
Aspetti strutturali della copertura e del tetto di un edificio

1 Introduzione

La struttura della copertura dell'edificio, o più semplicemente la struttura del tetto di una casa, è spesso considerata come un elemento a sé stante e indipendente dal resto della costruzione. Questo punto di vista, dettato spesso dal fatto che la copertura - a maggior ragione se con struttura lignea - viene eseguita da un operatore diverso, che per praticità e semplicità si deve occupare, della progettazione delle considerazioni strutturali e del montaggio della copertura. Dal punto di vista strutturale l'edificio deve però essere considerato nel suo insieme, formato dalle pareti e dalle solette (o solai) e dalla copertura. Spesso è comunque possibile considerare la copertura come una struttura appoggiata sulla costruzione dell'edificio, e quindi, di fatto, indipendente dal resto dell'edificio per quanto concerne gli aspetti strutturali.

Al momento di definire i carichi orizzontali agenti sulla costruzione, ma al più tardi e comunque al momento di definire il comportamento sismico dell'edificio, questa semplificazione si rivela come tale e obbliga il progettista attento e cosciente a riflettere sul comportamento strutturale dell'intero edificio.

Per rendere nel migliore dei modi comprensibile la funzione strutturale della copertura dell'edificio, sia come elemento a sé stante che quale parte dell'edificio, in questo capitolo si illustra prima di tutto a grandi linee la struttura dell'edificio, in modo da poter affrontare il tema della struttura della copertura nel suo contesto.

2 Struttura dell'edificio

2.1 La costruzione dell'edificio

La struttura di un edificio è, in forma semplificata, formata dall'unione di pareti e solette (o solai nel caso non fossero eseguiti con struttura massiccia, ma sulla base di una travatura quale struttura portante principale) che, opportunamente collegati fra loro, formano una struttura completa e monolitica. Nel caso di edifici di legno, le pareti sono formate, per quanto riguarda la parte strutturale, da pannelli X-Lam o da elementi intelaiati. In caso di edifici costruiti con altri materiali, il principio della costruzione formata da pareti e solette resta invariato, come pure resta invariato il principio della discesa dei carichi verso le fondamenta della costruzione attraverso le pareti. Le osservazioni generali sulla struttura portante dell'edificio e della sua interazione con la copertura possono quindi essere ritenute comunque valide.

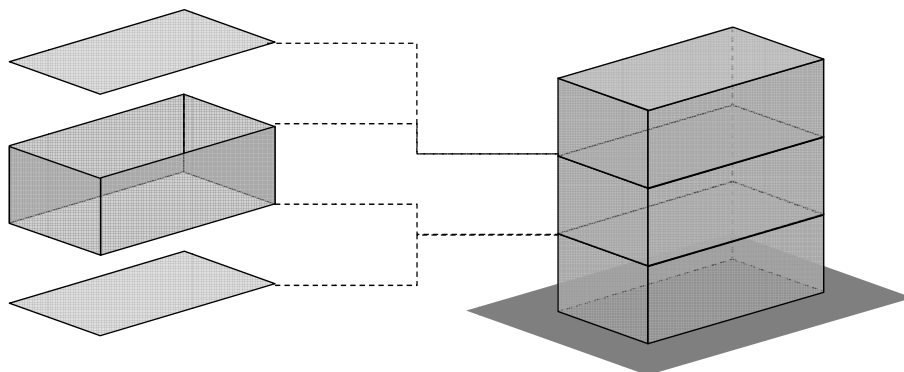


Figura 1: Struttura di un edificio formata da elementi strutturali piani (pareti e solai)

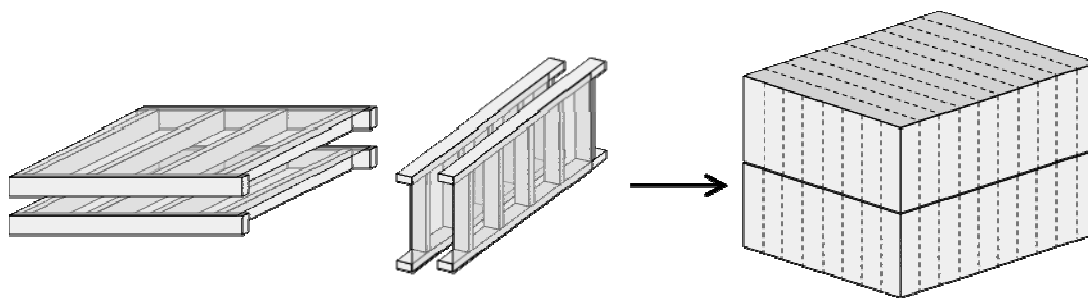


Figura 2: Costruzione intelaiata di legno di un edificio: pareti e solai formati da un telaio (montanti / travi inflesse) e dalla pannellatura di rivestimento

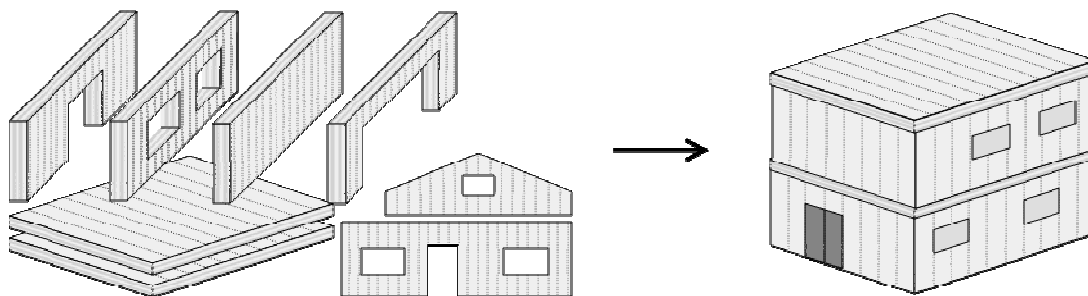


Figura 3: Costruzione di un edificio con pannelli X-Lam

Fanno eccezione le strutture di edifici basate sul sistema travi e pilastri, dove la discesa dei carichi verticali verso le fondamenta non avviene tramite le pareti strutturali dell'edificio, ma dove i carichi sono concentrati, tramite una serie di travi inflesse, in un numero limitato di punti e quindi trasmessi alle fondamenta tramite una serie di pilastri, in modo puntiforme. Questo tipo di struttura è meno frequente nell'ambito dell'edilizia di abitazione; esso è tipico della carpenteria metallica o delle strutture di dimensioni più grandi, come la copertura di grandi superfici, di capannoni industriali o sportivi. La costruzione di edifici ad uso abitazione con questo sistema strutturale è senz'altro possibile. Le considerazioni sulla struttura della copertura mantengono la loro validità, mentre l'interazione fra la copertura e il resto della struttura di regola più complessa, in quanto anche i carichi provenienti dalla copertura devono essere concentrati nei pilastri della costruzione.

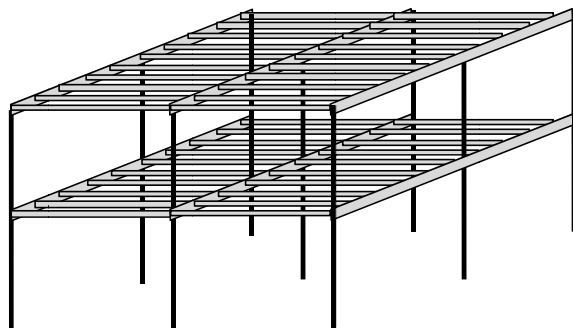


Figura 4: Costruzione di un edificio con griglia di pilastri e travi inflesse

La discesa dei carichi verticali provenienti dalla copertura e dai singoli solai avviene, negli edifici formati da elementi di parete portanti, attraverso le pareti verticali. In questo modo i carichi verticali sono di regola distribuiti su tutto il perimetro - o comunque una buona parte - dell'edificio e la sollecitazione dei singoli elementi o delle singole pareti resta limitata.

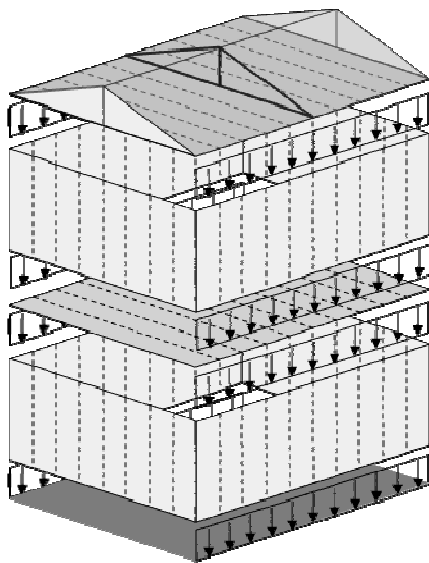


Figura 5: Discesa dei carichi verticali

La copertura, o il tetto, dell'edificio non si sottrae a questo principio: le pareti dell'edificio sono gli appoggi strutturali della struttura del tetto, ed alle pareti devono essere trasmesse le forze verticali provenienti dal tetto.

2.2 La struttura tridimensionale dell'edificio

La struttura di un edificio è sempre anche sottoposta all'azione di forze orizzontali, dovute principalmente all'azione del vento contro le pareti della costruzione. Come si vedrà più avanti, a dipendenza del tipo di costruzione e di struttura scelta, sui vari elementi della costruzione possono agire anche altre forze orizzontali.

La discesa nelle fondamenta delle forze orizzontali richiede la collaborazione di più elementi dell'edificio, e deve essere considerata in ambito tridimensionale. Il principio può essere rappresentato sulla struttura di un piano di edificio, formata idealmente da 6 elementi piani: 4 pareti, un solaio che ne forma la copertura e un secondo solaio, che rappresenta il solaio del piano inferiore o - più semplicemente - le fondamenta della costruzione.

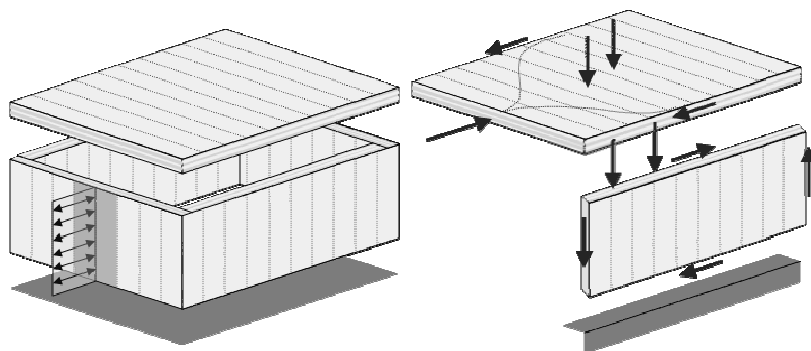


Figura 6: Struttura tridimensionale di un edificio a un piano e trasmissione dei carichi orizzontali agenti sulle pareti

Prendendo come esempio di forza orizzontale agente sulla struttura la forza del vento agente su una parete dell'edificio, è possibile rappresentare la funzione di ogni elemento e le sollecitazioni cui è sottoposto.

La forza del vento agisce sulla superficie della parete, che funge da elemento inflesso verticale, trasportando le forze verso l'alto e verso il basso; le dimensioni delle pareti degli edifici di abitazione hanno spesso un'altezza decisamente inferiore alla lunghezza: la trasmissione delle forze dovute al vento direttamente sulle pareti ortogonali a quella sottoposta direttamente all'azione del vento richiederebbe una struttura della parete molto più robusta ed è quindi da escludere. Queste forze, che possono essere definite come le reazioni di appoggio della parete sotto l'azione del vento, rappresentano le forze agenti sulle controventature orizzontali, formate dagli elementi strutturali dei solai - e della copertura - con funzione strutturale di lastra.

La lastra del solaio permette la trasmissione delle forze orizzontali sulle pareti parallele alla direzione delle forze considerate, che fungono da controventatura verticale (effetto strutturale di lastra) e trasmettono le forze al solaio del piano inferiore, o direttamente nelle fondamenta dell'edificio.

In questo semplice esempio, la copertura è stata ipotizzata come formata da una sola lastra orizzontale, che funge da sostegno strutturale trasversale per le pareti dell'edificio.

L'ampliamento dell'edificio con l'aggiunta di piani supplementari non cambia il principio della discesa delle forze orizzontali agenti su di esso, con le pareti verticali che, quale elemento inflesso verticale, permettono di distribuire le forze orizzontali sulle lastre orizzontali alle quali sono direttamente collegate. Di regola gli elementi di parete degli edifici possono essere considerati come non continui fra un solaio e l'altro, ragione per cui la parete verticale distribuisce le forze orizzontali secondo le regole della trave semplice.

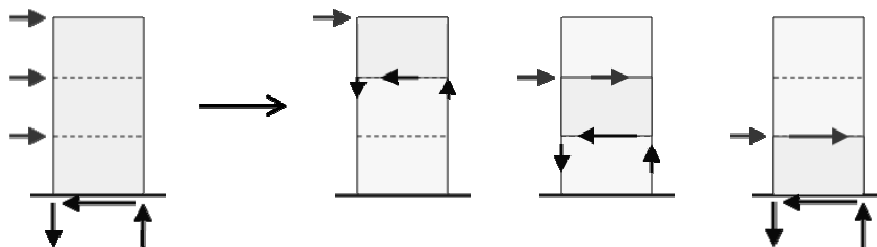


Figura 7: Edificio a più piani

Non saranno analizzati in questa sede gli aspetti strutturali specificamente legati alle pareti dell'edificio e alla loro molteplice funzione strutturale di discesa dei carichi verticali (funzione di pilastro su tutta la lunghezza della parete), di elemento di controventatura di tutto l'edificio (funzione di lastra) e di distribuzione verso le lastre orizzontali dei solai delle forze agenti perpendicolarmente alla superficie della parete (funzione di piastra).

In riferimento all'interazione fra la copertura e la struttura dell'edificio è invece interessante notare come fino ad ora l'elemento della copertura sia stato considerato a tutti gli effetti come un solaio, e quindi come un elemento piano con le medesime funzioni di un solaio. La costruzione della copertura a forma di tetto classico a due falde con una travatura in legno, come sarà descritta più sotto, deve comunque garantire il corretto funzionamento strutturale dell'edificio.

Il collegamento fra i diversi elementi piani formanti l'edificio è essenziale per il corretto funzionamento della struttura portante dell'edificio, in quanto deve assicurare la trasmissione delle forze fra un elemento e l'altro. Ciò assume un'importanza ancora più grande quando la copertura è una struttura diversa per materiale usato, o per configurazione strutturale, o per le procedure di esecuzione usata, dal resto della costruzione. L'elemento di collegamento fra le pareti della costruzione e la struttura del tetto viene spesso definito come cordolo.

2.3 Il cordolo e le sue funzioni

Sulla descrizione e sulla definizione del cordolo in un edificio si possono incontrare pareri e opinioni discordi. Senza voler entrare nel merito delle definizioni, è utile indicare brevemente cosa è il cordolo di una parete e quali funzioni deve assumere, ricordando che a questo stadio della discussione il materiale con cui sono formati il cordolo e le pareti non è di rilevanza essenziale.

Il cordolo è per definizione l'elemento di collegamento fra le pareti e gli elementi orizzontali della struttura, cioè assicura la connessione strutturale, e quindi la trasmissione delle forze fra questi due elementi. Inoltre il cordolo deve garantire la corretta introduzione delle forze nell'elemento di parete, sia per quanto concerne le forze verticali provenienti dalla soletta o dal solaio, che per quanto concerne le forze orizzontali dovute alla funzione di controventatura degli elementi orizzontali. In alcuni casi il cordolo assume anche la funzione di "centina" della parte superiore delle pareti, quando queste non sono sostenute da nessun altro elemento.

È opportuno ricordare che la normativa italiana più recente (NTC 2008) impone per le strutture a setti portanti in muratura la presenza obbligatoria di un cordolo continuo all'intersezione fra solai e pareti, descrivendone poi le caratteristiche minime. In questo caso il cordolo assume talvolta anche la funzione di continuità e di collegamento dei singoli elementi di pareti, specie se la muratura è di

qualità non ottimale (ristrutturazioni e simili). Per le costruzioni in legno non viene imposta la presenza di un cordolo. È però evidente, oltre che logico, che le funzioni del cordolo devono comunque essere assicurate dalla struttura.

