pancras Station di Barlow, costituita da un enorme arco con le imposte riportate al suolo e collegate con una catena situata sotto il piano della rotaia.

La Ghh (l'impresa nata dall'unione dei capitali

degli eredi Haniel) vede un periodo di grande progresso tecnico e anche di grande incertezza finanziaria. La più grande innovazione fu la **sostituzione del ferro battuto con l'acciaio**. Le fabbriche impiegavano forni Bessemer (inventati nel 1856) e il metodo Siemens-Martin a fondo aperto per la produzione di rotoli di filo.

1869

Si apre il Concilio Vaticano I, che proclama il dogma dell'infallibilità del Papa.

1870

L'American Brass & Copper Inc. inizia la produzione di tubi senza saldatura, trafilando a freddo tubi precedentemente ottenuti per fusione.

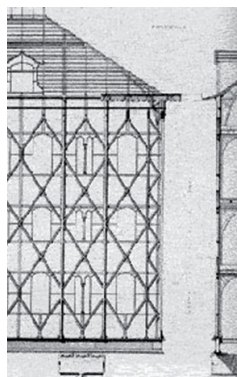
1871

Il **Trattato di Francoforte**, definito da Adolphe Thiers e dal cancelliere Otto von Bismarck, mise fine alla guerra franco-prussiana. Le conseguenze per i francesi furono pesanti:

la Francia perse molti territori e, di conseguenza, le miniere di ferro e carbone dell'Alsazia e della Lorena. Circa il 20% del potenziale di estrazione minerario e siderurgico francese andò cancellato. Ciò ebbe l'effetto di organizzare la politica francese contro i tedeschi e alimentare quel sentimento di revanche che deflagrerà con la Prima guerra mondiale.

1872

Jules Saulnier realizza la **fabbrica di cioccolato Menier** (oggi Nestlé) a Noisiel-sur-Marne, non lontano da Parigi. La facciata in mattoni nasconde una ossatura interamente metallica: un telaio orizzontale composto da quattro travi longitudinali e due trasversali, in testa alle quali si elevano i pilastri



che portano i tre piani e il tetto; travi di ferro sostengono i muri esterni, in facciata è invece visibile un reticolo di tralicci, un telaio con funzione di sostenere l'involucro in laterizio non portante e di controventare l'edificio. Questa soluzione rappresenta un primo tipo di controventamento e verrà impiegata più tardi negli edifici alti che devono resistere alla forza del vento.

1874

J. Davies e L. Strauss brevettano il primo paio di jeans.

1878

Muore Enrico Falck: è un periodo in cui l'azienda è in forte crisi ma sua moglie, ora vedova Irene Rubini Falck, chiede un finanziamento a suo padre e opera al fine di **rilanciare l'attività**. Come prima cosa Irene manda il suo unico figlio maschio, Enrico, a studiare al politecnico di Zurigo e, successivamente, a svolgere l'apprendistato in Germania, dove si specializza nella lavorazione del ferro a barre.

1879

Viene inventato il processo Gilchrist-Thomas per il **trattamento del minerale a contenuto di fosforo**. Senza questo procedimento i metalli delle cave della Lorena e della Svezia danneggiavano gravemente i rivestimenti interni dei convertitori Bessemer. L'invenzione era avvenuta in Inghilterra e quindi francesi (la famiglia De Wendel) e tedeschi (la famiglia Haniel) non poterono far altro che acquistarne i diritti.

La volatilità dei mercati e a forte concorrenza internazionale portano gli industriali tedeschi a chiedere **la protezione dello stato**. Proliferarono gli strumenti per la stabilizzazione dei prezzi e dei mercati, in particolare i cartelli, che divennero una delle caratteristiche centrali dell'industria tedesca. L'industria tedesca temeva il confronto con l'industria inglese perché soffriva della scarsa qualità dei giacimenti della Ruhr e della difficoltà di competere nell'innovazione delle attrezzature.

