

ERNESTO DI NATALE FULVIO LANZARONE GIOVANNI D'ANGELO

COSTRUIRE I SOLAI E I BALCONI

ELEMENTI DI TECNOLOGIA COSTRUTTIVA



SERVIZI GRATUITI ON LINE

Questo libro dispone dei seguenti servizi gratuiti disponibili on line:

- filodiretto con gli autori
- le risposte degli autori a quesiti precedenti
- files di aggiornamento al testo
- possibilità di inserire il proprio commento al libro.

L'indirizzo per accedere ai servizi è: www.darioflaccovio.it/scheda/?codice=DF8289

INDICE

Introduzione pag. IX

1. I MATERIALI DA COSTRUZIONE NEGLI ORIZZONTAMENTI

1.1. Premessa	»	1
1.2. Il legno.....	»	1
1.2.1. Il taglio	»	4
1.2.2. La stagionatura	»	5
1.2.3. I legni da costruzione	»	5
1.2.4. Degradabilità	»	6
1.2.5. Anomalie e difetti del legno	»	6
1.2.5.1. Esempi di pezzature commerciali moderne	»	7
1.3. I metalli	»	9
1.3.1. Cenni storici	»	9
1.3.2. Cenni sull'acciaio	»	9
1.3.3. Ghisa	»	11
1.3.4. La produzione dell'acciaio	»	12
1.3.5. Lavorazione dell'acciaio	»	14
1.3.6. I profilati	»	14
1.3.7. Collegamenti tra strutture metalliche	»	17
1.3.8. Pregi e difetti dell'acciaio	»	20
1.4. Il calcestruzzo	»	21
1.4.1. Il cemento	»	22
1.4.2. L'inerte.....	»	24
1.4.3. L'acqua	»	25
1.4.4. La lavorabilità	»	25
1.4.5. La resistenza meccanica	»	27
1.4.6. I calcestruzzi innovativi	»	27
1.5. Il laterizio	»	28
1.5.1. Elementi per orizzontamenti	»	29
1.5.2. Elementi per sostegni	»	30

2. GLI ORIZZONTAMENTI DISCONTINUI

2.1. Premessa	»	33
2.2. L'architrave	»	33
2.2.1. I materiali	»	34

2.3. L'arco.....	» 38
2.3.1. La realizzazione dell'arco	» 39
2.3.2. I materiali	» 40
2.4. La piattabanda	» 42
3. GLI ORIZZONTAMENTI CONTINUI	
3.1. Premessa	» 43
3.2. Solai in legno.....	» 44
3.2.1. Solaio semplice in legno	» 46
3.2.2. Solaio composto in legno	» 52
3.2.3. Le mensole	» 53
3.2.4. Solai moderni in legno	» 54
3.3. Solai in ferro	» 56
3.3.1. Solaio in ferro con voltine di mattoni pieni o forati	» 57
3.3.2. Solaio in ferro con pignatte o volterranee.....	» 58
3.3.3. Solaio in ferro con tavelloni o doppi tavelloni	» 59
3.3.4. Solai in lamiera grecata.....	» 60
3.3.5. Solai con lamiere contrapposte	» 62
3.4. Solaio composto in ferro	» 63
3.5. Solai in calcestruzzo di cemento armato.....	» 64
3.5.1. Solaio a soletta piena	» 65
3.5.2. Solaio con soletta nervata	» 67
3.6. Solai latero-cementizi	» 69
3.6.1. Solaio gettato in opera.....	» 69
3.6.2. Solaio latero-cementizio con travetti prefabbricati.....	» 73
3.6.3. Solaio a lastra in cemento armato con elementi di alleggerimento	» 77
3.6.4. Solaio a pannelli prefabbricati.....	» 78
3.7. Solaio in vetro-cemento	» 79
3.8. Solai in calcestruzzo armato gettato in opera con materiali innovativi	» 80
3.8.1. Solai con pignatte in polistirolo espanso ad alta densità o polistirene espanso	» 81
3.8.2. Solaio leggero ecologico pet-lat	» 81
3.9. Solaio di copertura (praticabile e non praticabile)	» 84
3.10. I tetti giardino	» 90
4. LE STRUTTURE ORIZZONTALI A SBALZO	
4.1. Generalità	» 93
4.2. Balconi con struttura in pietra da taglio	» 94
4.3. Balconi con mensole e orizzontamenti in pietra da taglio	» 94
4.4. Balconi con mensole in metallo	» 96
4.5. Balconi in calcestruzzo di cemento armato	» 100
4.6. Deflusso dell'acqua dai balconi	» 105

5. LA STATICA	
5.1. Generalità	» 111
5.2. Calcolo dell'architrave in legno	» 111
5.3. Calcolo di un solaio in legno a orditura principale e secondaria	» 114
5.4. Calcolo di un solaio in ferro	» 118
5.5. Solaio gettato in opera.....	» 120
5.5.1. Calcolo di un solaio gettato in opera.....	» 121
5.6. Calcolo di un balcone realizzato con soletta in calcestruzzo armato	» 133
5.7. Solaio in lamiera grecata.....	» 136
5.7.1. Dimensionamento di un solaio di copertura in lamiera grecata	» 137
6. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	
Riferimenti normativi al calore	» 141
Riferimenti normativi riguardanti il comportamento acustico della struttura	» 142
Riferimenti normativi riguardanti il fuoco	» 143
Riferimenti normativi riguardanti le rifiniture.....	» 143
Riferimenti normativi per le strutture in calcestruzzo.....	» 144
Riferimenti normativi riguardanti le prove sul calcestruzzo	» 145
BIBLIOGRAFIA	» 147

Introduzione

L'origine di un'espressione di stampo architettonico va ricercata nell'era preistorica, durante la quale l'uomo neolitico, abituato a vivere in strutture provvisorie o all'interno delle grotte, cominciò a ingegnarsi nell'edificazione di manufatti stabili.