Trasmissione di forze fra pareti e solai

A dipendenza del tipo di solaio, il collegamento fra il solaio e la parete deve essere accuratamente concepito ed eseguito.

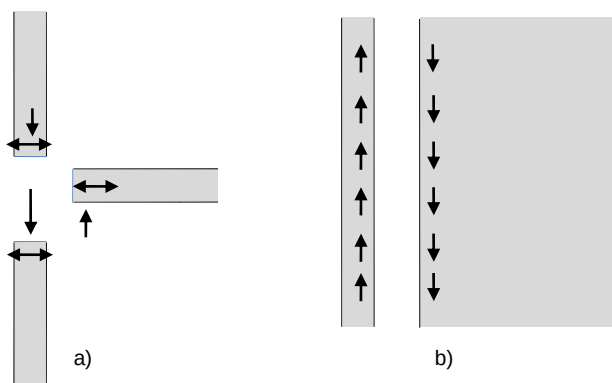


Figura 8: Trasmissione delle forze fra pareti e solai: a) sezione verticale - b) sezione orizzontale

Allo stesso modo deve essere assicurata l'introduzione delle forze orizzontali e verticali provenienti dalla copertura nelle pareti su cui la copertura è appoggiata e fissata. Nel caso pareti in muratura la presenza del cordolo diventa praticamente indispensabile, oltre che prescritta in normativa, in modo da permettere l'introduzione delle forze nella muratura e l'applicazione corretta dei mezzi di collegamento necessari.

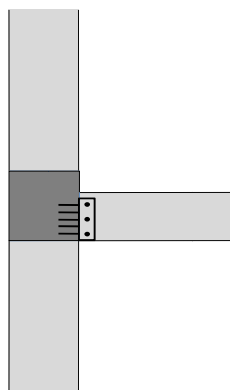


Figura 9: Esempio di cordolo per pareti in muratura e solaio con travi di legno

Nel caso di pareti in legno, i mezzi di collegamento assicurano la trasmissione delle forze di taglio e di trazione, mentre le forze di compressione sono molto spesso trasmesse per pressione di contatto fra i diversi elementi. Nel caso delle solette in calcestruzzo o in laterocemento, il cordolo diventa parte integrante della soletta.

Trasmissione di forze fra pareti e elementi di copertura

Il cordolo deve assumere questa funzione anche al lembo superiore delle pareti di un edificio, dove cioè è appoggiata e fissata la struttura della copertura o del tetto. In caso di tetto piano, come si vedrà più avanti, valgono gli stessi principi che per i collegamenti fra pareti e solai, mentre in caso di tetto a falde occorre tener presente dell'inclinazione del pannello del tetto, e del fatto che la trasmissione delle forze verticali tramite pressione di contatto richiede una superficie di contatto orizzontale fra gli elementi della copertura e il cordolo.

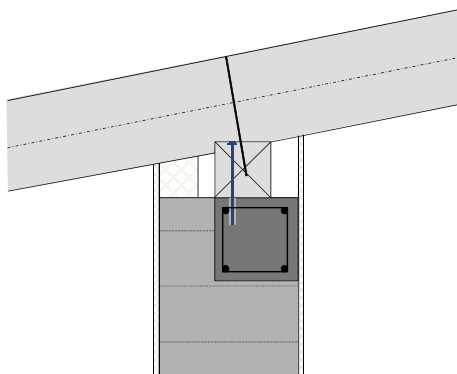


Figura 10: Cordolo quale collegamento fra la travatura del tetto e la parete

In tutti questi casi il cordolo permette di distribuire e introdurre le forze provenienti dal solaio, dalla soletta o dalla copertura nella parete, evitando quindi i problemi legati all'azione di forze concentrate sulle pareti in muratura e distribuendo le forze in modo più omogeneo su tutto il perimetro della muratura.

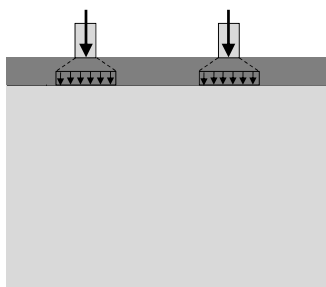


Figura 11: Distribuzione delle forze verticali tramite il cordolo

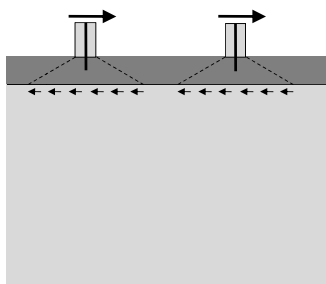


Figura 12: Distribuzione delle forze orizzontali tramite il cordolo

Il cordolo quale "centinatura" della parete

Nel caso di copertura in legno di edifici in muratura il lembo superiore non è sempre sostenuto da una superficie orizzontale, o comunque perpendicolare al piano della parete. Ciò avviene in caso di copertura con travatura inflessa, quando le pareti parallele alla travatura non sono direttamente collegate con la struttura della copertura, o quando la copertura non ha funzione di controventatura (soluzione quest'ultima comunque sconsigliabile). In questi casi il lembo superiore della parete verticale deve essere sostenuto prima di tutto per garantire la stabilità della parete, ma anche per permettere alla parete di scaricare le forze del vento ad un elemento strutturale che le possa trasmettere alle altre pareti con funzione di controventatura verticale.

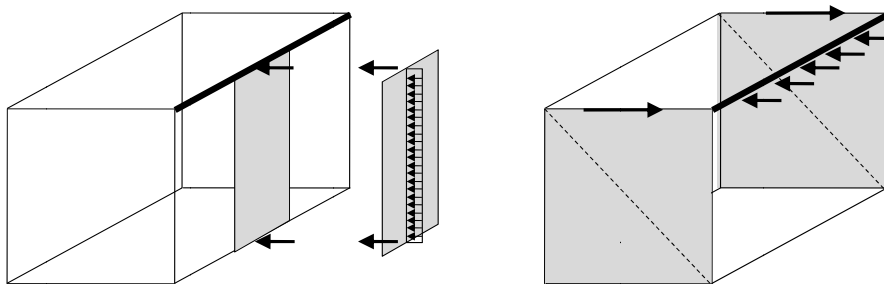


Figura 13: Cordolo quale centinatura della parete

Il cordolo funge da centinatura o da trave inflessa orizzontale anche nei casi in cui la parte sia interrotta o presenti delle aperture che impongano la presenza del cordolo per garantire la continuità strutturale della parete.

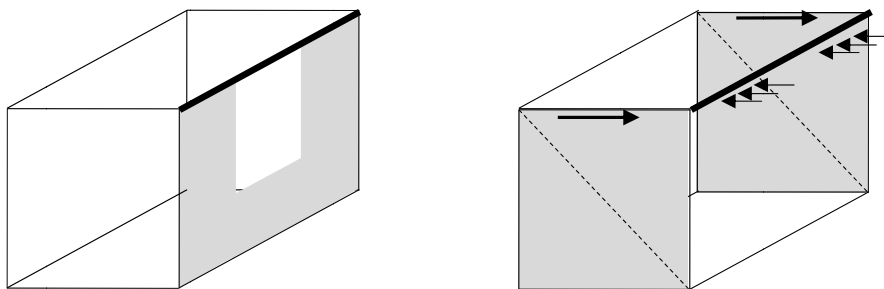


Figura 14: Cordolo quale centinatura della parete con aperture

La trave formante il cordolo è normalmente di dimensioni ridotte e comunque spesso limitata dallo spessore della parete. Per migliorare la rigidità della struttura tridimensionale e per ottimizzare la funzione irrigidente del cordolo, nelle costruzioni in muratura il cordolo può essere realizzato come telaio su tutto il perimetro del lembo superiore della muratura. Dove le pareti timpano risultano ad altezza variabile, a causa dell'inclinazione delle falde del tetto, si può constatare una forma particolare di cordolo, che semplicemente segue il bordo superiore del perimetro delle pareti, creando un telaio tridimensionale. In questi casi l'elemento di calcestruzzo armato formante il cordolo presenta una rigidità globale decisamente ridotta, ma assume comunque le funzioni appena descritte.

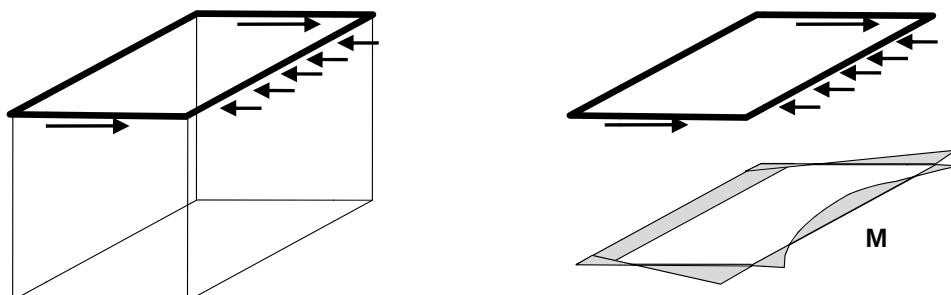


Figura 15: Cordolo quale centinatura della parete a forma di telaio

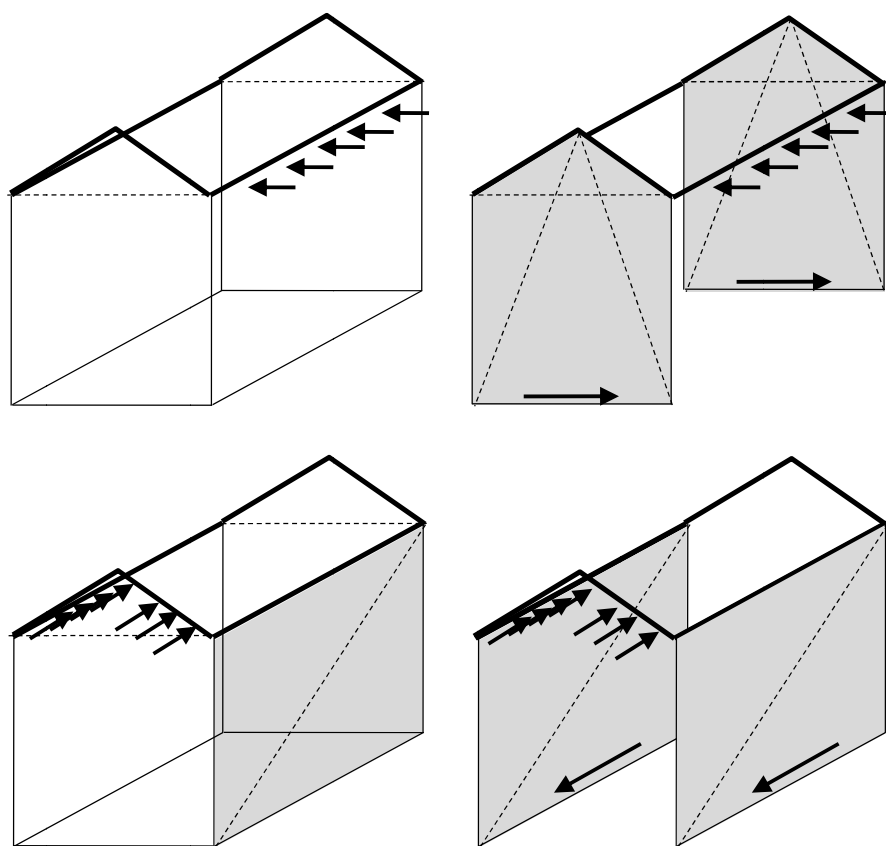


Figura 16: Cordolo quale centinatura della parete a forma di telaio con pareti timpano ad altezza variabile

Le pareti di legno, indipendentemente dalla tipologia costruttiva utilizzata, sono normalmente eseguite come elementi di altezza di un piano e presentano, quando non sono formate da pannelli X-Lam, sempre un elemento di continuità lungo tutto il perimetro. Questo elemento assume, di fatto, le funzioni del cordolo perimetrale della parete, sia per quanto riguarda la continuità della parete, sia per quanto riguarda l'introduzione e la trasmissione delle forze in gioco per pressione di contatto o tramite appositi mezzi di collegamento. Nel caso di costruzioni in legno, spesso, non si definisce in modo particolare l'elemento di cordolo, in quanto le sue funzioni sono comunque assunte dai diversi elementi strutturali e connettori formanti la struttura.

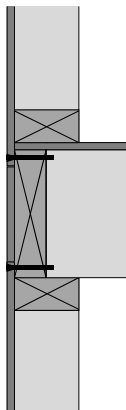


Figura 17: Giunto parete solaio di una costruzione intelaiata: le travi di bordo della parete (o del solaio) possono assumere le funzioni del cordolo

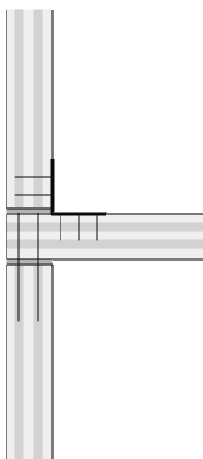


Figura 18: Giunto parete solaio di una costruzione a pannelli X-Lam: la funzione del cordolo è data dalla soletta collegata direttamente con le pareti.

Il cordolo in legno sulle pareti di muratura

Dal punto di vista strutturale non ci sono inconvenienti alla realizzazione del cordolo del bordo superiore della muratura in legno, a condizione che le funzioni del cordolo necessarie a garantire la sicurezza e il funzionamento strutturale della costruzione siano garantite. L'uso di un cordolo in legno presuppone quindi il corretto collegamento sia verso la muratura che verso la copertura, in modo da poter assicurare secondo le necessità del caso specifico le funzioni strutturali descritte sopra.

L'uso del cordolo in legno collegato direttamente alla muratura richiede un'accurata scelta ed una altrettanto accurata esecuzione dei collegamenti fra il cordolo e la parete in muratura: si tratta di una soluzione piuttosto rara, anche se possibile. Occorre in questo caso tener presente che gli elementi lineari del cordolo non possono formare un telaio, in quanto i giunti rigidi negli angoli, praticamente, non possono essere realizzati: la rigidità globale della centinatura del bordo superiore delle pareti è quindi più ridotta.

Piuttosto frequente è invece la soluzione composta dal cordolo in calcestruzzo armato su cui è appoggiato e fissato un elemento ligneo, sul quale è fissata con collegamenti della costruzione in legno la struttura e la costruzione della copertura.

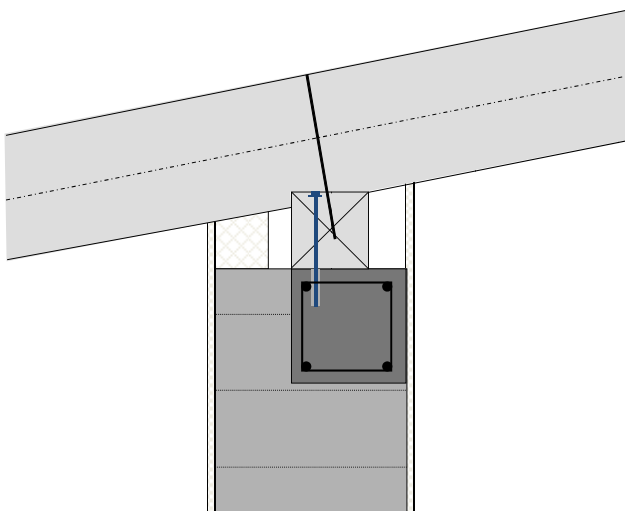


Figura 19: Cordolo sulla parete in muratura, su cui è fissato un dormiente in legno per semplificare il montaggio e il fissaggio della copertura

3 Tipologie della copertura

La forma e la geometria della copertura hanno conseguenze essenziali sulle considerazioni di tipo strutturale. È quindi utile definire i diversi tipi di copertura secondo la forma.

3.1 Tetto piano, tetto a falda unica

Il tetto comunemente indicato come "tetto piano" è la soluzione più semplice dal punto di vista strutturale, in particolar modo quando si rinuncia alla sporgenza della superficie del tetto: la copertura può essere vista come un diaframma orizzontale che, come tutti gli elementi di solaio, trasmette i carichi orizzontali sulle pareti e funge da diaframma orizzontale per la controventatura e la stabilizzazione dell'edificio.