1880

Sydney Thomas, inglese, per trattare le ghise della Lorena, dall'alto contenuto di fosforo, decise di rivestire l'interno dei forni Bessemer con del calcare. Attraverso quello che venne così chiamato **"procedimento Thomas"** era possibile lavorare le ghise di qualsiasi tipo, anche fortemente ferrose, mentre gli scarti di produzione, il fosfato di calcio, si rivelarono preziosi per la concimazione fosfatica (che per anni portarono il nome di Scorie Thomas).

1884-1885

Una tappa decisiva per la costruzione a telaio: l'ingegnere William Le Baron Jenney costruisce l'Home Insurance Building, da molti considerato **il primo grattacielo della storia**,



distrutto nel 1931. Lo scheletro di questo edificio è costituito da elementi imbullonati la cui unione avviene per mezzo di profilati piatti, angolari e fazzoletti secondo una tecnica d'usuale impiego anche ai giorni nostri. Vengono utilizzati anche alcune barre di acciaio Bessemer, mai prima utilizzate in edilizia.

1885

Enrico Falck visita l'**E-sposizione di Anversa** e, come fece il nonno, capisce che l'unico modo per rilanciare l'industria siderurgica in Italia era investire in innovazione.

1889

Ha luogo l'Esposizione universale di Parigi: è la più importante di tutte le rassegne ottocentesche e, tra l'altro, è ricordata per la costruzione della Torre Eiffel (progettata da G. Eiffel) e della Galerie des Machines (progettata da V. Contemin, assistito da Pierron e Charton, e dall'arch. Dutert). In questa occasione si sperimentò l'uso dell'elettricità su vasta scala come **fonte di energia alternativa al vapore**.



1889-1891

Il Manhattan Building di Jenney e il Monadnock di Holabird e Roche sono edifici realizzati nello stesso periodo e, soprattutto, sono edifici che consentono di verificare gli studi sul **sistema a telaio**. I telai di questi edifici sono costituiti da una trave a doppia T alta 38 cm le cui parti terminali sono imbullonate ai pilastri per tutta l'altezza dell'anima; la funzione portante è però riferita solo ai solai ed alla copertura in quanto le murature esterne poggiano su fondazioni esterne all'ossatura. Una nota va fatta sulle scale interne del Monadnock Building: si tratta infatti del primo impiego in architettura del leggero alluminio.

1891

La Verein Deutscher Eisenhüttenleute fissa **le**

dimensioni dei profili normali, che sono tutt'ora in uso.

1892

Lo studio Burnham & Root realizza il **Masonic Temple**, un fabbricato con struttura in telaio d'acciaio. Con suoi 93 metri, fu il più alto fabbricato del tempo e venne preso a riferimento per lo sviluppo in altezza degli edifici di Chicago fino al 1920 (il piano della città prevedeva che nessun edificio potesse essere più alto di questo). La controventatura viene realizzata sino al nono piano con barre in ferro doppie poste lungo le diagonali e per lo sviluppo di due piani: questo sistema viene applicato sia sulle superfici esterne che sulle pareti del vano ascensore; in quest'ultimo le barre sono fissate alla trave mediana nel loro punto d'intersezione. Dal nono piano in poi la controventatura è eseguita piano per piano con barre poste lungo le diagonali sulle superfici esterne e dell'ascensore.

1894

A Chicago viene **sopraelevato di dieci piani**

il Reliance Building, un edificio inizialmente costruito di cinque piani. Ciò è possibile grazie alla sua struttura in metallo e alle ampie tamponature modulari. Grazie a questa sopraelevazione si dimostra il valore di una struttura aperta e, tra l'altro, trova spazio all'interno dell'edificio anche lo studio dentistico presso il quale si serviva anche Al Capone.