Il percorso evolutivo che concerne la realizzazione di tali costruzioni trae origini dal sistema denominato pesante o architratavo, nell'ambito del quale un elemento lapideo, posto in orizzontale, veniva semplicemente poggiato su altri due disposti in verticale (sostegni).

Le prime manifestazioni di questo millenario sistema edificatorio riguardano l'architettura megalitica, della quale i Cromlech e i Dolmen (figura 1) sono la più emblematica rappresentazione.

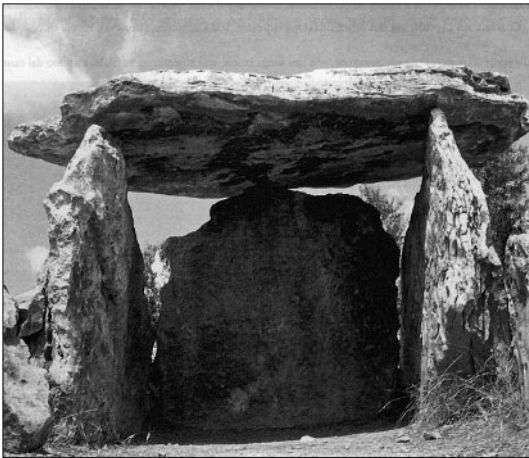


Figura 1¹
Dolmen, Bisceglie (Bari)

Analoga concezione strutturale fu determinante tanto per l'arte antica (egizia, greca, romana) tanto per l'arte così come si è evoluta fino alla seconda metà dell'800.

Altrettanto millenaria può considerarsi la tecnica edile che ha dato origine al sistema cosiddetto spingente, architettonicamente caratterizzato dalla presenza di un arco e il cui prototipo può essere schematizzato in due elementi lapidei disposti in modo da mantenersi in equilibrio per effetto di mutuo contrasto. Tali organismi costruttivi sono stati il modello di riferimento per il settore edilizio fino alla rivoluzione industriale avendo subito, nel corso dei secoli, poche modifiche, che hanno riguardato essenzialmente l'utilizzo di nuovi materiali dotati di migliori caratteristiche prestazionali.

¹ Piero Adorno, *L'arte italiana*, vol. I, G. D'Anna, 1998, Firenze, p. 18.

La differenza tra sistema pesante e sistema spingente è soprattutto di natura statica (oltre che estetica) poiché il primo scarica sui sostegni forze peso, mentre il secondo trasmette all'imposta forze inclinate che a loro volta danno origine a una componente orizzontale denominata spinta.

Con l'avvento della rivoluzione industriale avviene un profondo cambiamento anche nel settore edilizio, dovuto alla produzione su larga scala di profilati metallici e successivamente all'utilizzo sempre più massiccio del calcestruzzo di cemento armato. Questi materiali innovativi, dalle caratteristiche fisico-meccaniche notevolmente superiori rispetto a quelli adoperati nei secoli precedenti, hanno dato luogo alla nascita del sistema intelaiato o a scheletro indipendente, che è alla base dei moderni manufatti edilizi.

Nell'ambito dei sistemi costruttivi i solai rivestono una rilevanza particolare essendo l'unità tecnologica che trasmette i carichi (permanenti e accidentali) al piano di sedime attraverso i sostegni e le strutture di fondazione.

Questo testo procede prima analizzando attraverso una rapida panoramica i principali materiali utilizzati in questo settore, passando poi all'esame degli orizzontamenti sia discontinui (architravi, archi e piattabande) che continui (solai), evidenziando come i materiali impiegati, unitamente allo sviluppo tecnologico, siano stati determinanti per l'evoluzione di queste importanti strutture di fabbrica, dalle prime realizzate in materiale lapideo fino a quelle eseguite con i materiali più innovativi.

Si esamineranno in particolare le diverse tipologie di solai e balconi, mettendo l'accento sulle regole che un tempo venivano definite del buon costruire: regole spesso trascurate sia per motivi di ordine economico sia per una superficiale conoscenza delle stesse da parte dei progettisti, con il conseguente innesco di pericolosi fenomeni di degrado.

Nel settore dei solai si sono messe a punto, negli ultimi decenni, soluzioni innovative molto interessanti, frutto di ricerche volte, ad esempio, alla realizzazione di solai prefabbricati mediante materiali ecologici provenienti dal riciclaggio di rifiuti solidi urbani.

Nell'ultima parte del volume verranno infine illustrati diversi esempi inerenti il dimensionamento e il calcolo di verifica di alcune particolari tipologie strutturali.