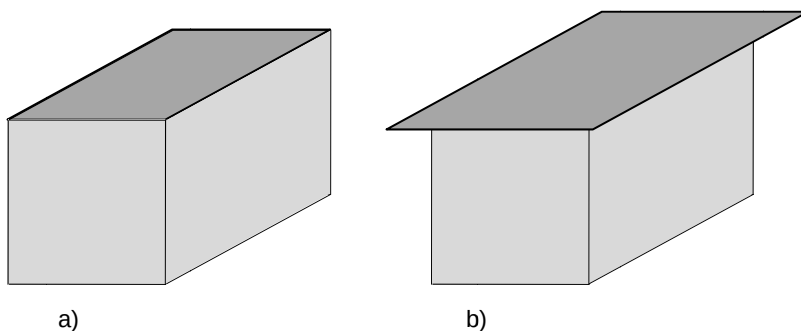


Figura 20: Edificio con tetto piano

La concezione della struttura della copertura e dei dettagli costruttivi ad essa legati, è in questo caso simile alla concezione dei solai intermedi e non richiede di essere trattata separatamente. Le differenze fra i solai intermedi e la copertura sono prevalentemente di natura costruttiva (fisica tecnica, costruzione dell'avantetto, etc.), e legate ai carichi agenti sulla copertura, differenti rispetto ai carichi agenti sui solai intermedi.

L'esecuzione del tetto piano con avantetto sporgente richiede la creazione di una parte a sbalzo su tutto il perimetro della copertura. L'esecuzione con pannelli di legno massiccio a strati incrociati X-lam permette normalmente di ottenere senza problemi lo sbalzo desiderato. In caso di struttura intelaiata, o comunque formata da una travatura, la creazione dello sbalzo è senza problemi nella direzione della travatura, mentre nella direzione ad essa perpendicolare è spesso necessario applicare soluzioni particolari, simili a quelle che saranno descritte più avanti per il tetto a falde.

3.2 Tetto a due falde

Il tetto a due falde è la forma più semplice della copertura classica e tradizionale dell'edificio di abitazione. Esso è formato da due superfici piane e inclinate. La struttura portante, come descritto più avanti, può essere concepita in modi diversi e non è definita in modo univoco dalla forma a due falde della copertura.

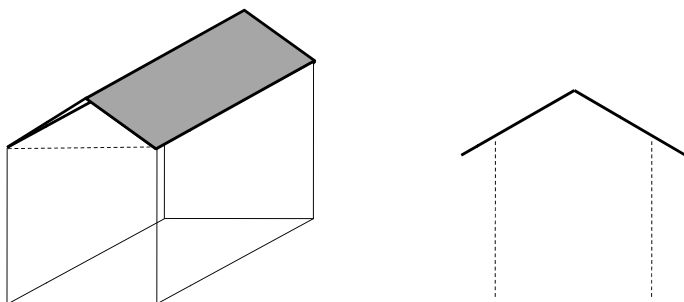


Figura 21: Tetto a due falde - principio

L'inclinazione delle falde del tetto può essere scelta, in linea di principio, a piacimento del progettista. Spesso l'inclinazione delle falde del tetto dipende dalla cultura architettonica locale e può essere spiegata con ragioni storiche e culturali. È per esempio noto che in alcuni paesi nordici l'inclinazione delle falde del tetto è normalmente molto forte, mentre nelle regioni più a sud l'inclinazione è decisamente più lieve. Le ragioni per spiegare queste differenze possono essere molteplici: l'inclinazione elevata favorisce lo slittamento della neve e riduce i carichi agenti sulla struttura, o permette in modo più facile lo scorrimento dell'acqua verso il basso, riducendo il rischio di infiltrazioni, o ancora permette di coprire una parte importante dell'edificio, riducendo l'esposizione alle intemperie delle pareti; l'inclinazione ridotta delle falde del tetto permette di ridurre la superficie del tetto e quindi della copertura necessaria, o permette di ridurre la superficie di copertura direttamente esposta al sole e alle intemperie, o ancora permette di ridurre leggermente le forze di risucchio provocate dal vento.

Inoltre, come si vedrà più sotto, anche la struttura portante della copertura può in alcuni casi richiedere un'altezza statica della copertura tale da creare un'inclinazione più elevata delle falde.

3.3 Tetto a più falde

Il tetto a più falde, o il tetto a forma irregolare possono essere viste come evoluzioni del tetto a due falde, rese necessarie dalla forma irregolare dell'edificio o dalle esigenze estetiche e architettoniche.

La struttura di questo tipo di copertura deve essere definita in modo accurato, in quanto spesso per ottenere queste forme devono essere interrotti gli elementi strutturali della copertura.

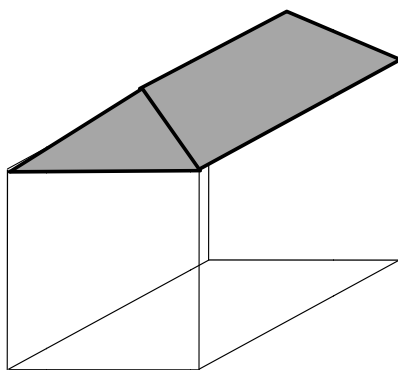


Figura 22: Tetto a più falde e a forma irregolare

3.4 Altri casi e soluzioni particolari

L'esecuzione di coperture dalle forme particolari richiede normalmente lo sviluppo di una costruzione e di una struttura adeguate alla forma scelta. Spesso queste soluzioni non sono direttamente paragonabili con le soluzioni più classiche del tetto a falde, ma si basano sul principio della struttura a capriate che coprono la superficie dell'edificio sul suo lato più corto.

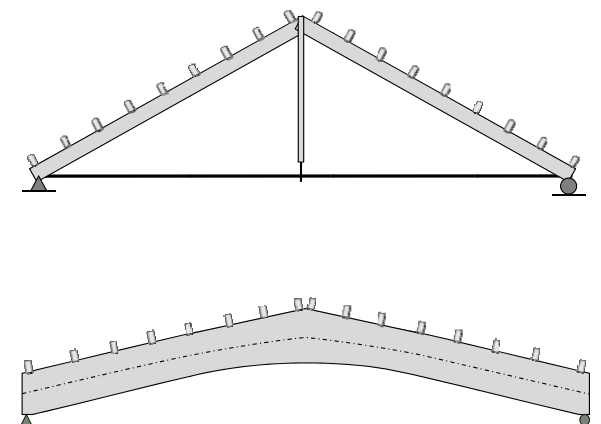


Figura 23: Tetto con struttura a capriata o con travi portanti di forma particolare

Una serie di altre situazioni portano alla creazione di soluzioni particolari, che spesso non vengono discusse nel dettaglio, ma che, a dipendenza delle condizioni geometriche che le caratterizzano, possono uno studio e un approfondimento particolare anche dal punto di vista strutturale. Si tratta di

tutte le aperture nella superficie del tetto (finestre in particolar modo), o di tutte le aggiunte (tipo abbaini, forme localmente particolari della superficie, ...), che se di dimensione più grande che l'interessa fra gli elementi della struttura portante, richiedono la messa in atto di soluzioni strutturali e fisiche adeguate.

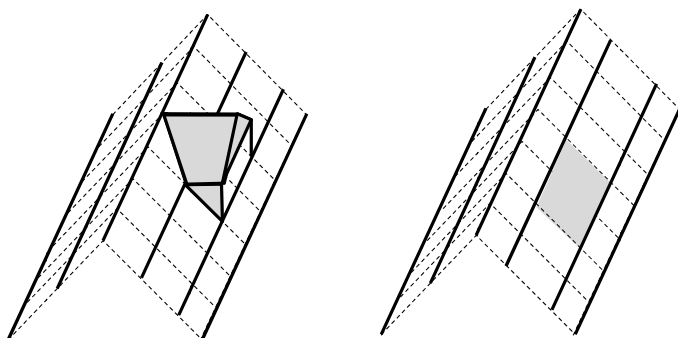


Figura 24: Aperture, finestre, abbaini, etc. possono rendere necessario uno studio accurato delle soluzioni costruttive adottate

4 I carichi agenti sul tetto di un edificio

L'analisi del tetto dell'edificio quale elemento strutturale richiede prima di tutto la definizione delle forze agenti su di esso. I carichi agenti sulle strutture sono definiti dalle normative vigenti; in questo caso fanno stato le indicazioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni - NTC (DM 14.1.08 e DM di integrazione 6.5.08) così come pubblicate in GU in data 24.2.08 e 2.7.08, che entreranno in vigore in modo definitivo secondo le indicazioni dei DL che regolano la fase transitoria.

4.1 Peso della struttura e del pacchetto

Il carico dovuto al peso proprio della struttura e della costruzione della copertura è da considerarsi come carico di lunga durata e deve essere definito sulla base della concezione della copertura di caso in caso. Normalmente si definisce il peso proprio della copertura come una forza per unità di superficie; la direzione della linea d'azione di questa forza è la verticale, e la forza peso agisce sempre dall'altro verso il basso. La forza complessiva agente sulla struttura dovrà essere determinata moltiplicando questo valore per la superficie effettiva di riferimento, cioè la superficie inclinata della copertura.

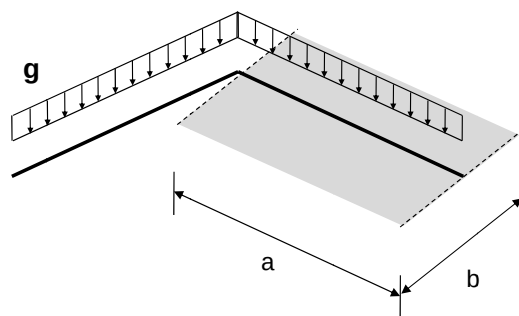


Figura 25: Forza peso della copertura

La forza totale dovuta al peso proprio di una falda di del tetto della figura 25 vale:

$$F_{g,k} = g_k \cdot A = g_k \cdot b \cdot a$$

dove: $F_{g,k}$ = Forze peso totale di una falda
 g_k = valore caratteristico del peso complessivo della copertura in KN/m^2
 A = superficie della falda del tetto
 b, a = lunghezza e larghezza della falda del tetto

Il peso della copertura dipende dalla sua concezione e dai materiali usati; risulta quindi molto difficile indicare dei valori approssimativi o di riferimento.

I valori seguenti hanno quindi soltanto carattere indicativo e possono essere applicati per una prima valutazione approssimativa del peso della costruzione:

copertura di tegole in cotto:	$g_k = 0.75 \text{ kN/m}^2$
listonatura doppia	$g_k = 0.05 \text{ kN/m}^2$
guaine e membrane (al pz.)	$g_k = 0.005 \text{ kN/m}^2$
coibentazione 100 mm	$g_k = 0.25 \text{ kN/m}^2$
rivestimento in legno 20 mm	$g_k = 0.15 \text{ kN/m}^2$
struttura portante secondaria	$g_k = 0.30 \text{ kN/m}^2$

Ne risulta un peso complessivo, approssimativo, per una copertura con coibentazione e copertura di tegole in cotto o in cemento corrispondente a $g_k = 1.5 \dots 2.0 \text{ kN/m}^2$, mentre per una copertura simile, ma senza tegole e un rivestimento leggero (lamiera o altro), si ottiene un peso del pacchetto di copertura corrispondente a ca. $g_k = 0.8 \dots 1.2 \text{ kN/m}^2$.

4.2 Carico neve

Il carico neve è definito nel capitolo 3.4 delle già citate NTC. Il carico neve agente sulla costruzione è sempre definito come una forza per unità di superficie orizzontale: il carico neve è ipotizzato agente in direzione verticale e riferito alla proiezione orizzontale della superficie della copertura.

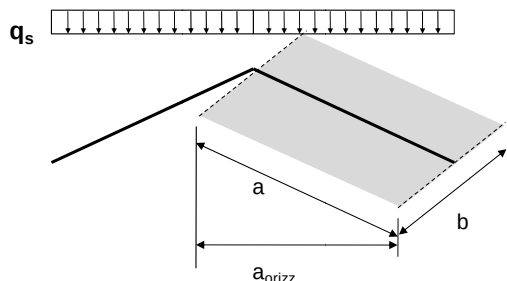


Figura 26: Forza neve agente sulla copertura

La forza totale dovuta al peso proprio di una falda di del tetto della figura 26 vale:

$$F_{g,k} = q_s \cdot A_{\text{orizz.}} = q_s \cdot b \cdot a_{\text{orizz.}}$$

Il carico neve agente sulla copertura è definito dalla formula:

$$q_s = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t$$

dove:

- q_s = carico neve agente sulla copertura
- q_{sk} = valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo
- μ_i = coefficiente di forma della copertura
- C_E = coefficiente di esposizione
- C_t = coefficiente termico

Ammettendo che i coefficienti di esposizione e termico sono, in assenza di situazioni particolari che giustificano una scelta diversa, praticamente sempre di valore uguale a 1.0, restano da definire il valore caratteristico del carico neve al suolo e il coefficiente di forma della copertura.

Il valore q_{sk} del carico neve al suolo è definito nelle NTC al capitolo 3.4.2 e dipende dalla località e dall'altitudine in cui si trova la costruzione. Per altitudini al di sopra del 1500 metri, come pure per tutte le situazioni locali e particolari nelle quali il carico neve dovesse essere supposto differire dalla regole generiche, occorre analizzare la situazione definire il carico neve in relazione al caso specifico.

Il valore minimo del carico neve vale per altitudini al di sotto dei 200 m; al di sopra di questo limite il carico neve è definito in funzione dell'altitudine. Inoltre l'Italia è stata suddivisa in 3 zone e due sotto-zone con carico neve diverso:

Zona 1 alpina:	Aosta, Belluno, Bergamo, Biella, Bolzano, Brescia, Como, Cuneo, Lecco, Pordenone, Sondrio, Torino, Trento, Udine, Verbania, Vercelli, Vicenza
Zona 1 mediterranea:	Alessandria, Ancona, Asti, Bologna, Cremona, Forlì-Cesena, Lodi, Milano, Modena, Novara, Parma, Pavia, Pesaro e Urbino, Piacenza, Ravenna, Reggio Emilia, Rimini, Treviso, Varese
Zona 2:	Arezzo, Ascoli Piceno, Bari, Campobasso, Chieti, Ferrara, Firenze, Foggia, Genova, Gorizia, Imperia, Isernia, La Spezia, Lucca, Macerata, Mantova, Massa Carrara, Padova, Perugia, Pescara, Pistoia, Prato, Rovigo, Savona, Teramo, Trieste, Venezia, Verona
Zona 3:	Agrigento, Avellino, Benevento, Brindisi, Cagliari, Caltanissetta, Carbonia-Iglesias, Caserta, Catania, Catanzaro, Cosenza, Crotone, Enna, Frosinone, Grosseto, L'Aquila, Latina, Lecce, Livorno, Matera, Medio Campidano, Messina, Napoli, Nuoro, Ogliastro, Olbia Tempio, Oristano, Palermo, Pisa, Potenza, Ragusa, Reggio Calabria, Rieti, Roma, Salerno, Sassari, Siena, Siracusa, Taranto, Terni, Trapani, Vibo Valentia, Viterbo

Il valore del carico neve minimo (fino a 200 m di altitudine) vale:

Zona 1: $q_{sk} = 1.50 \text{ kN/m}^2$

Zona 2: $q_{sk} = 1.00 \text{ kN/m}^2$

Zona 3: $q_{sk} = 0.60 \text{ kN/m}^2$

Oltre i 200 m sul livello del mare, il carico neve al suolo è definito nel modo seguente:

Zona 1 alpina: $q_{sk} = 1.39 \left[1 + (a_s / 728)^2 \right] \text{ kN/m}^2$

Zona 1 mediterranea: $q_{sk} = 1.35 \left[1 + (a_s / 602)^2 \right] \text{ kN/m}^2$

Zona 2: $q_{sk} = 0.85 \left[1 + (a_s / 481)^2 \right] \text{ kN/m}^2$

Zona 3: $q_{sk} = 0.51 \left[1 + (a_s / 481)^2 \right] \text{ kN/m}^2$

Il coefficiente di forme per le coperture varai in funzione del tipo di copertura e dell'angolo di inclinazione della falda del tetto. Occorre tener presente che in caso di impedimento del naturale scivolamento della neve, questo coefficiente assume il valore di 0,80; inoltre per le forme della copertura diverse dal tetto a falde semplice, occorre fare riferimento a ulteriori normative di comprovata validità per definire questo coefficiente. Per i casi semplici del tetto a falde, vale:

$$\mu_i = 0.80 \text{ per } \alpha \leq 30^\circ$$

$$\mu_i = 0.8 \frac{(60 - \alpha)}{30} \text{ per } 30^\circ < \alpha < 60^\circ$$

$$\mu_i = 0.0 \text{ per } \alpha \geq 60^\circ$$

Nel caso di un tetto a due falde, il carico neve applicato sulle due falde non è uguale: sono da considerare i casi di carico indicati nella figura 27, dove il caso 1 si riferisce alla combinazione di carichi senza vento e i casi 2 e 3 si riferiscono alla combinazione di carichi con il vento.