1896-1897

Costruzione della **grande ruota al Prater di Vienna**, alta 65 metri, tuttora esistente e in funzione. La prima ruota panoramica venne costruita dall'ingegnere George



Ferris nel 1893, in occasione dell'esposizione universale di Chicago (aveva un diametro di 76 metri e possedeva 36 carrozze, ognuna della capienza di 40 persone). Walter Basset, ingegnere e ufficiale della marina britannica in congedo, vide la ruota di Chicago e se ne appassionò: ne costruì tre, due in Inghilterra e una a Parigi. Gabor Steiner, imprenditore viennese nel settore dei divertimenti, aprì una società con Basset e, nonostante le opposizioni dell'amministrazione comunale, riuscì a realizzare la ruota al Prater: due incendi, nel 1944 e nel 1945 la danneggiarono gravemente ma venne poi restaurata e, dal 1947, non ha più cessato di funzionare (le altre ruote panoramiche dell'epoca sono andate invece presto perdute).

1898

Nello stesso anno **F. Hennebique realizza in Svizzera il primo ponte in cemento armato**.

Ernesto Stassano realizza **il primo forno elettrico ad arco per la produzione dell'acciaio**. Il forno viene realizzato modificando un forno

elettrico per la produzione di carburo di calcio e lavora grazie alla trasformazione di energia elettrica in termica (il calore viene sprigionato da alcuni elettrodi). Stassano utilizza rottame (80%) e ghisa (20%) al posto del minerale di ferro riuscendo così a ottenere acciaio di alta qualità a costi concorrenziali rispetto all'acciaio d'importazione; le ricerche di Stassano erano volte a raggiungere l'indipendenza industriale italiana, riducendo la dipendenza dell'industria italiana dall'importazione del metallo.

1899

Falck aveva capito che **l'industria italiana necessitava di investimenti di capitale** per poter competere con i trust siderurgici dei Paesi maggiori produttori d'acciaio. Illustra questa sua posizione alla riunione degli industriali siderurgici che si tiene a Roma.

Realizzazione dei **magazzini Carson Pirie e Scott** su progetto di Sullivan e Burnham. Questo edificio segna la massima evoluzione tecnologica e formale

della scuola di Chicago, nell'esposizione mondiale di Chicago del 1893 tornò infatti a prevalere lo stile eclettico e segnò il momento conclusivo della scuola di Chicago. Solo più tardi Mies Van der Rohe e gli altri esponenti della Bauhaus interromperanno il predominio dello stile eclettico per introdurre il linguaggio moderno, costituendo una seconda Scuola di Chicago.

1901

Viene creata l'**Associazione dell'Industria Metallurgica** e Falck, all'età di 35 anni, ne fu eletto presidente per acclamazione. Falck continuò a puntare sull'ingrandimento e l'ammodernamento delle acciaierie completando il primo altoforno italiano di tipo Siemens-Martin (aveva la capacità di lavorare 16 tonnellate di rottami e ghisa a contenuto di manganese); avviò anche la produzione di laminati in acciaio.

1905

Albert Einstein espone i **fondamenti della teoria della relatività**.

Come previsto da Falck la necessità di capitali per lo sviluppo della nuova industria dell'acciaio eccedeva: no qualunque somma potesse essere raccolta tra soli imprenditori privati. Sotto la tutela del Credito Italiano fu creata **la gigantesca acciaieria ILVA** che utilizzava il ferro estratto dall'isola d'Elba in impianti costieri a Savona, Piombino e Napoli. Questa fu la più grande delle iniziative industriali dell'epoca, l'Italia stava entrando nell'era della moderna Società per Azioni e Falck pensò che le opportunità finanziarie commesse alle s.p.a. rendessero possibili nuovi progressi tecnici.



La Ghh costruisce l'enorme **bacino di carenaggio di Qingdao**, in Cina. Questo cantiere mostrò la modernità dell'azienda e affermò il valore della metallurgia tedesca in tutto il mondo, anche in un contesto molto diverso (politica-

mente ed economicamente) da quello che aveva visto la nascita della Ghh e, ancor prima, l'attività degli Haniel.

1907

Pablo Picasso dipinge **Les Demoiselles d'Avignon**.

1909

Francesco Tommaso Marinetti pubblica il **Manifesto Futurista**.

1910

Negli USA Henry Ford inizia la **produzione in serie di automobili**.