Con tali esempi si vuole aiutare il lettore a superare quelle difficoltà che spesso si riscontrano nel passaggio dalla conoscenza teorica alla realizzazione pratica; essi sono svolti in forma elementare per consentire la comprensione dei criteri e delle fasi da seguire per il dimensionamento e la verifica degli elementi strutturali trattati, rimandando il calcolo di strutture più complesse ai testi specialistici.

1. I MATERIALI DA COSTRUZIONE NEGLI ORIZZONTAMENTI*

1.1. PREMESSA

Da sempre l'utilizzo di un determinato tipo di materiale rispetto a un altro ha avuto un'importanza notevole nel settore costruttivo, sia dal punto di vista estetico che statico.

Un certo grado di conoscenza dei materiali sotto l'aspetto chimico-fisico, meccanico, ecc., è la premessa necessaria alla progettazione e alla realizzazione consapevole di un qualsiasi manufatto, allo scopo di eseguire opere durevoli, che siano esenti da dannose e antiestetiche manifestazioni di degrado.

Ogni opera architettonica va progettata in funzione dei materiali che saranno adoperati, poiché risulterebbe assurdo, ad esempio, ipotizzare un sistema strutturale intelaiato in calcestruzzo di cemento armato e realizzarlo poi in acciaio o viceversa.

Alla luce di quanto affermato, verranno forniti dei brevi cenni su alcuni materiali che hanno trovato e trovano ancora oggi ampia applicazione nel settore costruttivo, rimandando, per chi volesse approfondire ulteriormente la natura e le caratteristiche degli stessi, alla ricca letteratura che si occupa del settore.

1.2. IL LEGNO

Il legno, sin dalle sue prime applicazioni, si è rivelato uno dei più apprezzabili tra i materiali da costruzione, tanto che ancora oggi continua a essere ampiamente impiegato nel settore.

Proprio per questo motivo ne sono state trattate e studiate le caratteristiche tanto nei trattati e nei manuali storici che in quelli di più recente formazione, i quali ne descrivono le varie specie utilizzabili nell'ambito delle costruzioni, le modalità di scelta in relazione all'ambiente circostante, le metodologie lavorative e le caratteristiche fisico-dimensionali e meccaniche.

* di Ernesto Di Natale.

Questo materiale trovò largo impiego grazie alla sua intrinseca capacità di soddisfare l'esigenza di aumentare la distanza fra i piedritti, distanza finalizzata a incrementare la quantità di spazio utile tra i sostegni e che modificò, in parte, il sistema trilitico, sostituendo l'orizzontamento anelastico con uno elastico.

Il legno è un materiale di origine biologica, i cui componenti chimici fondamentali sono la cellulosa e la lignina, i quali hanno proprietà meccaniche complementari e sono organizzati in maniera tale da formare una struttura composita nella quale la cellulosa presenta un'elevata resistenza alla trazione e la lignina, dura, adesiva e compatta, funge invece da riempimento conferendo, in tal modo, un notevole grado di solidità.

Si tratta, in definitiva, di un vero e proprio materiale composito naturale.

Le venature dipendono dalla struttura del legno: esso è dotato di piccoli vasi conduttori in cui scorrono dal tronco alle foglie acqua e sali minerali.

Sezionando un tronco d'albero con un piano ortogonale al suo asse (figura 1.1) si possono distinguere varie zone concentriche.

A partire dall'esterno, esse sono:

- corteccia esterna: fisiologicamente morta, serve come protezione della pianta e permette gli scambi di gas necessari alla vita della pianta;
- corteccia interna, detta anche albarno: è formata da cellule vive, le quali formano l'apparato circolatorio della pianta consentendo il trasporto dei sali minerali dalle radici alle foglie;
- libro: contiene i vasi che portano il nutrimento sintetizzato delle foglie ad ogni parte dell'albero;
- cambio: è il principale tessuto responsabile dell'accrescimento dell'albero, tuttavia le cellule vitali sono diffuse nell'intero tessuto. Esso, infatti, produce ogni anno verso l'interno nuovi strati di cellule che si sovrappongono a quelli precedentemente formati. Le fibre e i vasi del legno sono denominati *xilema*;
- albarno: "è costituito da vasi legnosi che trasportano la linfa ascendente dalle radici alle foglie"¹;
- durame: è la "zona intermedia del tronco che si distingue per la compattezza e l'intensità del colore (...) e ha la funzione di sostegno della pianta"². Esso, formato da cellule morte, è la parte più vecchia della pianta ed è quella più stabile e meno soggetta agli attacchi di parassiti; per questo motivo, a livello commerciale, è quella più pregiata;

¹ Brancato F.S. et Al., *Tecnologia – Struttura del legno* (Parte seconda, Capitolo 1), La Cittadella, Palermo, 1994, pag. 16.

² Brancato F.S. et Al., *Tecnologia – Ibidem*, pag. 16.

- midollo: è la zona centrale del tronco, si presenta spugnoso e spesso di modeste dimensioni. Viene generalmente scartato nella lavorazione del legname, in quanto non offre una resistenza meccanica ottimale.

Per quel che riguarda la composizione del legno è necessario analizzare la fibratura, che corrisponde alla direzione verso la quale sono allineate le cellule nel legno; essa può essere:

- parallela all'asse del fusto;
- inclinata;
- elicoidale.