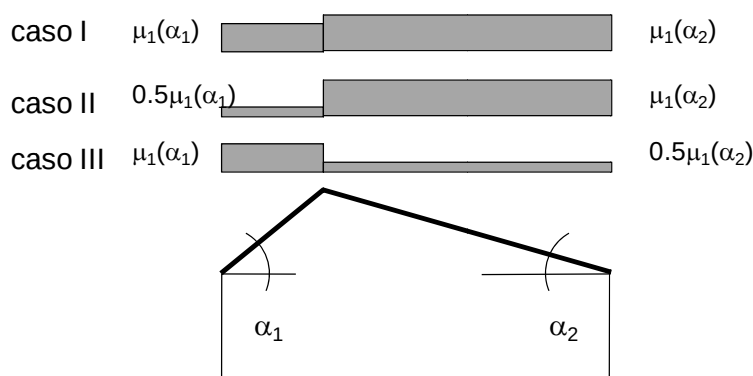


Figura 27: Distribuzione del carico neve sul tetto a due falde

Il principio della distribuzione della neve sul tetto a due falde, tenendo conto delle osservazioni fatte sulla possibilità di scivolamento della neve, può essere di regola applicato, nella prima fase di calcolo della struttura, a tutte le coperture semplici di tetto a falde.

4.3 Carico vento

La determinazione del carico dovuto all'azione del vento è definito al capitolo 3.3. delle NTC e può sembrare a prima vista piuttosto complessa. Il principio che porta all'azione delle forze del vento sugli edifici è, per contro, piuttosto semplice: la costruzione rappresenta, infatti, un ostacolo al libero spostamento della massa di aria, e quindi al flusso del vento. L'edificio impedisce quindi il flusso del vento, rallentandolo e deviandolo, provocando in questo modo l'instaurarsi della pressione del vento agente su di esso.

La presenza fisica dell'edificio crea una variazione nella dinamica del flusso del vento, che provoca la variazione della pressione esercitata dal vento sulle diverse superfici dell'edificio. Senza voler entrare nell'analisi di dettaglio delle pressioni dovute all'azione dinamica del vento, si può affermare che le superfici che si oppongono direttamente al flusso del vento saranno sottoposte ad una pressione agente su di esse; le superfici dal lato opposto quindi quelle apparentemente "riparate" dal vento sono sottoposte all'azione dinamica della corrente d'aria in movimento e quindi sottoposte ad una pressione negativa, o ad una pressione di risucchio del vento. Le superfici orientate in modo simile al flusso del vento sono a loro volta toccate dalla corrente d'aria in movimento; la velocità di spostamento dell'aria crea, infatti, localmente una diminuzione locale della pressione dell'aria, rispetto al valore della pressione atmosferica presente in caso di velocità del vento uguale a zero: questa riduzione di pressione si manifesta come un risucchio, o come una pressione negativa agente sulle superfici interessate.

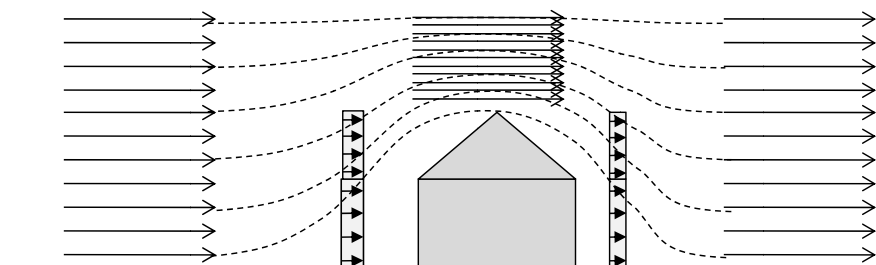


Figura 28: Effetto del vento su un edificio

Riassumendo si può affermare che tutte le superfici dell'edificio sono interessate dall'azione del vento: le superfici direttamente esposte al flusso del vento subiscono una pressione del vento, mentre le superfici "protette" e quelle più o meno parallele al flusso del vento sono sottoposte ad una pressione negativa o ad un risucchio.

La forma dell'edificio ha un effetto essenziale sull'ampiezza, e soprattutto sulla distribuzione delle pressioni esercitate dal vento. È per questo che la pressione del vento (tanto positiva quanto negativa) risulta particolarmente elevata in prossimità degli spigoli della costruzione. La forma aerodinamica dell'edificio può permettere di ridurre e ottimizzare le forze dovute al vento; considerazioni di questo tipo assumono un interesse importante solo in caso di edifici di dimensioni molto grandi, o di costruzioni particolarmente esposte all'azione del vento (grattacieli, ponti, torri, tribune, ed altri manufatti di dimensioni decisamente importanti): nel caso dell'edilizia comune (abitazione, uffici, scuole, industria, ecc.) questi aspetti non vengono presi in considerazione.

È interessante ricordare che questi effetti di riduzione della pressione in caso di spostamento dell'aria sono il principio di funzionamento di ogni elica o ala d'aeroplano, dove grazie alla velocità imposta all'elemento (ala, pala) e grazie alla sua forma non simmetrica, si crea su un lato dello stesso una pressione minore rispetto a quella agente sull'altro lato, creando quindi una forza agente sull'elemento stesso, che a sua volta ne provoca il movimento, permettendo - per esempio - all'aereo di essere sollevato da terra.

Come già ricordato all'inizio di questo capitolo, il calcolo dei carichi dovuti al vento è piuttosto complesso e deve prendere in considerazione un numero piuttosto elevato di parametri, che dipendono dalla velocità del vento, dalla natura del terreno o del paesaggio in cui si trova l'edificio, dalle dimensioni assolute e relative dell'edificio, dall'altezza dello stesso e, non da ultimo dalla posizione geografica in cui si trova. In questa sede ci si limita a riportare le procedure di calcolo e a dare qualche indicazione che permetta un calcolo approssimativo, rimandando alla letteratura e alle normative specializzate per un eventuale approfondimento.

La base per il calcolo delle forze del vento è la velocità di riferimento, che dipende dalla regione in cui si trova l'edificio considerato.

$$v_b = v_{b,0} \text{ per } a_s \leq a_0$$

$$v_b = v_{b,0} + k_s \cdot (a_s - a_0) \text{ per } a_0 \leq a_s \leq 1500\text{m}$$

dove:

- v_b = velocità di riferimento in m/s
- $v_{b,0}$ = velocità di base per la regione considerata in m/s
- a_0 = altezza di base per la regione considerata in m/s
- a_s = altitudine sul livello del mare del sito di costruzione in m
- k_s = parametro di calcolo per la regione considerata

I valori relativi alle diverse regioni sono:

Zona		$v_{b,0}$ [m/s]	a_0 [m]	k_s [1/s]
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia	25	1000	0,010
2	Emilia Romagna	25	750	0,015
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria	27	500	0,020
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,020
5	Sardegna orientale	28	750	0,015
6	Sardegna occidentale	28	500	0,020
7	Liguria	28	1000	0,015
8	Provincia di Trieste	30	1500	0,010
9	Altre isole e mare aperto	31	500	0,020

Tabella 1: valori di calcolo della velocità di riferimento del vento

La pressione del vento agente su una superficie è data dall'espressione

$$p_b = q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$$

dove: q_b = pressione cinetica di riferimento

$$q_b = \frac{1}{2} \rho \cdot v_b^2, \text{ con } q_b \text{ in N/m}^2 \text{ e con la densità dell'aria } \rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$$

c_e = coefficiente di esposizione

c_p = coefficiente di forma

c_d = coefficiente dinamico

Il coefficiente dinamico può essere ammesso come uguale a 1,0 per tutti gli edifici semplici di altezza inferiore agli 80 m.

Il coefficiente di esposizione prende in considerazione il tipo di paesaggio in cui si trova l'edificio, in quanto le zone pianeggianti e prive di edifici portano ad una velocità del vento maggiore che nelle zone ad alta densità di costruzioni. Il suo valore varia, per gli edifici con altezza minore di 15 m, fra 1,5 a 3, dove il valore minimo si riferisce al territorio urbano delle zone da 1 a 5 (vedi tab. 1), mentre il valore massimo si riferisce al territorio costiero delle zone da 6 a 8, e alla zona 9. Per un calcolo più dettagliato si rinvia al capitolo 3 delle NTC.

Anche la definizione dei coefficienti di forma è particolarmente complessa e richiede l'analisi del comportamento aerodinamico della forma dell'edificio in relazione alla sua possibile esposizione al vento. Il testo delle NTC non dà indicazioni concrete riguardo a questi coefficienti, ma rimanda a documentazioni opportune a questo scopo. Fra queste si può citare il CNR-DT 207/2008 "Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni".

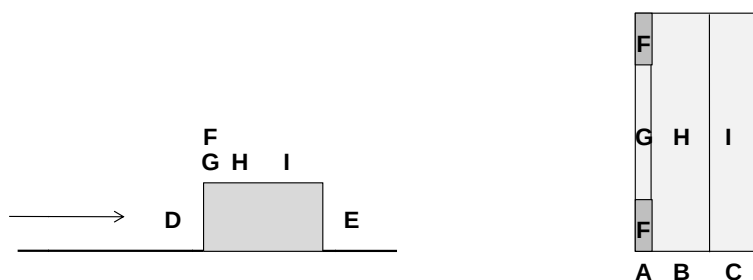


Figura 29: Definizione delle superfici di riferimento per la definizione di c_{pe} per un edificio a tetto piano

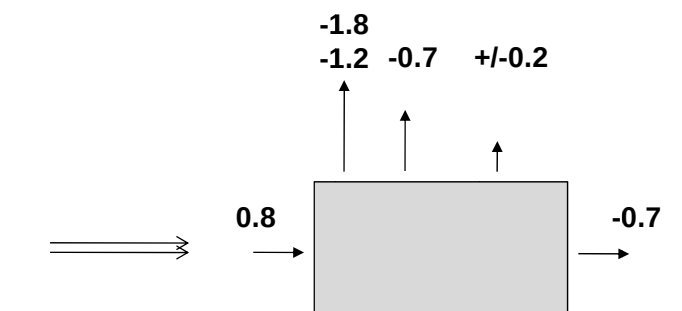


Figura 30: Pressione del vento - coefficienti c_{pe} - sulle superfici di un edificio con tetto piano e spigoli vivi

Nella figura 30 sono indicati i valori dei coefficienti c_{pe} per un edificio con il rapporto $h/d = 5$, che rappresentano anche la distribuzione delle forze del vento sulle diverse superfici. Normalmente viene indicato con un segno positivo il caso di pressione sulla parete, e con segno negativo il caso del risucchio. La pressione del vento agente sulla superficie si ottiene moltiplicando la pressione di base con i diversi coefficienti.

In figura 31 è indicata, a titolo informativo, la distribuzione approssimativa delle forze del vento per una copertura a due falde con una inclinazione di 15° e di 30° . Per un'analisi dettagliata delle forze del vento agenti sulla copertura si rimanda direttamente al CNR-DT 207/2008.

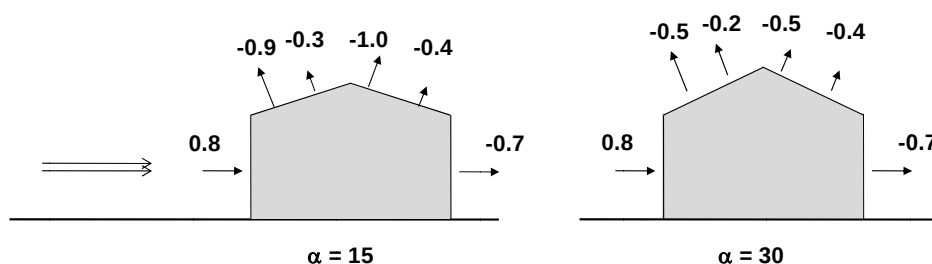


Figura 31: Pressione del vento - coefficienti c_{pe} - sulle superfici di una copertura a due falde

I valori indicati si riferiscono a superfici con dimensioni di riferimento di oltre 10 m^2 ; le turbolenze provocate dalla forma dell'edificio creano però delle pressioni (o depressioni) che localmente possono assumere valori decisamente più grandi. Per questa ragione vengono messi a disposizione anche valori di c_{pe} riferiti a superfici più piccole (anche di un solo m^2), che diventano determinanti per il dimensionamento dei mezzi di collegamento degli elementi di piccola dimensione, quali i pannelli di rivestimento esterno o le coperture delle facciate.

4.4 Carichi variabili

Come carichi variabili devono essere considerati tutti carichi non accidentali ulteriori al vento e alla neve. Di regola le coperture sono agibili per la sola manutenzione e le normative richiedono l'applicazione di un caso di carico variabile rappresentato da un carico uniformemente distribuito con un valore $q_k = 0,50 \text{ kN/m}^2$. Essendo di regola questo carico non considerato come azione di base, ma come ulteriore carico variabile, il suo effetto sulla struttura della copertura è, a parte casi eccezionali, minimo.

4.5 Carichi accidentali

I carichi accidentali sono i carichi da considerare in caso di situazioni eccezionali, per le quali la verifica dello stato limite ultimo avviene con coefficienti di sicurezza ridotti. Fra questi possono essere citati il caso del carico sismico e del caso d'incendio, che non sono analizzati ulteriormente in questa sede.

5 La struttura portante principale del tetto

5.1 Il tetto piano o ad un'unica falda

Il tetto ad una sola falda può essere considerato principalmente come un solaio, sul quale agiscono però anche i carichi dovuti alla neve e al vento. A dipendenza della possibilità di accesso, e di uso quale terrazzo della superficie del tetto, sarà necessario considerare anche il carico utile dovuto a questo tipo di uso.

L'evacuazione dell'acqua dalla superficie del tetto implica molto spesso una leggera inclinazione del tetto piano - di regola una pendenza dell'1,5 o 2 % verso gli spigoli o gli angoli in cui è previsto un pluviale o lo scorrimento naturale dell'acqua verso la gronda. Se questa inclinazione è praticamente trascurabile in vista del suo effetto sui calcoli strutturali e sulle verifiche degli stati limite ultimi, è comunque utile ricordare quali conseguenze abbia l'inclinazione della superficie del tetto sulle forze in gioco e sulle esigenze dei collegamenti con gli altri elementi della costruzione. Anche il tetto ad una sola falda può, in fatti, essere considerato principalmente come un solaio; in questo caso l'inclinazione può però essere decisamente più marcata.

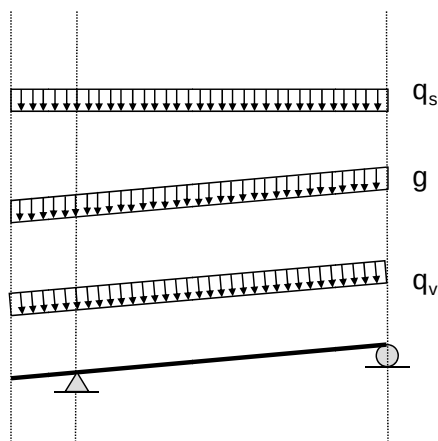


Figura 32: Tetto ad una falda inclinata - carichi e reazioni sulla struttura sottostante

L'analisi strutturale e la concezione costruttiva della costruzione devono considerare essenzialmente due aspetti derivanti dalla geometria e dall'inclinazione della superficie del tetto. Prima di tutto deve essere considerato il fatto che la struttura del tetto è praticamente sempre appoggiata alle pareti dell'edificio sottostante, o comunque su elementi verticali che devono essere sollecitati da forze verticali: è quindi indispensabile che gli appoggi della struttura del tetto siano concepiti ed eseguiti in modo da non creare forze - o componenti di esse - orizzontali sulla struttura sottostante a seguito dei carichi verticali agenti sul tetto. Per questa ragione tutte le superfici di appoggio per la trasmissione di forze di compressione tramite pressione di contatto devono essere orizzontali.