1911

Walter Gropius e Adolf Meyer progettano e realizzano le **Officine Fagus ad Alfeld an der Leine**, una fabbrica le cui pareti esterne vennero risolte con una facciata di vetro e acciaio (che oggi chiameremmo "curtain wall"), in-



terrotta esclusivamente dai pilastri strutturali.

1914

Scoppia la **Prima guerra mondiale**.

1919

In India, Gandhi lancia una **campagna di disobbedienza civile**. In Germania, a Weimar, Walter Gropius fonda la Bauhaus.

1920

L'ILVA fu ristrutturata con l'emissione di nuovo capitale (e il conseguente **nuovo indebitamento**).

1921

Mies van der Rohe partecipa al concorso per un grattacielo sulla Friedrichstrasse: ha una pianta cristalliforme e richiama il sogno espressionista dell'architettura del vetro, è il primo di una serie di progetti mai realizzati ma che preannuncia l'**impiego del vetro con grandi superfici** (come avverrà nel 1958 con il Seagram Building, realizzato a

New York assieme con Philip Johnson).

1922

Marcia su Roma dei fascisti, e Mussolini diventa capo del governo.

Walter Gropius, parlando della sua **casa sperimentale di Stoccarda**, scrive: «[...] la fabbricazione di queste abitazioni non può avvenire in cantiere, ma deve essere eseguita in officina. Impiegando i materiali industriali più preziosi si devono ridurre peso e massa del volume edilizio, mentre si aumentano stabilità e isolamento, tanto che diventerà possibile trasportare su pochi camion dal luogo di produzione al cantiere una casa unifamiliare scomposta in singoli elementi da montare, ed erigerla nel più breve tempo possibile, indipendentemente dalla stagione e dalle condizioni climatiche». La struttura portante della casa è composta da profili laminati. L'isolamento termico è garantito da tavole di sughero, il rivestimento esterno è fatto da lastre di cemento-amianto. Per le pareti interne vengono impiegate,

secondo le richieste, lastre di fibre di canna da zucchero, lastre di compensato o tavole di cemento-amianto. Il valore di trasmissione del calore della parete esterna corrisponde a quello di una parete di laterizio di circa 160 cm di spessore prodotta "con la normale cura". Nella sua descrizione Spiegel si esprime in maniera critica sui punti deboli strutturali costruiti dai giunti delle lastre sui profilati di acciaio, dato che in questi punti si interrompe l'isolamento. Per il suo edificio dimostrativo Gropius ha sviluppato pianta e alzato su una rigida griglia, che consente la produzione standardizzata, pur lasciando spazio alle variazioni. (Atl. Acc. p.67).

1924

Jean Prouvé realizza il **murrideau integrale**: "la parete-tenda sospesa costruita da elementi modulari, isolanti, predisposti per alloggiare i condotti per la linea elettrica e telefonica, assemblabili e producibili industrialmente", di cui la prima applicazione importante sarà la Gare Routière Citroën (alla porta della Villette) nel 1925.

1925

Gli industriali della siderurgia (Grames, Fillod, Les Forges, ecc.) creano società per la **costruzione prefabbricata metallica**, è in quest'anno che appare per la prima volta sul mercato una casa prefabbricata in metallo.

1928

Hans Spiegel, architetto, scrive il libro "Lo sfruttamento dell'acciaio" e nel capitolo "I modi per produrre appartamenti in modo razionale" analizza i metodi costruttivi tradizionali che, secondo la sua opinione, non sono più in grado di soddisfare in maniera economica il crescente bisogno di spazio abitativo. La soluzione che l'autore indica è la **costruzione industriale di appartamenti standardizzati**: «[...] Il ristagno delle vendite intervenuto dopo l'ingresso dell'industria degli armamenti ha spinto l'industria dell'acciaio a creare nuovi sbocchi". Spiegel parla del Palazzo di Cristallo di Londra, degli edifici americani con scheletro d'acciaio e dei successi

storici delle costruzioni in ferro e acciaio; mostra i più recenti esempi provenienti dall'Inghilterra, dalla Francia e dalla Germania per poi trattare le costruzioni a lamelle d'acciaio, a tavole d'acciaio, a scheletro d'acciaio e a telaio d'acciaio. Il materiale dei tipi residenziali documentati viene documentato ogni volta con una foto della struttura e dell'edificio finito. Si nota che una delle preoccupazioni principali è la somiglianza alla tradizionale casa in muratura, un fenomeno che è ancora possibile osservare nelle costruzioni prefabbricate. (Atl. Acc. p.66-67).