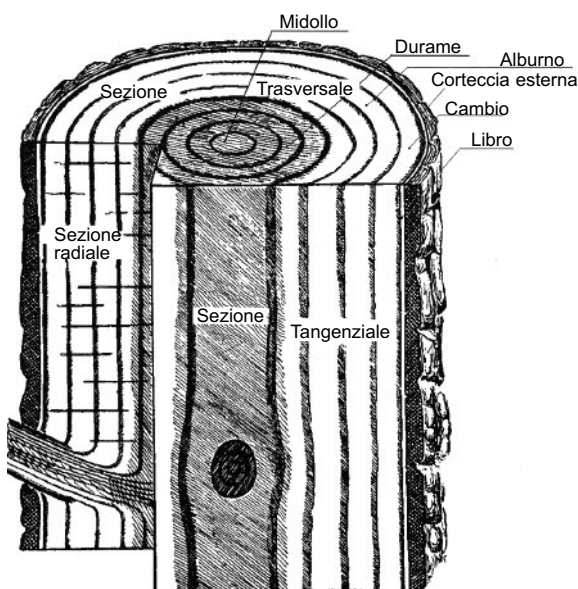


Figura 1.1
Parti di un fusto legnoso

Tra le principali proprietà fisiche del legno si evidenziano:

- resistenza;
- durezza;
- rigidità;
- densità.

In particolare, la resistenza comprende un certo numero di caratteristiche eterogenee e varia notevolmente a seconda del grado di stagionatura e di umidità oltre che a seconda della direzione della fibratura del legno.

Se, ad esempio, il legno viene tagliato lungo la venatura piuttosto che ortogonalmente a essa, esso presenta un'ottima resistenza sia a compressione che a flessione, con una discreta resistenza al taglio.

Si può senz'altro affermare, in seguito a prove eseguite in laboratorio su provini privi di difetti, che a parità di altre condizioni (densità, umidità, ecc.) la resistenza a trazione, in direzione longitudinale, è quasi il doppio di quella a compressione.

Il legno è un materiale fortemente igroscopico a causa della natura chimica dei suoi componenti (in particolare la cellulosa), un materiale che tende cioè ad assorbire o a cedere umidità in funzione della temperatura e dell'umidità dell'ambiente in cui si trova.

Inoltre, poiché i parametri termo-igrometrici dell'ambiente circostante sono variabili, si verificherà sempre un'oscillazione del contenuto di acqua la quale sarà legata ai particolari costituenti del legno e che comporterà, di conseguenza, una variazione dimensionale (se pur minima) del legno stesso.

In particolare, perdendo umidità il volume del legno subirà una diminuzione (ritiro), mentre riassorbendola tenderà ad aumentare (rigonfiamento). A condizioni termo-igrometriche costanti corrispondono, di conseguenza, un grado di umidità e dimensioni stabili del legno.

Le proprietà meccaniche del legno, se messe a confronto con quelle di altri materiali da costruzione, non raggiungono in genere valori molto elevati. Tuttavia il legno è un materiale che, a differenza di altri, presenta generalmente un rapporto resistenza/peso particolarmente favorevole, il quale spiega le sue notevoli potenzialità e possibilità d'impiego.

Esso ha un comportamento di tipo elastico-viscoso, per cui sotto l'azione di carichi di breve durata si comporta in modo elastico mentre, se sollecitato costantemente e a lungo (come avviene normalmente nell'impiego strutturale) mostra anche un comportamento viscoso, con conseguenti deformazioni non recuperabili elasticamente.

1.2.1. Il taglio

Dai tronchi, privati dei rami e della corteccia, possono ricavarsi tavole di differente spessore a seconda dei diversi schemi di taglio.

Per ottenere assi di buona qualità, non soggette a imbarcamento, occorre effettuare il taglio perpendicolare agli anelli di crescita che si formano nel tronco dall'alternarsi del legno primaverile e di quello autunnale.

Mentre il taglio detto a *quarto di ventaglio* è il più costoso poiché comporta un notevole spreco di materiale, la tipologia radiale è generalmente quella più economica poiché lo sciupio di materiale è piuttosto limitato (figura 1.2). Di contro, solo le assi centrali saranno di buona qualità, mentre quelle laterali saranno maggiormente soggette a deformazioni.