Fra i carichi agenti sulla struttura del tetto, l'unico a contenere una componente non verticale è quello del vento. Con l'aumentare dell'angolo di inclinazione della falda del tetto, questa componente orizzontale - o comunque non verticale - diventerà più grande. Questa forza deve essere trasmessa agli elementi strutturali di irrigidimento e di controventatura della costruzione tramite appositi collegamenti.

Inoltre è opportuno ricordare che le strutture di legno con copertura leggera, quindi senza l'uso di tegole in terracotta o in cemento, o altre coperture pesanti, nel caso delle combinazioni di carichi con il vento preponderante e in assenza di neve, possono presentare delle reazioni di appoggio con segno negativo: la risultante delle forze agenti sul tetto tende, quindi, a sollevare tutta la copertura dalla costruzione! E quindi particolarmente importante sempre verificare anche questo caso di carico e, dove necessario, prevedere dei collegamenti ed ancoraggi adatti ad assicurare una resistenza sufficiente alla struttura.

5.2 Il tetto a due falde

Il tetto a falde può presentarsi in diverse forme e può essere risolto con soluzioni diverse soluzioni strutturali. La sua forma di base è quella del tetto a due falde, con una struttura principale formata da una travatura. Su questa tipologia costruttiva possono essere analizzate e descritte le soluzioni strutturali principali.

5.2.1 La struttura a puntoni

La struttura più semplice della copertura a due falde è quella detta "a puntoni", basata su un'unica struttura portante, orientata perpendicolarmente alla linea di colmo e formata da una coppia di travi - i puntoni - che formano una struttura portante a tre cerniere in un piano verticale e perpendicolare al colmo.

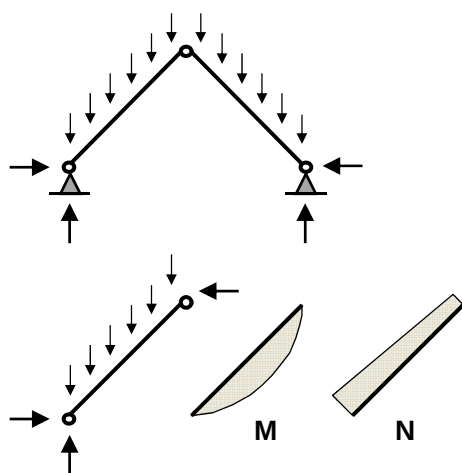


Figura 33: Principio del tetto a puntoni e sistema statico della coppia di puntoni

La particolarità di questo sistema è la sua natura spingente, che necessita cioè di un appoggio orizzontale fisso e rigido ad entrambe le sue estremità, senza il quale la struttura non è stabile. La struttura è formata dai due puntoni, che in caso di forze agenti verso il basso sono compressi o appoggiati uno sull'altro, mentre in caso di forze orientate verso l'altro (risucchio del vento) devono essere collegati fra loro tramite un giunto teso.

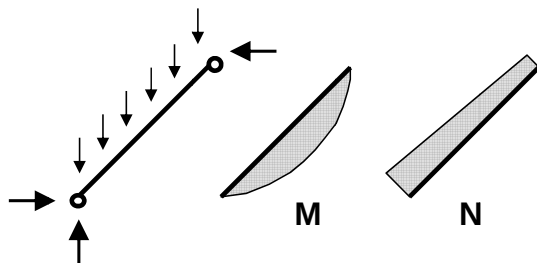


Figura 34: Sollecitazioni dei puntoni per un carico verticale

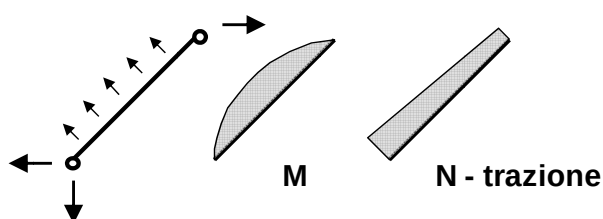


Figura 35: Sollecitazioni dei puntoni per il caso di forza di risucchio del vento preponderante

La spinta orizzontale provocata dai puntoni è rappresentata da forze di grandezza piuttosto importante, e non possono essere assorbite dalle pareti della costruzione. È quindi indispensabile che un altro elemento strutturale assuma questo compito: a questo scopo devono essere presenti elementi con funzione di catena appositamente concepiti, oppure la funzione della catena è assunta dalla costruzione dell'ultimo solaio.

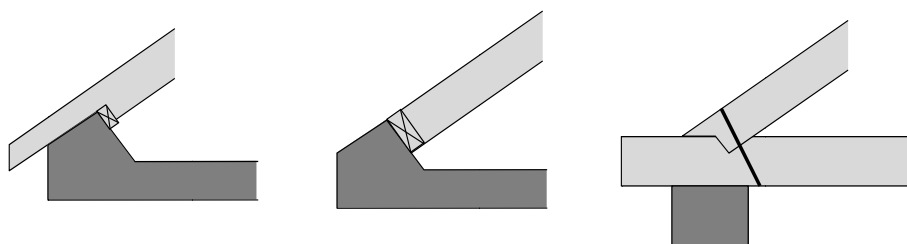


Figura 36: Sistema di ripresa della spinta orizzontale dei puntoni

Anche se questo sistema strutturale si adatta principalmente a tutte le dimensioni, il tetto a puntoni appena descritto è formato da coppie di puntoni di sezioni ridotte e con interassi che non superano di regola gli 80 cm, in modo da permettere la posa della copertura del tetto direttamente sui puntoni. Sviluppato per l'uso di sezioni di legno massiccio di facile trasporto e montaggio, si tratta di un sistema adatto per campate ridotte, che di regola non superano i 7 m, e che bene si presta ad copertura con inclinazioni delle falde piuttosto importanti. La spinta orizzontale è, infatti, direttamente proporzionale all'altezza del colmo rispetto agli appoggi alle estremità.

I limiti essenziali del tetto a puntoni sono dati senz'altro dalla presenza della spinta orizzontale, e dalla necessità di avere un sistema simmetrico, cioè con due falde identiche. Inoltre il principio dell'interasse molto ridotto e delle piccole sezioni limita anche la luce massima per questo sistema. Oltre i 7 m di luce, la tradizione delle coperture di legno ha sviluppato diversi sistemi di strutture a puntoni rinforzate in modo diverso, permettendo di mantenere il medesimo principio anche per

strutture più grandi. Ecco quindi comparire i sistemi di puntoni con controcatene o con appoggi intermedi sulla struttura della costruzione sottostante. In quest'ultimo caso la controcatena può formare anche un solaio intermedio o un soppalco.

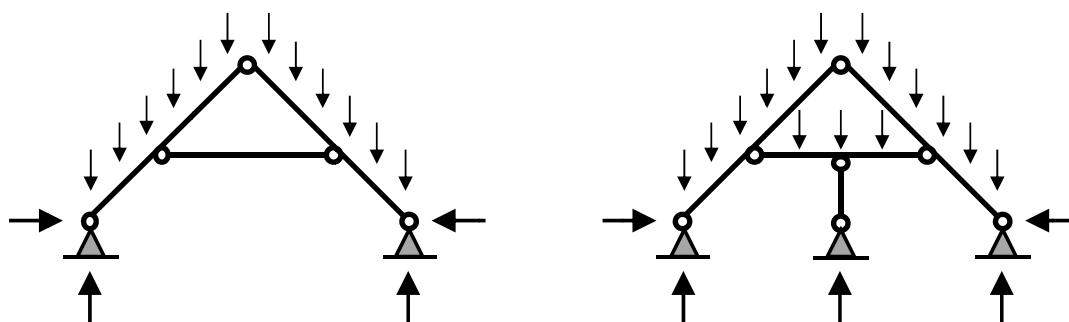


Figura 37: Tetto a due falde con puntoni e controcatena, con controcatena e montante intermedio

Questo tipo di strutture, piuttosto diffuso un tempo in alcune regioni del nord d'Europa, sono oggi decisamente meno diffuse, probabilmente a causa della possibilità di lavorare con sezioni di grandi dimensioni e, quindi, di concentrare le forze dovute alla spinta orizzontale in concomitanza di una struttura portante principale (capriata) o di eliminare il problema della spinta orizzontale tramite l'introduzione di arcarecci. È anche opportuno ricordare che questi sistemi composti presentano comunque un comportamento strutturale non favorevole, in quanto le controcatene sono di poco aiuto in caso di carichi non esattamente simmetrici sulle due falde.

5.2.2 La struttura ad arcarecci

È stata probabilmente l'evoluzione del tetto a puntoni, nell'intento di semplificare la struttura, di renderla più flessibile ed efficace sotto tutti i punti di vista, a portare al tetto ad arcarecci, o con "falsi puntoni", che rappresenta oggi la soluzione strutturale di base per tutti i tetti di legno con struttura portante principale costruita con travi di legno massiccio (o lamellare) nell'ambito delle costruzioni ad uso edilizia abitativa e simile.

Ai puntoni si aggiunge una struttura portante di ordine superiore, formata da travi inflesse parallele al colmo, orizzontali, e disposte a livello del colmo, a livello delle pareti esterne e, eventualmente anche fra quest'ultime, in modo da ridurre la campata dei "puntoni". Gli arcarecci sono di regola appoggiati sulle pareti frontali dell'edificio (timpani), sulle quali scaricano le forze rivenienti dal tetto.

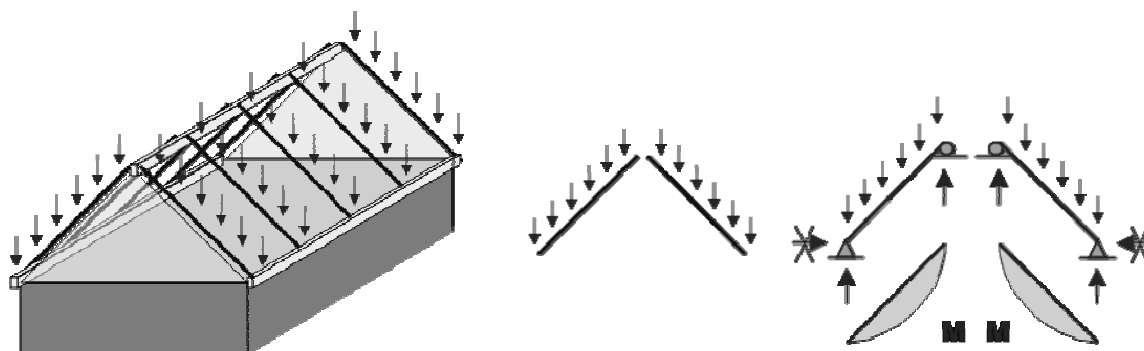


Figura 38: Tetto a due falde con struttura arcarecci e falsi puntoni quali travi inflesse

Gli arcarecci sono disposti orizzontalmente, mentre i "puntoni" sono disposti ortogonalmente ad essi nel piano inclinato delle falde del tetto. I "puntoni" formanti un piano comune e perpendicolare alle due falde del tetto sono privi di collegamento e non formano più un sistema a tre cerniere, ma svolgono la loro funzione secondo il sistema statico della trave inflessa con semplice appoggio sugli arcarecci: da qui la definizione di "falsi puntoni". La struttura portante del tetto è formata da due ordini di travi, disposte ortogonalmente le une rispetto alle altre e tutte sollecitate a flessione; in caso di forze verticali agenti sul tetto, le reazioni di appoggio del tetto, e quindi le forze trasmesse alla struttura sottostante, sono esclusivamente verticali. L'assenza di forze orizzontali dovute all'effetto spingente del sistema strutturale del tetto, permette di semplificare tutta la costruzione e di rendere la struttura del tetto completamente indipendente dalla struttura sottostante. Il numero di arcarecci formanti la struttura principale del tetto non è limitato e dipende dalle dimensioni della copertura; di regola è sempre presente un arcareccio di colmo, in modo da poter realizzare anche costruttivamente il colmo del tetto appoggiandosi direttamente sulla struttura, mentre in concomitanza delle pareti esterne la funzione dell'arcareccio di base è spesso rimpiazzata dalle pareti stesse. L'arcareccio di base, anche direttamente sul bordo superiore delle pareti, spesso interessante dal punto di vista costruttivo, può assumere anche la funzione di cordolo per la parete o la funzione di architrave per le aperture nella parte superiore della parete.

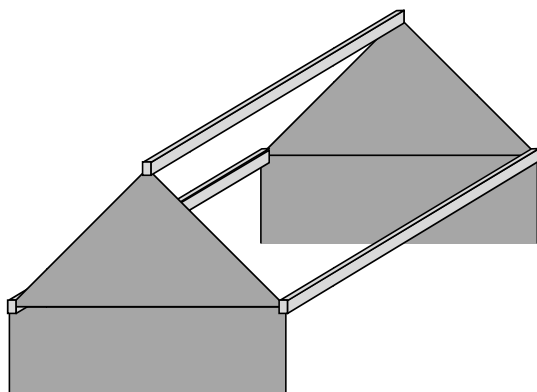


Figura 39: Arcareccio di base con funzione di architrave della parete esterna

Il sistema strutturale degli arcarecci è, nel caso più semplice quello della trave semplice, eventualmente con uno o due sbalzi alle estremità a formare l'avantetto; in caso di dimensioni più grandi dell'edificio gli arcarecci formeranno una trave su più appoggi, i cui appoggi sono formati dalle pareti interne dell'edificio o da appositi pilastri: in questi casi è possibile, se la lunghezza totale degli arcarecci lo esige, fare uso dei sistemi di trave Gerber o di più travi indipendenti una dall'altra. Anche i falsi puntoni possono essere appoggiati su più arcarecci, creando quindi un sistema di trave su più appoggi.

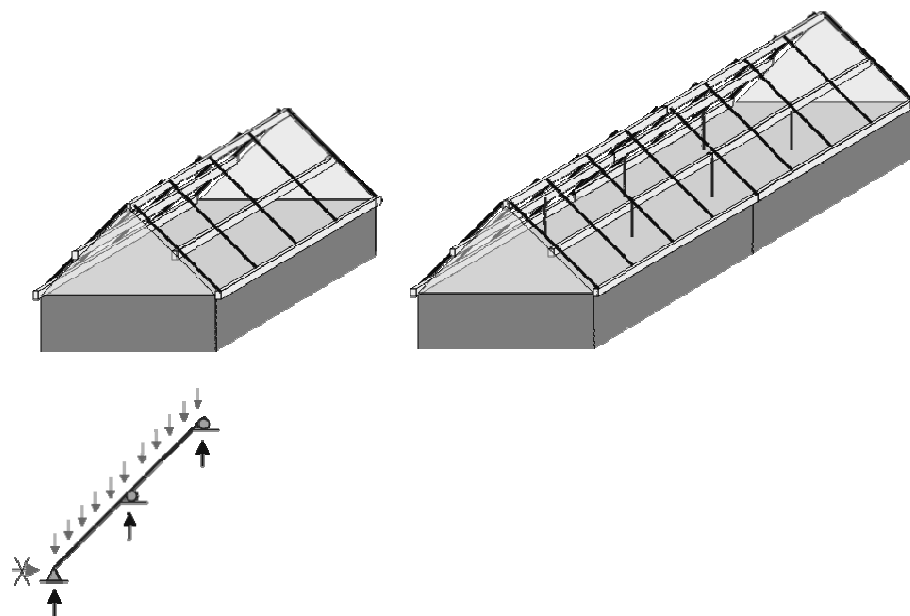


Figura 40: Arcarecci e falsi puntoni quali travi su più appoggi

Si noterà che i falsi puntoni sono sollecitati esclusivamente a flessione e sempre nella direzione dell'asse sezionale principale, mentre gli arcarecci sono sollecitati dalle forze agenti sul tetto e quindi anche nella direzione dell'asse sezionale più debole. Dove formano la struttura portante principale della copertura, gli arcarecci sono normalmente disposti con i lati della sezione disposti verticalmente e orizzontalmente: è, quindi, il solo carico del vento a creare una componente di sollecitazione a flessione sull'asse debole della sezione (quello orizzontale).