1929

Crolla la borsa di New York.

Ludwig Mies van der Rohe disegna la **poltrona Barcellona** in occasione dell'Esposizione universale (di Barcellona,



appunto) per la quale progetta e cura il padiglione tedesco. Nel 1953 Mies concede al suo amico Florence Knoll i diritti per produrre la poltrona Barcelona e lo sgabello. Questo design divenne subito la firma del marchio Knoll che produce ancora oggi la collezione secondo il progetto dell'architetto. La poltrona è realizzata con materiali innovativi per il design d'arredo del tempo, come le robuste lamine di acciaio curvato.

1930

Le Corbusier, assieme a Pierre Jeanneret, progetta e realizza **La Clarté**, nella parte alta del quartiere des Eaux-Vives di Ginevra. L'edificio ospita 48 tra appartamenti e uffici ed è l'unica opera di interamente in acciaio di Le Corbusier: la facciata è vetrata e continua, il tetto è libero e adibito a funzioni collettive e la pianta di tutte le unità abitative è libera proprio grazie all'impiego dell'acciaio.



Alla fiera di Milano viene presentata una casa metallica prefabbricata (**sistema Fillod**).

In occasione dell'Esposizione del Teutscher Werkbund a Parigi, Walter Gropius introduce l'**acciaio cromato nell'arredamento**.

In un volume del 1930 Hans Spiegel precisa i "**principi dell'architettura d'acciaio**". In questo compendio vengono raccolti e rappresentati tutti i più importanti dati tecnici fino a quel momento noti. Vi confluiscono anche le esperienze fatte all'estero con le costruzioni a scheletro in acciaio. Si possono già conoscere i primi tentativi di strutture leggere in acciaio. Si trova una interessante affermazione che contiene analogie con altri comparti industriali: «[...] Come una automobile è composta da elementi singoli, diversi per struttura e materiale, per i diversi compiti e diventa un veicolo finito, come nella fabbrica di automobili da diversi elementi si costruiscono in modo programmato auto di diversa qualità e costi di produzione internazionalmente di-

versi, come una medicina è composta da varie sostanze, il cui tipo e quantità vengono determinati dall'effetto, che si desidera più o meno intenso - così l'edilizia a scheletro offre all'architettura moderna la possibilità di una forma scientificamente esatta, sviluppata sistematicamente dalle funzioni e determinata dal livello dei bisogni.» (Hans Spiegel, *Der Stahlhausbau 2*, Berlino 1930, pag. 62).

1931

L'architetto Pierre Charreau realizza la "casa di vetro" per il dottor Dalsace in rue Saint-Guillaume, a Parigi: uno dei primi esempi di **casa unifamiliare in ferro e vetro**.

O. H. Ammann progetta il **ponte George Washington** sul fiume Hudson a New York.

1932

Gli architetti Eugène Beaudouin e Marcel Lods realizzano a Drancy (a Nord di Parigi) la **Cité de la Muette**, prototipo degli insediamenti abi-

tativi sociali di impostazione razionalista: un'area di 120.000 mq ospita cinque torri di sedici piani, affiancati da edifici in linea di 3-4 piani (a corte e a pettine) per un totale di 700 unità abitative per 3.840 abitanti. La carta vincente di questa struttura è la tecnica innovativa ed economica con la quale viene realizzata. Viene impiegato il sistema Mopin (inventato da Eugène Mopin): i telai di acciaio vengono ricoperti di pannelli prefabbricati che realizzati in cantiere, riempiti di cemento gettato in opera senza bisogno di mattoni, intonaco o impalcature. Ancor prima di essere adibito a quartiere abitativo, il complesso edilizio venne requisito dai nazisti che vi organizzarono il più vasto centro di concentramento francese. Nel 1976 tutti gli edifici (tranne uno basso, a corte) vennero abbattuti perché il recupero degli immobili era pressoché impossibile.