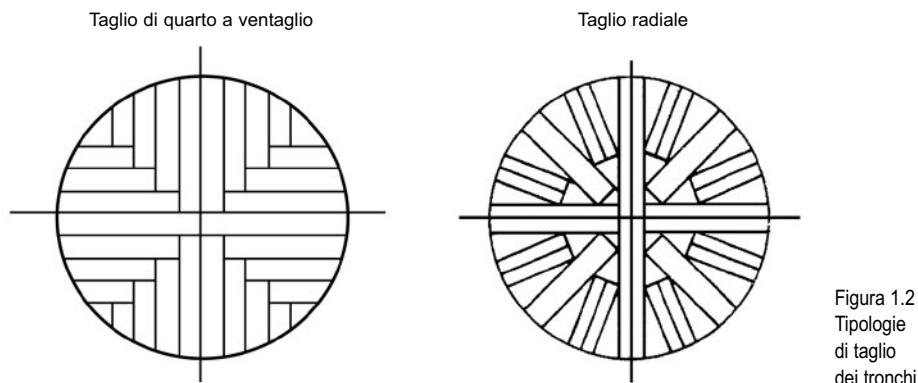


Figura 1.2
Tipologie
di taglio
dei tronchi

1.2.2. La stagionatura

Quando il legno viene tagliato perde circa il 30% dell'acqua presente nelle cavità cellulari dando così l'avvio a un processo di lenta essiccazione, durante il quale l'elemento ligneo continua a perdere acqua sino a raggiungere una sorta di equilibrio con l'ambiente, stagionandosi o essiccandosi. La stagionatura naturale è quella che garantisce una migliore qualità alle assi ed è ottenibile accatastando le assi stesse l'una sull'altra con l'interposizione di listelli, al fine di consentire una ottimale circolazione dell'aria. Tale procedimento risulta in realtà poco agevole da attuare in quanto, per ottenere i risultati desiderati, occorre un certo dispendio di tempo (non inferiore a un anno in presenza di climi favorevoli). In alternativa, volendo ridurre sensibilmente i tempi, si può fare ricorso a essiccazioni artificiali, utilizzando appositi ambienti (essiccatoi) che sono veri e propri forni a umidità e calore controllati.

È opportuno inoltre evidenziare che il legno, a causa della sua particolare costituzione, tenderà a regolare con continuità la sua umidità su quella dell'aria circostante.

Se, ad esempio, viene utilizzato in un ambiente chiuso dotato di riscaldamento, il tasso di umidità diminuirà ulteriormente fino a circa il 10%, provocando di conseguenza un maggiore restringimento.

1.2.3. I legni da costruzione

In edilizia si distinguono fundamentalmente due categorie di legno, determinate sulla base delle caratteristiche meccaniche e del comportamento strutturale:

- legno dolce: è un'essenza a fibra tenera, di facile lavorabilità e messa in opera. Non ha elevata resistenza meccanica e tenacia, per cui non viene adoperato per usi strutturali importanti, ma è utilizzato generalmente per

ricavare tavole, elementi di ponteggio, piccole centine, serramenti, ecc. Tra le essenze di legno dolce che trovano impiego in edilizia si ricordano: il pino, l'abete, il pioppo, ecc.;

- legno forte: presenta una fibra densa e compatta, è duro e tenace e quindi di difficile lavorabilità. Ha valori elevati di resistenza meccanica, caratteristica che lo rende idoneo all'impiego per elementi strutturali. Tra le essenze principali si ricordano: la quercia, il rovere, il cerro, il leccio, il larice, il castagno selvatico, il noce, l'olivo domestico, il faggio, ecc.

1.2.4. Degradabilità

La naturale degradabilità del legno è un'altra caratteristica, conseguente alla sua origine biologica, che comporta modificazioni e alterazioni del suo aspetto e delle sue proprietà (con inevitabili ripercussioni sul suo comportamento strutturale) per l'azione sia di alcuni organismi come funghi e insetti, i quali tendono a utilizzare il legno come fonte di nutrimento (xilofagi) sia di fattori chimico-fisici come ad esempio gli incendi, essendo il legno un materiale combustibile.

La biodegradabilità del legno costituisce, di conseguenza, un pericolo latente per le strutture lignee in opera in quanto può compromettere le caratteristiche di funzionalità statica del materiale e di conseguenza la sicurezza e la fruibilità di un manufatto edilizio realizzato con lo stesso.

Occorre tuttavia evidenziare che, in condizioni ottimali di conservazione, il legno può essere considerato un materiale molto durevole, come dimostrano le numerose strutture di antico impianto giunte in buono stato fino ai nostri giorni.

1.2.5. Anomalie e difetti del legno

Il legno, a causa della sua natura, può presentare numerosi difetti e anomalie, tra le quali si ricordano:

- nodi: intrusioni nel fusto di rami che possono essere vivi o morti, qualora siano incorporati nel tronco o se ne distacchino facilmente, lasciandovi un foro;
- lunatura o doppio alburno: “consiste nella presenza, fra gli anelli di accrescimento sani del legno, di un anello morto. Questo si distingue dagli altri per il colore e l'aspetto simile all'alburno, ma differisce da questo per i pori grossolani che gli conferiscono igroscopicità (capacità di assorbire acqua). Le lunature sono conseguenza di una gelata, per cui le cellule dell'alburno non si trasformano in durame”³;

³ Brancato F.S. et. Al., *Tecnologia* – Ibidem, pag. 17.

- cipollatura: causata da freddo intenso o da eccessivo calore, comporta il distacco parziale o totale di due anelli di accrescimento limitrofi;
- spellature: fenditure, tipiche di alcuni alberi quali noce e quercia, che si localizzano nel centro del fusto. Tale difetto è dovuto al naturale prosciugamento della zona del midollo;
- imbarcamento: “si verifica quando, durante la fase di stagionatura o dopo, il ritiro o la dilatazione delle fibre non avviene in maniera uniforme, determinando così una torsione delle fibre stesse”⁴.

In presenza di eccessivo calore può inoltre presentare screpolature le quali vanno a intaccare, in maniera più o meno accentuata, la superficie dei tronchi allargandone i pori e favorendo così l’evaporazione, con conseguente diminuzione della percentuale di umidità del fusto. Parimenti anche il freddo determina alterazioni simili a quelle provocate dal calore: la linfa infatti, gelando, aumenta di volume, causando inevitabilmente delle lesioni.