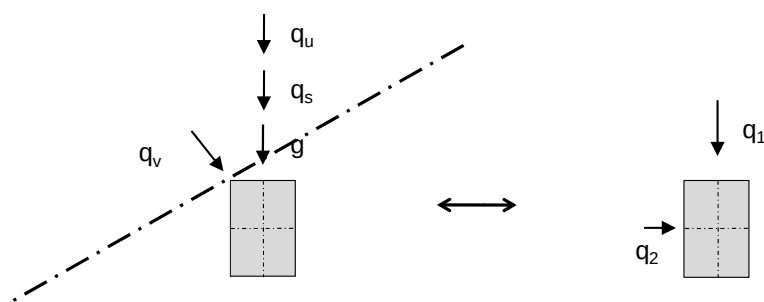


Figura 41: Sollecitazione degli arcarecci e dei falsi puntoni rispetto all'orientazione delle loro sezioni

5.2.3 I sistemi di ordine superiore - le capriate

L'introduzione di una struttura portante di ordine ancora superiore a quella degli arcarecci, comporta l'introduzione di una struttura portante specifica per il sostegno della struttura della copertura. È quanto avviene quando le dimensioni dell'edificio sono tanto importanti, o quando la mancanza o l'interruzione delle pareti divisorie dell'edificio portano a luci tanto grandi, da dover introdurre una struttura che funge da sostegno agli arcarecci. Nell'ambito degli edifici si arriva in questi casi alle capriate, vere e proprie strutture formate da più elementi, disposte ortogonalmente rispetto agli arcarecci. Nel caso di capannoni gli arcarecci sono anche direttamente appoggiati agli elementi

della struttura portante principale, formata da elementi di grandi dimensioni, quali travi di legno lamellare incollato o travi reticolari.

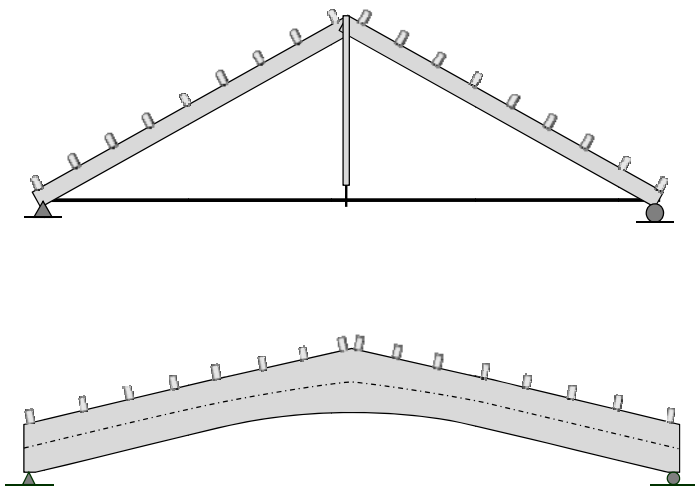


Figura 42: Strutture di grande dimensione, con gli arcarecci formanti la struttura secondaria

In questi casi, spesso per ragioni di semplicità di montaggio ed esecuzione, gli arcarecci sono disposti con il lato più corto parallelo al piano inclinato della falda del tetto.

5.3 Le coperture a padiglione

Con copertura a padiglione vengono indicate le coperture a più di due falde, dove la terza e la quarta falda del tetto - nel caso dell'edificio a pianta rettangolare - prendono il posto della parete timpano, creando essenzialmente una copertura con un effetto estetico diverso meno spigoloso della copertura a due falde.

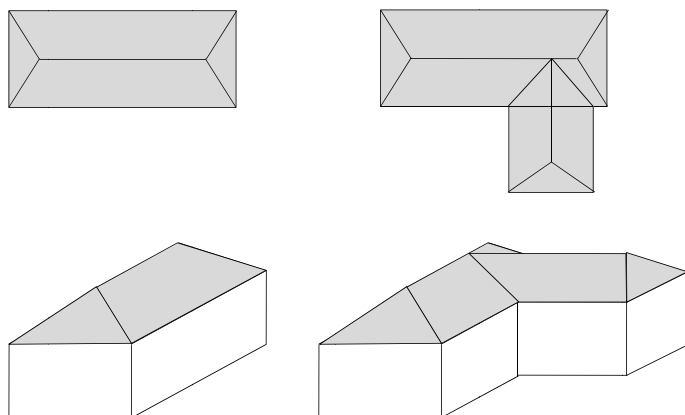


Figura 43: Esempi di coperture a padiglione

La struttura portante di coperture di questo tipo è sempre riconducibile, per principio, ai sistemi discussi nei capitoli precedenti. La presenza di più falde pone però alle estremità dell'edificio la necessità di un'analisi dettagliata del caso specifico.

Nella soluzione più semplice la copertura di un edificio a pianta rettangolare è formata da due falde principali e due falde più piccole, in corrispondenza dei lati più corti. L'impossibilità di continuare gli arcarecci - nella fattispecie la trave di colmo - fino alle pareti alle estremità dell'edificio, impone di introdurre degli appoggi supplementari per la trave di colmo. Una soluzione può essere quella dell'introduzione di due capriate alle estremità - o in prossimità del punto di incrocio delle falde di diversa orientazione - sotto forma di pilastro, parete interna all'edificio o di capriata trasversale: nell'ottica dell'indipendenza della struttura della copertura dall'edificio sottostante la soluzione della capriata è la più semplice. Le capriate sono gli elementi strutturali di sostegno per la trave di colmo, il prolungamento ideale della trave di colmo è dato dalle due travi inclinate, che terminano sugli spigoli dell'edificio e fungono da sostegno per i falsi puntoni di lunghezza ridotta, che formano la parte terminale delle falde principali e le falde di chiusura della copertura.

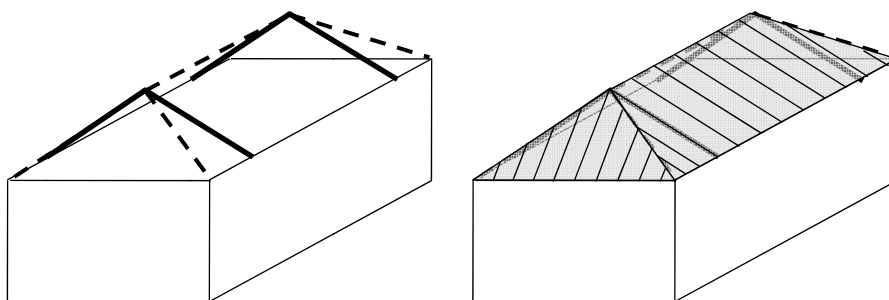


Figura 44: Esempio di struttura di un tetto a padiglione

6 Controventatura e stabilizzazione

Un aspetto essenziale e da non trascurare nell'analisi strutturale della copertura è quello della stabilizzazione della struttura o della realizzazione di un'adeguata controventatura. Anche in caso di strutture dalle dimensioni ridotte, quali lo possono essere le coperture di case monofamiliari di piccole dimensioni, la stabilità globale della struttura deve essere garantita, come pure la possibilità di assorbire e trasmettere tutte le forze agenti sulla copertura verso la struttura sottostante.

6.1 La struttura della controventatura

Gli elementi formanti la controventatura sono sempre elementi panti (superfici) e devono poter assumere la funzione strutturale di lastra, cioè devono possedere sufficiente resistenza e rigidità per poter assumere sollecitazioni e forze nel proprio piano e trasmettere agli altri elementi della costruzione. Questi elementi possono essere ottenuti principalmente nei modi seguenti:

- tramite la creazione di una struttura reticolare, dove di regola montanti e correnti sono formati dalla travatura principale e secondaria, mentre le diagonali sono aggiunte in maniera conveniente. Le diagonali possono essere create tramite elementi metallici sottili o tramite elementi di legno, come tavole o travi. Nel primo caso le diagonali sono sempre appaiate sotto forma di croci di Sant

Andrea, in modo da sempre avere una diagonale tesa ad assicurare la funzione strutturale richiesta, mentre nel secondo caso è di regola possibile sfruttare le diagonali anche come elementi compressi;

- tramite un rivestimento strutturale che permetta l'effetto strutturale di lastra, seguendo il principio degli elementi della costruzione intelaiata di legno, cui si rimanda per un approfondimento;
- tramite un tavolato inchiodato in modo obliquo alla travatura principale e secondaria: in questo caso si ottiene un sistema reticolare più complesso dal punto di vista strutturale, che in caso di strutture di dimensioni medie o piccole può senz'altro assumere la funzione di controventatura e irrigidimento della costruzione.

Può essere utile ricordare che il semplice rivestimento con uno strato di tavole o di perline ortogonalmente alla travatura principale o secondaria non permette la creazione di una struttura reticolare ed è quindi da considerare come non efficace come lastra di irrigidimento. È anche utile ricordare che le forze orizzontali agenti su coperture di piccole dimensioni sono, relativamente alla loro grandezza assoluta, decisamente poco significative e le sollecitazioni risultanti dal calcolo strutturale negli elementi di stabilizzazione sono spesso tanto piccole da metterne in discussione la loro necessità. La considerazione delle sole sollecitazioni numeriche, risultanti dalle ipotesi di carico, non dà però alcuna indicazione sulla stabilità globale effettiva della struttura. La mancanza di adeguati irrigidimenti e lastre di controventatura in numero sufficiente, porta invece ad una struttura che, nella considerazione globale nelle tre dimensioni dello spazio, si presenta come non stabile; a causa delle forze in gioco molto piccole, spesso strutture di questo genere non manifestano nessuna instabilità, grazie soprattutto alle forze di attrito fra i diversi elementi, che permettono di ottenere resistenza e rigidità sufficienti per lo stato di servizio normale. In caso di eventi "lievemente eccezionali", o comunque più importanti dello stato di servizio normale - quali temporali particolarmente violenti, o uragani di portata anche non eccezionale, o eventi sismici non particolarmente distruttivi - la mancanza di elementi di irrigidimento dimensionati ed eseguiti in modo corretto, può portare a conseguenze tragiche. È quindi non solo consigliabile, ma imperativamente necessario disporre di tutti gli irrigidimenti necessari a garantire una struttura stabile, prestando particolare attenzione prima di tutto alla concezione costruttiva corretta della struttura della controventatura e dei collegamenti necessari. Il dimensionamento e la verifica numerica delle esigenze strutturali diventa, con queste premesse, la parte più semplice del problema.

6.2 Controventatura del tetto piano

Nel caso di tetto piano o ad una falda, la struttura del tetto è concepita come un solaio intermedio ed è quindi normalmente costruita in modo da formare una lastra rigida e contribuire alla controventatura dell'edificio. L'eventuale inclinazione della falda del tetto non modifica in nessun modo il concetto e l'effetto strutturale richiesti.

6.3 Il tetto a due falde

Il tetto a due falde rappresenta a tutti gli effetti una struttura tridimensionale, di cui occorre considerare anche la stabilità globale.

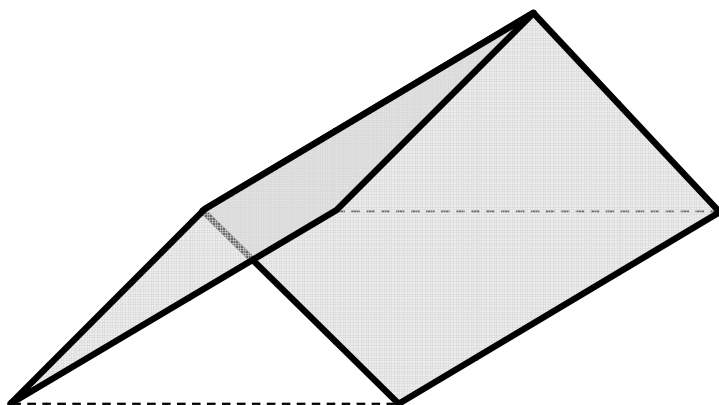


Figura 45: Tetto a due falde quale struttura tridimensionale

6.3.1 Tetto a puntoni

Il tetto a puntoni presenta un sistema statico stabile nella direzione perpendicolare al colmo, cioè un sistema strutturale adatto alla trasmissione delle forze orizzontali verso gli appoggi e quindi verso gli elementi sottostanti.

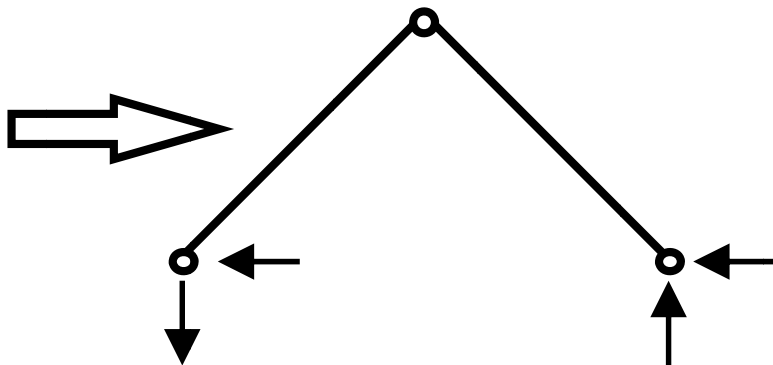


Figura 46: Carichi orizzontali, trasversali rispetto al colmo, sul sistema strutturale del tetto a puntoni

Per quanto riguarda le forze nella direzione del colmo, invece, la struttura a puntoni non fornisce nessun contributo strutturale, per cui diventa indispensabile la formazione di una lastra nei piani di almeno una delle due falde del tetto. Il funzionamento di una falda del tetto come lastra, e quindi come controventatura, impone il collegamento strutturale della lastra su almeno tre lati: ciò richiede il collegamento strutturale degli elementi formati la controventatura con le pareti timpano.

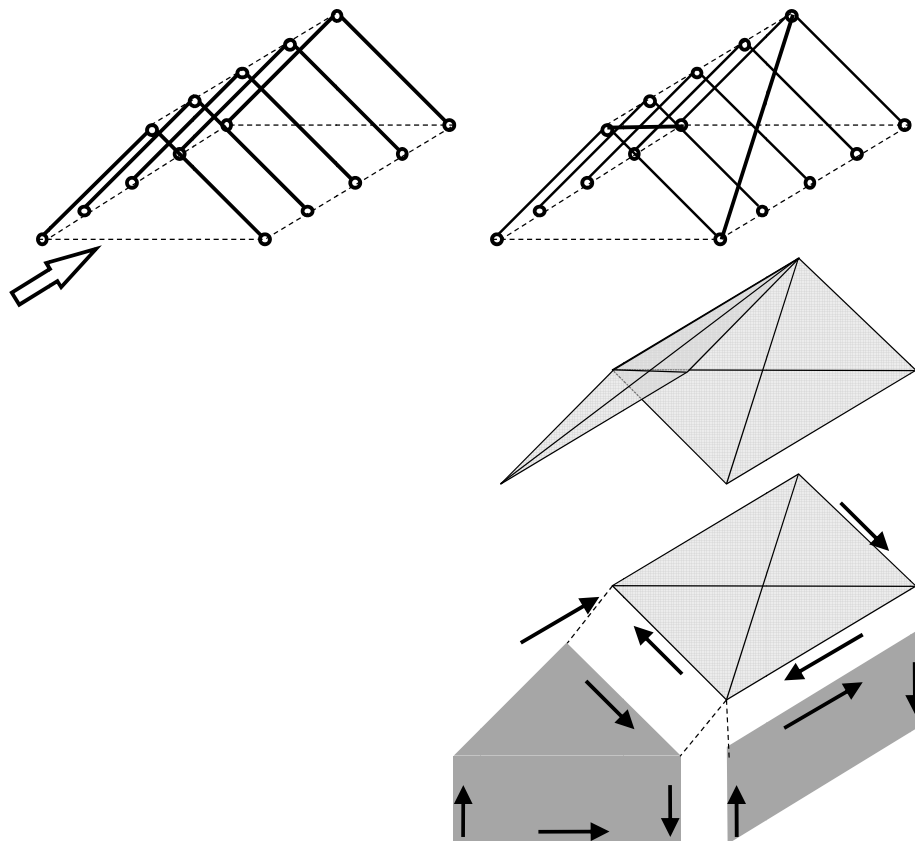


Figura 47: Controventatura del tetto a puntoni

Si ricorda che la controventatura del piano delle falde del tetto serve di regola anche quale elemento stabilizzante contro lo sbandamento nel piano della falda e contro lo svergolamento dei puntoni stessi. È comunque consigliabile creare la controventatura su entrambi i lati della copertura.