1933

Dopo la crisi del 1927 il Governo italiano affronta il problema della finanza chiedendo alle

banche di cedere le loro partecipazioni industriali a diverse holding che furono poi concentrate nell'**Istituto per la Ricostruzione Industriale** (IRI), una gigantesca holding pubblica creata nel gennaio del 1933. Attraverso l'IRI praticamente tutta la grande industria italiana divenne proprietà dello Stato, rendendo il settore della metallurgia meno dinamico e flessibile rispetto a quanto lo fosse nel periodo di rilancio del dopoguerra.

1934

Primo impiego dell'**acciaio inossidabile** in architettura. Si tratta del Chrysler Building a New York, che fu il grattacielo più alto del mondo per poco più di un anno, tra il 1929 e il 1931, quando venne superato dall'Empire State Building. Fu progettato da William van Alen per il senatore William H. Reynolds, ma il progetto fu acquistato da Walter P. Chrysler che era alla ricerca di una pre-



stigiosa sede per la sua società automobilistica. Chrysler operò questo come un investimento privato, non legato alla propria impresa, organizzò il proprio appartamento negli ultimi piani e inserì degli elementi stilistici caratteristici che ricordassero le sue automobili.

1935

Hitler fa approvare le leggi razziali di Norimberga.

La Allegheny Ludum Steel Corp. mette in prova nell'impianto di Brackenridge, una macchina per il **processo di fusione continua dell'acciaio**. L'invenzione è rivoluzionaria rispetto ai sistemi tradizionali: il metodo della colata continua permette di fare passare il metallo direttamente dallo stato liquido allo stato semifinito. Vengono pertanto eliminate tante fasi successive di lavorazione e, in molti casi, anche una finale laminazione a caldo.

1938-1958

Mies van der Rohe progetta e costruisce

la nuova sede per l'**Armour Institute** (oggi Illinois Institute of Technology) a Chicago. Mies decide di adottare un modulo ordinatore di 24 piedi, articolando il quale realizza edifici differenti ma coerenti per struttura. Mies utilizza un ritmo uniforme e gli stessi materiali - strutture portanti metalliche, campi di riempimento in mattoni o in vetro - e articola, così, un'immensa varietà e ricchezza di soluzioni.



1937

Pablo Picasso dipinge Guernica.

1938

Maison du Peuple di Clichy (architetti Beaudouin e Lods, ingegneri Bodansky e Prouvé): primo esempio nel mondo di applicazione del **pannello-parete** come parte integrante della morfologia della costruzione.

1939

Scoppia la Seconda guerra mondiale.

1940

Quattro mesi dopo la sua costruzione crolla il **ponte sospeso di Tacoma Narrow** (USA). Aveva una campata di 854 m e il crollo segna una crisi della tecnica americana dei ponti sospesi. Dopo di allora, infatti, si introdurranno travi irrigidite e le controventature dei cavi, per aumentare la resistenza sia a flessione che a torsione.



1945

Bombardamento atomico di Hiroshima e Nagasaki.

L'editore della rivista Arts & Architecture organizza un ambizioso programma di abitazioni sperimentali al quale vengono inviati otto studi architetti

tonici. La Seconda guerra mondiale è appena finita e i materiali edili scarseggiano ancora. Gli architetti hanno ora la possibilità di adattare prodotti e tecnologie sviluppati per la guerra alla prefabbricazione per scopi pacifici. I nuovi materiali sono **la plastica, i leganti, i collanti per aerei e le resine sintetiche**. (Atl. Acc. p.68).

1946

Casa prefabbricata in acciaio di Fuller.