I legnami utilizzati nel settore edilizio possono, tra l’altro, presentare diverse alterazioni dovute essenzialmente alla loro struttura organica; infatti la natura fibrosa del legno provoca alterazioni di forma, a causa delle dilatazioni nelle varie direzioni (parallele o trasversali alle fibre) che possono verificarsi.

Il diverso grado di umidità causa, in genere, deformazioni e conseguenti fessurazioni, che sono apprezzabili lungo la sezione trasversale del tronco dell’albero.

1.2.5.1. Esempi di pezzature commerciali moderne

Per la realizzazione dei solai moderni in legno sono tutt’oggi utilizzate diverse tipologie di travi in funzione della destinazione d’uso. Di seguito verranno riportate le più impiegate.

TRAVI LAMELLARI

Le travi lamellari sono costituite da lamelle solitamente di una sola specie legnosa, incollate parallelamente alla fibratura. Ogni difetto della trave come fenditure, torsioni, curvature e nodi viene eliminato prima dell’incollaggio permettendo alla medesima di avere una qualità e una resa estetica crescenti col tempo.

Oggi è senza dubbio il prodotto composito più usato nelle costruzioni in legno per le sue ottime caratteristiche meccaniche.

⁴ Brancato F.S. et Al., *Tecnologia* – Ibidem, pag. 17.

TRAVI USO TRIESTE

Si tratta di un tipo di travatura che viene ricavato dal tronco attraverso la squadratura continua, dal calcio alla punta, su quattro facce e smussata invece agli spigoli. Le operazioni di squadratura seguono la conicità del legno in modo da intaccare solo superficialmente le fibre che, così integre, presentano una resistenza più elevata. La conicità del legno viene mantenuta in un limite di 5/6 mm/ml.

Si usano prevalentemente nelle ristrutturazioni e nei recuperi di vecchi edifici.

TRAVI USO FIUME

Squadrate su quattro facce come le travi uso Trieste, ma a sezione costante e con smussi meno accentuati che vengono messi in opera laddove è richiesto un alto grado di finitura e in particolare per lavori di restauro e rustico.

Le fessurazioni presenti costituiscono il pregio e la peculiarità della trave.

TRAVI MASSICCIO

Opportunamente lavorate e trattate, sono indispensabili laddove ci sia la necessità di ricostruire, parzialmente o nella loro totalità, travature preesistenti in strutture risalenti a epoche passate.

Mediante particolari processi di lavorazione, è inoltre possibile realizzare l'invecchiamento artificiale delle travature; solitamente si fa uso dell'abete rosso. La trave si presenta a spigoli vivi con cuore o fuori cuore (a seconda se include o meno il centro del tronco).

Una trave di piccole dimensioni permette una riduzione della formazione di spacchi e fessurazioni; nella trave con cuore, la quale viene ricavata includendo il centro del tronco, è possibile riscontrare ottime proprietà meccaniche: la formazione di fessurazioni è più marcata ma non ne compromette le caratteristiche strutturali.

TRAVI KVH (KONSTRUKTIONSVOLLHOLZ)

Si tratta di un legname massiccio da costruzione che viene prodotto da segati di conifere, ottenuti seguendo i più avanzati criteri tecnici di produzione: esso deve infatti soddisfare esigenze superiori a quelle di livello ordinario.

Il taglio più adatto è quello a cuore diviso, il quale impedisce il manifestarsi di fenditure ed evita in gran parte anche le deformazioni del legno. Gli elementi delle travi giuntate esclusivamente a pettine vengono collegati tra loro con un collante, il quale garantisce un'elevata resistenza e un'elevata stabilità.

1.3. I METALLI

I metalli non ferrosi come bronzo, piombo, rame e ottone, hanno trovato largo impiego in campo edilizio sin dai tempi più antichi. Questi materiali venivano principalmente impiegati per opere idrauliche, coperture e, con meno frequenza, per la realizzazione di unità strutturali.

Intorno alla metà del XVIII secolo si cominciarono ad adoperare i materiali ferrosi, mentre nel secolo successivo l'acciaio inizierà a entrare prepotentemente nel settore delle costruzioni come materiale base per numerosi elementi costruttivi, dalla struttura portante alle opere di completamento.

1.3.1. Cenni storici

Tralasciando la descrizione dell'uso che nei secoli scorsi si è fatto del ferro, impiegato in edilizia per scopi precisi e limitati come la realizzazione di catene o tiranti, è nella seconda metà del secolo XIX, con la rivoluzione industriale, che l'industria siderurgica dà l'avvio alla produzione dei profilati metallici, sui quali si fonderà il sistema costruttivo intelaiato, il quale darà vita a cambiamenti radicali nel settore edilizio dominato per millenni dal sistema pesante.

Si deve a Joseph Paxton l'impiego di questo nuovo materiale a partire dall'edificazione del Crystal Palace, realizzato per l'esposizione di Londra del 1851, composto da un sistema modulare di colonne in ghisa collegate da travi reticolari e da una copertura con pannelli di vetro di formato standard. L'acciaio trovò inizialmente largo impiego nella costruzione di grandi stazioni ferroviarie, come quelle di Londra e di Parigi, nelle grandi Esposizioni universali, nei grandi mercati coperti, nei grandi magazzini e nella realizzazione di ponti a grandi luci; non ebbe altrettanto successo nel settore dell'edilizia residenziale imponendosi, di contro, nei progetti di edifici a torre.