6.3.2 Tetto ad arcarecci

Nel caso di strutture di tetto ad arcarecci, gli arcarecci e i falsi puntoni sono di regola dimensionati per sopportare la flessione dovuta ai carichi verticali e all'azione del vento sulla superficie del tetto, creando, di fatto, una struttura rigida e stabile nel piano perpendicolare al colmo. In questo modo si ammette, e si presuppone, che gli arcarecci sono provvisti di appoggi adatti alla trasmissione delle componenti orizzontali delle forze del vento nelle pareti dell'edificio e che le pareti dell'edificio sono in grado di assumere questo ruolo. In caso di appoggio degli arcarecci su semplici pilastri, è necessario analizzare accuratamente le sollecitazioni provocate dalle forze orizzontali negli arcarecci e provvedere a tutte le verifiche strutturali del caso.

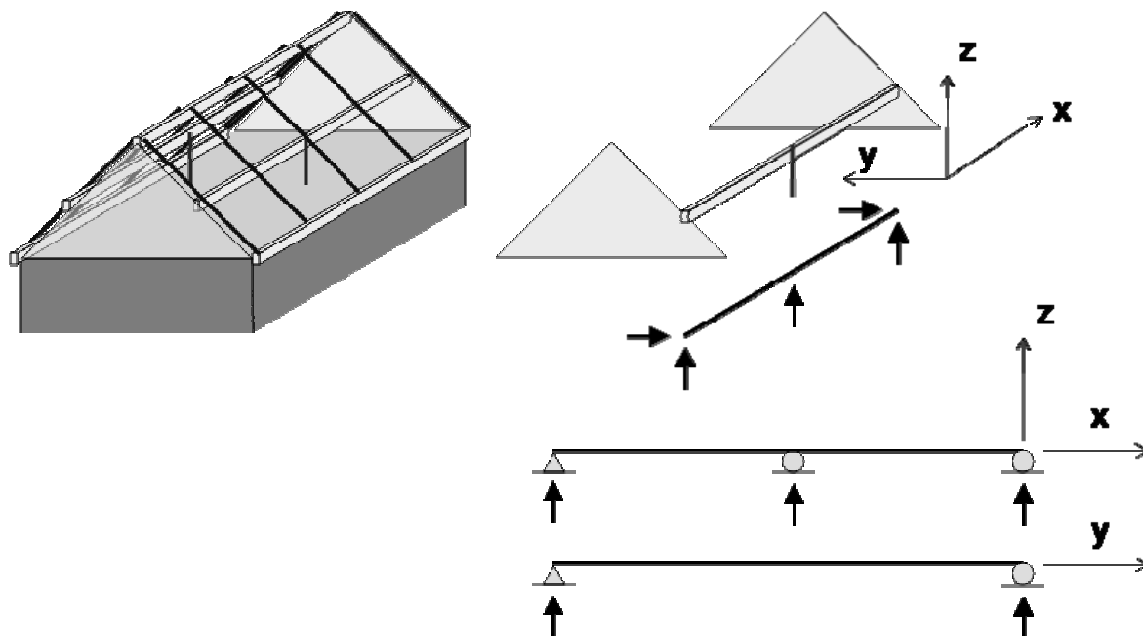


Figura 48: Arcareccio intermedio con appoggio intermedio su pilastrino - sollecitazioni nel piano della sezione e sistemi statici

Nella direzione parallela al colmo, invece, nessun elemento della copertura è normalmente in grado di assicurare la stabilità della struttura e di assorbire le forze orizzontali. Il cordolo delle pareti esterne dell'edificio non è in grado di assumere le forze trasversali al piano della parete provenienti dagli arcarecci e la parete non è per definizione in grado di assorbire queste forze. Normalmente sono gli arcarecci ad assicurare un appoggio rigido per la parete o per il cordolo, garantendo la trasmissione delle forze agenti perpendicolarmente alla parete, almeno in parte, alla lastra del tetto e quindi tramite questa alle pareti longitudinali. In ogni caso, cioè anche quando le pareti siano considerate comunque stabili e sufficientemente rigide, indipendentemente dalla copertura, la copertura non può trasmettere alle pareti di testa dell'edificio forze perpendicolari ad esse. Diventa quindi indispensabile la creazione di una lastra nel piano delle falde del tetto, che permetta di rendere stabile la copertura anche nel proprio piano e nella direzione parallela al colmo.

Nel caso di coperture di dimensioni ridotte, la controventatura è disposta sulle due lastre del tetto ed è formata dalla pannellatura di rivestimento della costruzione. In questo caso si ottengono due lastre, ognuna delle dimensioni di una falda del tetto. Anche in questo caso è comunque consigliabile di controventare entrambe le falde del tetto, in modo da ottenere una struttura simmetrica, nella quale tutti gli elementi strutturali sono direttamente collegati con la controventatura.

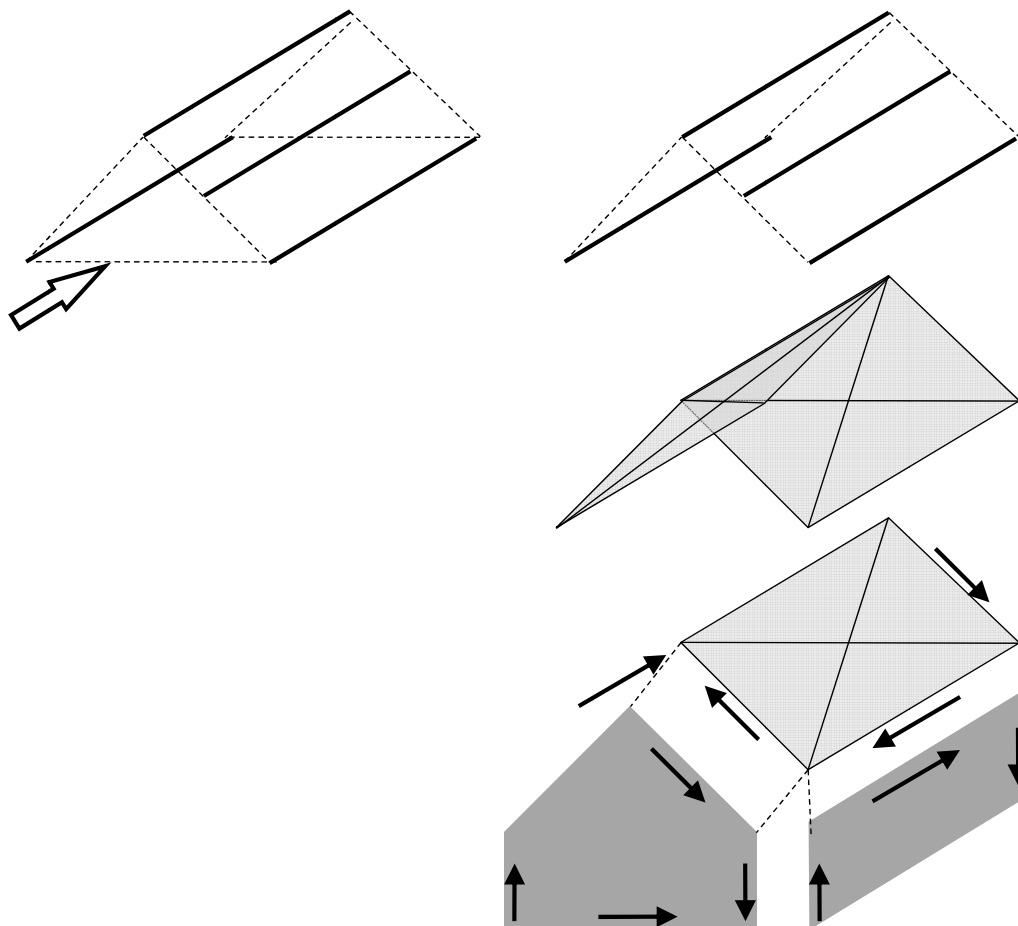


Figura 49: Controventatura su tutta la superficie del tetto ad arcarecci; le due falde sono considerate come lastre indipendenti e collegate con tre pareti che ne formano il perimetro

Nel caso di costruzioni di grandi dimensioni, che presentano una struttura portante principale di ordine superiore e trasversale agli arcarecci, è possibile creare una controventatura su una porzione della costruzione. Questa soluzione, comunemente usata per le coperture di grandi strutture e capannoni è particolarmente adatta a copertura con inclinazione delle falde ridotte, richiede la continuità dei correnti della controventatura sul colmo e crea delle forze supplementari sulla struttura principale, dovute al cambiamento di direzione (inclinazione) della lastra formante la controventatura sul colmo. Questa non è la soluzione usuale per le coperture di edifici ad uso abitazione.

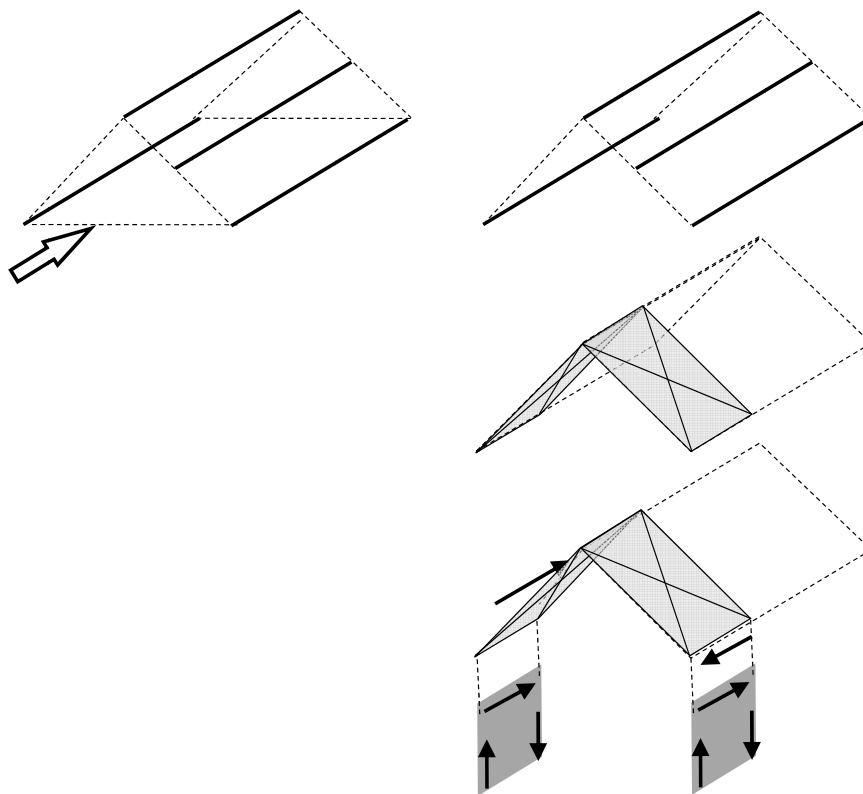


Figura 50: Controventatura di grandi strutture

6.3 Il tetto a padiglione

La stabilizzazione del tetto a padiglione può essere realizzata in diversi modi. Di regola il tetto a padiglione è considerato come un tetto a due falde, le cui estremità sono realizzate con una superficie inclinata. Le considerazioni sulla controventatura e stabilizzazione dell'intera struttura della copertura sono quindi identiche a quanto indicato nei capitoli precedenti.

Lo strutturista più avanzato riconosce però immediatamente la possibilità di creare una struttura spaziale, dove le quattro lastre della copertura permettono la creazione di una struttura spaziale stabile e in grado di trasmettere alla struttura sottostante tutte le forze, tanto verticali che orizzontali, agenti su di essa. Strutture di questo tipo richiedono un'analisi strutturale accurata, che non permette l'analisi dei diversi elementi in modo indipendente uno dall'altro; inoltre sono di difficile realizzazione, in quanto la capacità portante è disponibile solo quando tutti gli elementi della struttura sono stati assemblati. Inoltre il calcolo di queste strutture può rivelarsi piuttosto complesso, in quanto la deformazione dei diversi elementi può avere un effetto anche determinante sulle sollecitazioni in gioco.

Ci si limita qui a osservare, che per le coperture delle costruzioni semplici, questi sistemi complessi non presentano nessun vantaggio, mentre richiedono un'analisi e una concezione estremamente accurate, che, quindi, e non sono praticamente mai utilizzati.

7 Aperture e altre irregolarità

La copertura di un edificio è raramente assolutamente regolare nella sua forma, e spesso è provvista di elementi costruttivi che ne modificano localmente struttura e costruzione. Le dimensioni ridotte di questi elementi (aperture, abbaini, spigoli con forma particolare) inducono spesso a considerarli come elementi o dettagli assolutamente secondari e di importanza ridotta. Anche dal punto di vista strutturale (dimensionamento degli elementi strutturali e dei collegamenti, stabilizzazione e controventatura) la grandezza spesso estremamente esigua delle forze in gioco, tende a ridurre l'attenzione su questi elementi.

Sarebbe impossibile trattare tutta la casistica delle soluzioni particolari che possono presentarsi in una copertura di un edificio, e sarebbe decisamente fuori luogo pretendere uno studio approfondito e sistematico di tutti questi elementi. Le brevi osservazioni che seguono vogliono però ricordare che anche questi interventi progettuali hanno un effetto sul comportamento strutturale che non può e non deve essere sistematicamente trascurato, ma che deve essere sempre accuratamente valutato, per poter riconoscere quei casi, nei quali un adattamento della costruzione e della struttura sono necessari.

7.1 Aperture sulla superficie del tetto

La posa di finestre sulla superficie del tetto ha spesso come conseguenza l'interruzione della struttura portante, salvo nel caso in cui le finestre o le aperture restano contenute nello spazio fra gli elementi della struttura portante.

L'interruzione della struttura portante richiede l'introduzione di elementi supplementari, appoggiati sugli elementi strutturali ininterrotti e più vicini. Ciò comporta molto spesso un sovraccarico di quest'ultimi, le cui sezioni devono essere aumentate rispetto alla soluzione normale.

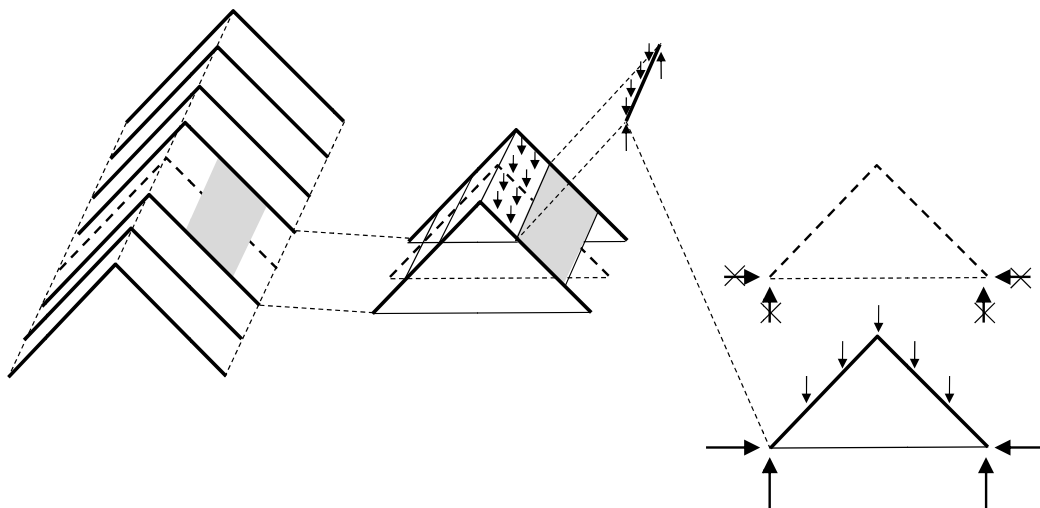


Figura 51: Tetto a falsi puntoni con aperture: interruzione locale dei puntoni e carico supplementare degli elementi più vicini tramite elementi inflessi aggiuntivi

Dal punto di vista strutturale, soluzioni di questo tipo sono senz'altro praticabili e non comportano nessun problema insormontabile sulla struttura del tetto ad arcarecci. È però ed in ogni caso

necessario definire le conseguenze sulla struttura e sugli elementi di rinforzo o di complemento necessari; occorre inoltre tener presente che i giunti e le connessioni di questi elementi devono essere accuratamente concepiti e dimensionati, e che questi giunti e collegamenti possono creare localmente delle riduzioni di sezione - e quindi di resistenza - degli elementi strutturali.