1948

Buckminster Fuller realizza **la prima cupola geodetica**, la breveterà poi nel 1954. Fuller prende in prestito le forme naturali dei cristalli per realizzare una struttura in cui gli sforzi di compressione vengono scaricati su elementi in tensione e la "assembla" come un complesso di tetraedri regolari in acciaio leggero.

Il 4 settembre inizia ufficialmente la produzione

di Lustron, chiuderà per bancarotta nel 1950 perché con i 37,5 milioni di dollari ricevuti (sussidi federali) la Lustron poté realizzare solo 2.680 edifici a fronte di un ordine di 20.000. Alla fine della Seconda guerra mondiale la Lustron Corporation ebbe un'idea per garantire edifici sicuri dal punto di vista della **resistenza al fuoco**. Le case Lustron sono realizzate con pannelli prefabbricati di acciaio porcellanato e l'obiettivo di Lustron non era solo proporre case per le immediate esigenze del dopoguerra ma anche alzare il livello di qualità degli edifici per la middle-class americana "combinando la bellezza della porcellana con la forza dell'acciaio". Il prezzo delle case, inizialmente, era inferiore ai 10.000 \$, rendendo il prodotto Lustron comparabile con gli edifici convenzionali. Ogni casa era composta da più di 3000 pezzi. Al piccolo della produzione la fabbrica Lustron consumava più energia dell'intera città di Columbus. Con un iniziale appoggio del governo federale, le case Lustron ebbero l'approvazione per i programmi di rimpatrio dei

veterani di guerra: i modelli prevedevano due o tre camere da letto ed erano disponibili in sei colori di interni, il garage era un optional.

1949

George Orwell scrive e pubblica 1984.

1951

Costituzione della **CECA**, Comunità Europea del Carbone e dell'Acciaio.

1971

Fritz Haller sviluppa i suoi edifici partendo da elementi di fabbrica progettati in maniera funzionale e testati, e di livello qualitativo elevato. Alla caratteristiche di idoneità d'uso si aggiunge anche la possibilità di intraprendere modifiche senza problemi. La necessità di edifici in trasformazione viene motivata dallo stesso Franz Haller come segue: «[...] Le case vengono costruite per una determinata destinazione d'uso - abitazioni residenziali, scuole, edifici per uffici, fabbriche - solitamente in base a specifiche idee

di committenti e architetti. In realtà questi edifici per la maggior parte vengono utilizzati solo per breve tempo secondo la funzione originaria. Un primo impiego relativamente breve è seguito da molti altri, sconosciuti al momento della progettazione e pertanto non considerati. Negli ultimi decenni questa situazione è comparsa apertamente soprattutto negli edifici destinati a strutture di produzione o di servizi, a causa del sempre più veloce sviluppo economico e tecnologico. Si dovrebbero davvero spingere i progettisti a concepire gli edifici non per il primo utilizzo, ma sulla base di punti di vista più generali.» (Werk, Bauen e Wohnen 7/8 1992, pag. 9). Così Haller ha sviluppato **sistemi modulari** che permettono ampliamenti e trasformazioni senza richiedere distruzioni, e una dotazione tecnica dell'edificio integrata e flessibile. (Atl. Acc. pag. 69)

...

Bibliografia

Avent R., *The third great wave*, in Special Report *The World Economy*, The Economist, ottobre 2014.

Barucco MA., *Innovazione semantica*, in: Barucco MA. (a cura di), *Durabilità. Longue durée*, Aracne Editrice, Roma 2014.

James H., *Capitalismo familiare. Falck, Haniel, Wendel e il modello d'impresa nell'Europa continentale*, Francesco Brioschi, Milano 2008.

Mumford L., *Technics and Civilization*, University Chicago Press, Chicago 2010.

Schulitz H. C. , Sobek W., Habermann K. J., *Atlante dell'acciaio*, UTET, Torino 1999.

Singer C., *Storia della tecnologia. Vol. 5: L'Età dell'Acciaio*, Bollati Boringhieri, Torino 2013.