È soprattutto nelle grandi città del nord America che agli inizi del XX secolo l'acciaio troverà la sua massima espressione costruttiva, soprattutto negli edifici a torre, i grattacieli, i quali diventeranno il simbolo dell'America stessa. Architetti famosi si cimenteranno nella progettazione di grattacieli passando dalle prime forme arricchite da ornamenti e orpelli richiamanti stili del passato (classico, gotico, rinascimentale, ecc.) ad altre lineari, più pertinenti alla natura dell'acciaio.

1.3.2. Cenni sull'acciaio

Il prodotto commerciale che viene comunemente denominato ferro è in realtà una lega ferro-carbonio, che è più corretto denominare acciaio. Il ferro, mediante particolari processi di raffinazione, può essere ricavato puro al

99,9% soltanto in modeste quantità. Gli acciai, all'aumentare della loro percentuale di carbonio, diventano più duri e presentano un carico di rottura più elevato, mentre di contro diminuiscono tenacia, duttilità e allungamento.

L'acciaio, grazie a una produzione di tipo industriale, ha potuto trovare ampio utilizzo nel settore edilizio a partire dall'ultimo trentennio del XIX secolo, periodo durante il quale la costruzione di manufatti con elementi in acciaio trafilati e chiodati divenne procedimento corrente.

Generalmente lavorato a caldo, risulta il materiale metallico da costruzione più impiegato in tutto il mondo, soprattutto per le sue caratteristiche meccaniche, caratteristiche che possono essere modificate o esaltate grazie a opportuni trattamenti termici.

Esso viene commercializzato in una grande varietà di tipi, quali quelli descritti di seguito.

ACCIAI DI USO COMUNE

Gli acciai di uso comune si distinguono, in relazione al differente contenuto di carbonio, in:

- acciai da costruzione (extradolci e dolci, con carbonio fino allo 0,25%), saldabili, malleabili e duttili; non si temprano e sono impiegati per profilati, tondini per calcestruzzo di cemento armato, fili, chiodi, tubi e lamiere;
- acciai per utensili (semiduri, duri ed extraduri, con percentuale di carbonio che va dallo 0,25% a oltre lo 0,75%); non vengono saldati ma si temprano bene. Gli acciai semiduri sono impiegati per utensili comuni (tenaglie, martelli, perni, alberi motore, ecc.), gli altri per utensili da taglio, per macchine e cilindri di laminatoi.

ACCIAI SPECIALI

Gli acciai speciali contengono alcuni elementi come cromo, nichel, molibdeno e silicio.

Presentano una bassa percentuale di carbonio, fattore che migliora alcune caratteristiche come la duttilità e la lavorabilità.

Quelli più in uso sono:

- acciai inossidabili con aggiunta di cromo e nichel. Hanno un'ottima resistenza alla corrosione e sono impiegati per la realizzazione di rubinetterie, pentole, posaterie, strumenti scientifici, ecc. Negli ultimi decenni si producono anche tondini in acciaio inox i quali, per il loro alto costo, trovano attualmente impiego soprattutto nel campo del restauro;

- acciai rapidi che contengono elevate percentuali di tungsteno e cobalto (10-20%). Durissimi e taglienti anche ad alte temperature, sono impiegati nella fabbricazione di utensili speciali che lavorano a velocità elevatissime;
- acciai al manganese che hanno un'ottima resistenza all'usura. Sono usati per parti speciali di macchine in movimento e binari ferroviari.

Alcuni tipi di acciaio con caratteristiche particolari sono:

- acciaio COR-TEN: presenta un alto limite di snervamento a trazione, una buona attitudine alla saldabilità e soprattutto un'ottima resistenza alla corrosione. Il manufatto, esposto agli agenti atmosferici, si ricopre infatti di una sottile patina di ossido che forma una barriera nei confronti dell'ossidazione, assumendo un gradevole aspetto rossastro;
- acciaio EX-TEN: è caratterizzato da un alto limite di snervamento, che lo rende idoneo per la realizzazione di strutture molto snelle, pur avendo carichi notevoli.

In base al contenuto di carbonio, gli acciai si distinguono in:

- acciai extra dolci con $C \leq 0,15\%$;
- acciai dolci con $C = 0,15 - 0,25\%$;
- acciai semidolci con $C = 0,25 - 0,40\%$;
- acciai semiduri con $C = 0,40 - 0,55\%$;
- acciai duri con $C = 0,55 - 0,80\%$;
- acciai extra duri con $C = 0,80 - 1,70\%$.

1.3.3. Ghisa

La ghisa prodotta negli *altiforni* (figura 1.3) è un materiale dotato di ottima durezza e resistenza alla corrosione e agli sforzi di compressione, ma è un prodotto fragile e di scarsa resistenza a trazione.

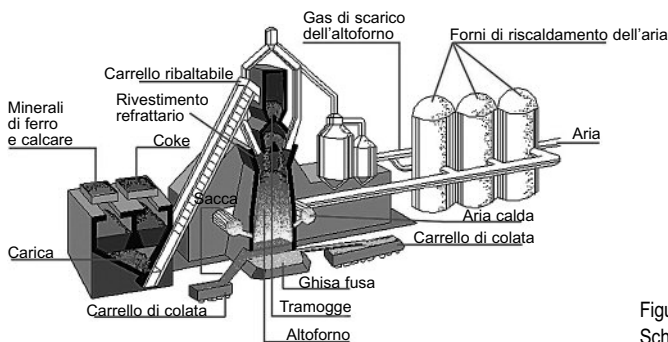


Figura 1.3
Schema di altoforno

Con una presenza di carbonio superiore all'1,70% si hanno le ghise acciaiose, mentre superando il 2,50% di carbonio si hanno le ghise comuni.

In particolare è possibile distinguere due tipi di ghisa:

- ghisa bianca: se contiene carbonio in quantità inferiori al 2,5%, è molto dura e fragile, difficilmente lavorabile con le macchine utensili e non saldabile;
- ghisa grigia: con carbonio compreso tra 2,5% e 4%, viene utilizzata essenzialmente per realizzare manufatti (elementi per ringhiere, cancelli, colonne, ecc.) attraverso colatura in appositi stampi.

1.3.4. La produzione dell'acciaio

L'acciaio si ottiene per affinazione della ghisa, alla quale vengono aggiunti rottami ferrosi, attraverso i più moderni procedimenti industriali. Una delle complicazioni più frequenti riguarda l'alto punto di fusione dell'acciaio, circa 1.370°, il quale rende necessario l'utilizzo sia di forni che di combustibili speciali.

Tra i sistemi maggiormente utilizzati per la produzione dell'acciaio si evidenziano quelli descritti di seguito.

PROCESSO MARTIN-SIEMENS

Il forno Martin-Siemens prende il nome dall'originario forno Martin (1856) al quale fu aggiunto nel 1864 il sistema Siemens di recupero del calore, il quale permette il preriscaldamento del gas combustibile e dell'aria di alimentazione. Si tratta di un processo più lento rispetto ad altri che però di contro consente di utilizzare rottami di ferro, di affinare tutti i tipi di ghisa, di raggiungere alte temperature (circa 1.650°C) e di ottenere una produzione di 100 tonnellate di acciaio in circa undici ore.

Da un punto di vista chimico in un forno Martin-Siemens avviene la riduzione per ossidazione del contenuto di carbonio presente nella carica, nonché l'eliminazione delle impurità (ad esempio fosforo, manganese, silicio e zolfo), le quali combinandosi con il calcare formano le scorie.

Queste reazioni avvengono quando si raggiunge la temperatura di fusione del metallo e continuano, mantenendo la temperatura del forno tra 1.540°C e 1.650°C, per tutto il tempo necessario a far abbassare il tenore di carbonio nel metallo fuso fino a raggiungere il valore richiesto. L'acciaio fuso viene quindi colato in una siviera per essere trasportato alle lingottiere, nelle quali avviene la colata definitiva.

Attraverso questo procedimento si ricavano i lingotti a sezione quadrata o ret-

tangolare (destinati alla laminazione) oppure rotonda, esagonale o ottagonale (destinati alla fucinatura).

PROCESSO DI CONVERSIONE

Il convertitore Bessemer o Thomas (oggi non molto usato) è il sistema più antico utilizzato per la produzione di acciaio in notevoli quantità. Si tratta di un grande recipiente in acciaio rivestito all'interno con refrattari, a base acida nel convertitore Bessemer, basica in quello Thomas.

Può ruotare lateralmente al fine di caricare la ghisa dell'altoforno e consentire la colata dell'acciaio; viene insufflata aria a pressione nella massa fusa, in modo che l'ossigeno in essa contenuto riduca il carbonio presente nella ghisa e, combinandosi con le impurità, le trasformi in scorie solide galleggianti, facili da eliminare.

Una variazione a questo metodo è il processo all'ossigeno (detto anche processo LD, dalle iniziali di Linz e Donawitz, le due città austriache in cui venne applicato per la prima volta).

La ghisa viene affinata in un forno simile al convertitore Bessemer o Thomas all'interno del quale, mediante una lancia raffreddata ad acqua posta al di sopra della ghisa fusa (metodo a lancia di ossigeno), al posto dell'aria viene soffiato ossigeno puro ad alta pressione.

PROCESSO CON FORNO ELETTRICO

I forni elettrici sono forni simili a quelli descritti in precedenza, dai quali differiscono nella misura in cui il calore per la fusione e per l'affinazione dell'acciaio viene ricavato tramite l'utilizzo di energia elettrica (cioè mediante l'arco elettrico) anziché di combustibile.

Effettuata la carica del forno, composta in genere da rottami ben selezionati, si immette corrente negli elettrodi, posizionati sulla superficie del metallo, innescando l'arco voltaico il quale, con l'enorme calore che si sprigiona, fonde il metallo.

L'acciaio fuso viene successivamente colato nelle siviere (enormi contenitori muniti di bocca di scarico) che, trasportate con l'ausilio di carri ponte, versano il contenuto nelle lingottiere, all'interno delle quali il metallo solidifica.

I forni elettrici, per effetto delle alte temperature che è possibile raggiungere al loro interno, consentono condizioni di affinazione ottimali e sono quindi particolarmente indicati per produrre acciai inossidabili e altri acciai speciali.