Particolarmente sensibile a questo tipo di interventi è la struttura del tetto a puntoni, in quanto le modifiche della struttura - in questo caso l'interruzione di un puntone - hanno un effetto diretto anche sull'altra falda della copertura, in quanto il sistema strutturale spingente formato dai due puntoni non è più disponibile. Anche per queste ragioni la struttura a puntoni è decisamente poco diffusa nelle costruzioni più recenti.

La più comune struttura a arcarecci permette di gestire senza grossi problemi le aperture, condizione che le siano poste fra gli arcarecci e quindi non ne interrompano la continuità. L'interruzione degli arcarecci richiede l'introduzione di appoggi intermedi per gli arcarecci, che devono essere realizzati tramite la struttura sottostante (pareti), tramite l'aggiunta di pilastri o tramite la posa di una struttura supplementare di ordine superiore quale sostegno intermedi per gli arcarecci.

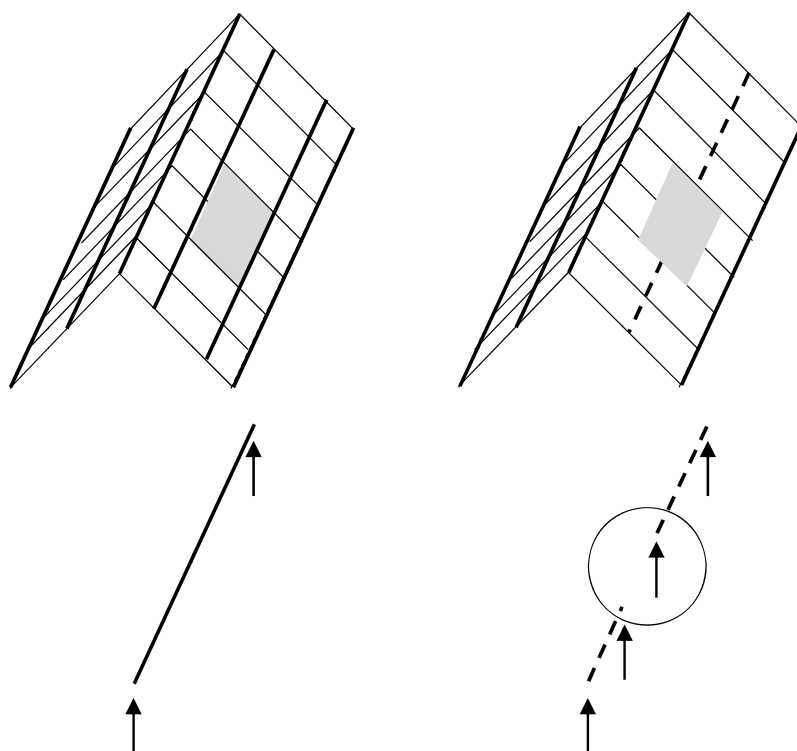


Figura 52: Aperture nella copertura con struttura a arcarecci, problematiche in caso di conflitto con gli elementi strutturali principali

7.2 Elementi supplementari

L'aggiunta di abbaini e la creazione di spazi con forme particolari anche sulla copertura sono soluzioni interessanti e applicate piuttosto spesso. Anche queste costruzioni rappresentano delle irregolarità nella costruzione e nella struttura della copertura, che richiedono lo studio accurato dei dettagli costruttivi e strutturali, sia della struttura portante della copertura (vedi capitolo 7.1), che della struttura degli elementi aggiuntivi. In particolar modo si ricorda che anche la struttura dell'abbaino deve essere opportunamente stabilizzata e controventata.

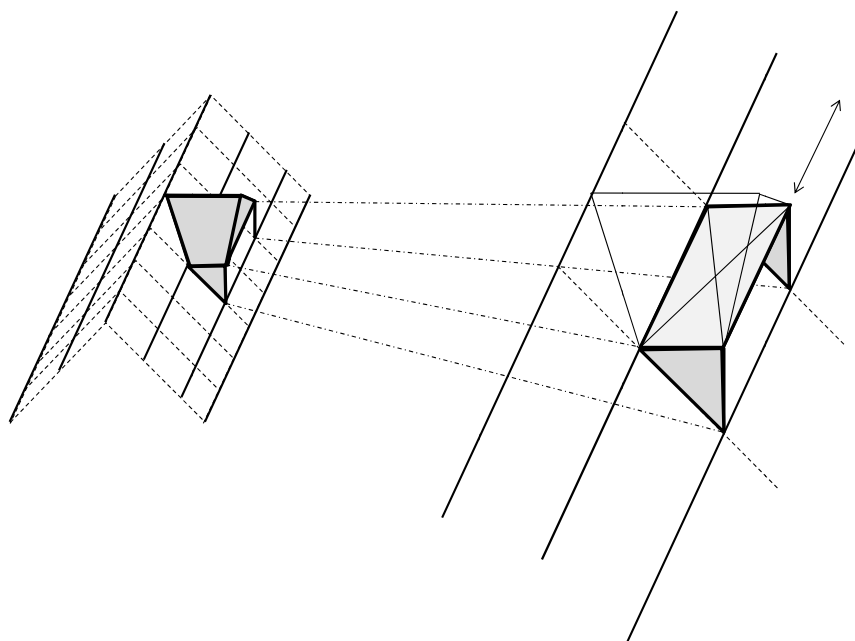


Figura 53: Anche la struttura dell'abbaino deve essere provvista di controventatura

7.3 Altri

Le sporgenze del tetto lungo le pareti esterne dell'edificio sono normalmente realizzate come prolungamento della costruzione e della struttura del tetto. Anche in questi casi, quella che normalmente è una soluzione che non crea nessun problema può rivelarsi problematica in caso di forme particolari o di costruzione non regolare.

L'angolo esterno delle coperture a padiglione è facilmente risolvibile in quanto lo spigolo del tetto (il lato comune alle due superfici della copertura) è formato da una trave facente parte della struttura principale della copertura. I falsi puntoni che formano la travatura della copertura creano la struttura dell'avantetto come sbalzo oltre il loro appoggio sulla struttura dell'edificio o sulla travatura di base. Gli elementi di lunghezza più ridotta, cioè quelli più vicini all'angolo della copertura, sono spesso di dimensioni molto ridotte, al punto da non potere essere considerati come travi inflesse con uno sbalzo oltre l'appoggio, ma da dover essere considerate travi a sbalzo a tutti gli effetti: le forze di collegamento fra questi elementi e la struttura principale della copertura devono quindi essere accuratamente considerate e i collegamenti concepiti e realizzati di conseguenza.

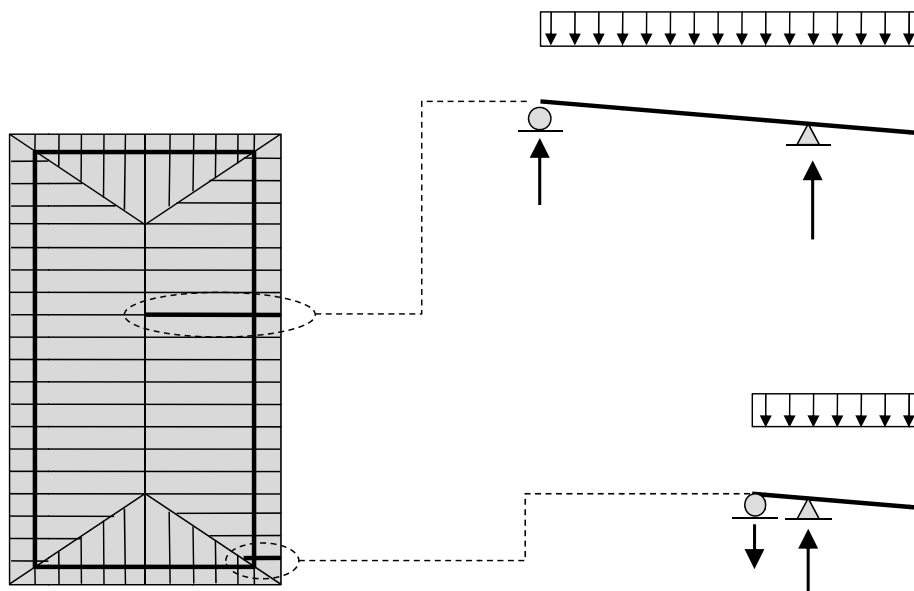


Figura 54: Falsi puntoni nella zona dell'angolo della copertura come travi a sbalzo ancorate alla struttura principale

La medesima sporgenza del tetto è spesso risolta con il prolungamento degli arcarecci oltre le pareti esterne dell'edificio. In molti casi l'arcareccio di colmo è eseguito in questo modo, mentre l'arcareccio di base è sostituito dall'appoggio diretto dei puntoni sul muro perimetrale dell'edificio. Per sostenere l'ultimo puntone, all'esterno della superficie dell'edificio, deve quindi essere introdotto un elemento supplementare che funga da arcareccio di base. La soluzione indicata nell'immagine è tanto frequente quanto corretta, a condizione di considerare questo elemento come una trave a sbalzo a tutti gli effetti e di realizzare i collegamenti e gli ancoraggi necessari alle pareti.

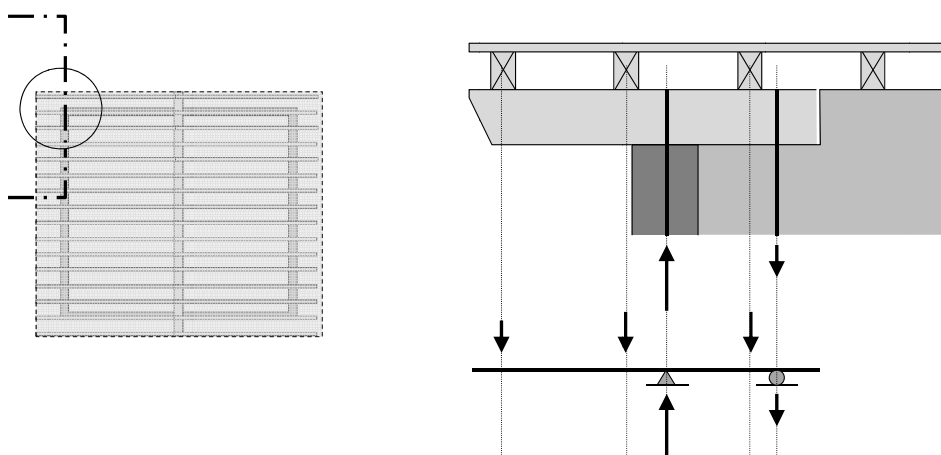


Figura 55: Arcareccio a sbalzo quale sostegno del puntone formante l'avantetto

8 Dimensionamento e calcolo

Le basi di calcolo e di dimensionamento delle strutture di legno non sono trattate in questa sede, e si rimanda alla documentazione specifica su questo argomento per analizzare e approfondire questo argomento. Ci si limita qui ad una considerazione di carattere generale, e che può assumere un ruolo importante proprio nel caso delle coperture.

8.1 La verifica dello stato di esercizio

Il dimensionamento delle strutture agli stati limite prevede la verifica dello stato limite ultimo (sicurezza strutturale, sufficiente margine di sicurezza rispetto al collasso) e dello stato di servizio. Quest'ultima verifica richiede non interessa direttamente la sicurezza della struttura, ma ha un effetto diretto sulla dimensione delle sezioni e degli elementi strutturali. La verifica delle deformazioni o della freccia massima, cui spesso si riconduce la verifica dello stato di servizio, è spesso oggetto di poca attenzione, erroneamente giustificata dal fatto che questa verifica non è rilevante ai fini della sicurezza.

Quanto questa posizione possa essere erranea, può essere mostrato con l'esempio seguente, che purtroppo ha creato in alcuni casi problemi importanti anche in caso di coperture dalla struttura molto semplice.

La struttura del tetto ad arcarecci è per principio una struttura non spingente, cioè in caso di carichi verticali sulla copertura, alla struttura sottostante sono trasmesse soltanto ed esclusivamente forze verticali. Ciò presuppone però una struttura correttamente dimensionata.

La non sufficiente rigidità dell'arcareccio di colmo della struttura di una semplice copertura a due falde provoca una deformazione del medesimo arcareccio, che si manifesta anche sui puntoni. L'abbassamento dei puntoni sul colmo del tetto può richiedere uno spostamento orizzontale alla base dei puntoni - quindi nel punto di contatto fra puntoni e pareti esterne - non compatibile con la possibilità di spostamento o deformazione effettivamente sopportabile dai mezzi di collegamento fra i puntoni e l'arcareccio di base o fra i puntoni e la parete esterna dell'edificio. Lo spostamento orizzontale del puntone viene quindi di fatto imposto anche alla parete dell'edificio, che sarà sottoposta a spostamento o rotazione verso l'esterno. Dovrebbe essere superfluo affermare che queste pareti non sono in grado di sopportare queste deformazioni e che le sollecitazioni che ne derivano hanno provocato, in molti casi, dei danni.

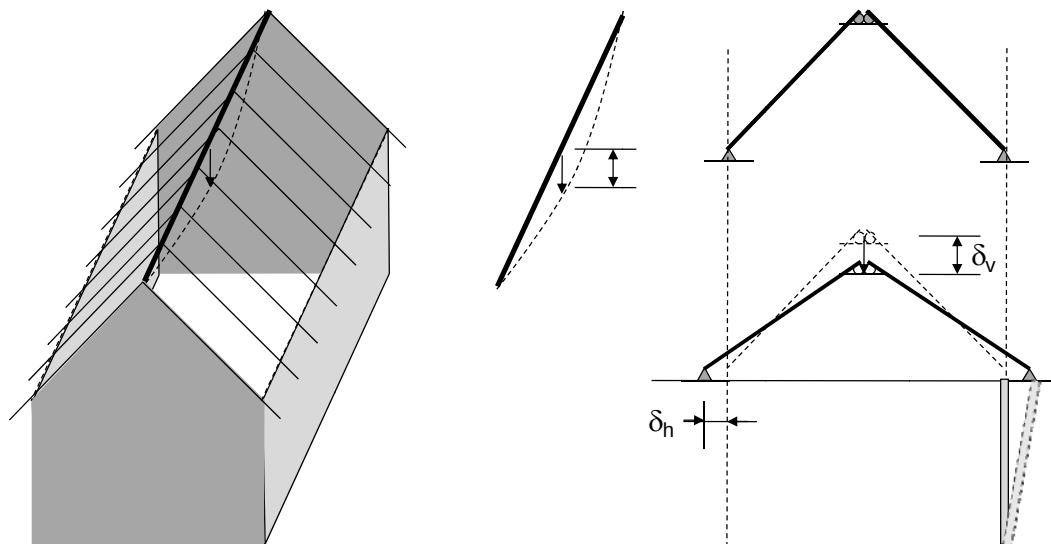


Figura 56: Importanza della corretta rigidità degli elementi strutturali

All'origine di questo problema si trova la deformazione troppo importante dell'arcareccio di colmo, che può risultare tale anche in caso di corretta verifica dello stato limite ultimo, in quanto la rigidità dell'arcareccio è spesso determinata dalla verifica dello stato di servizio. In questo caso la verifica dello stato di servizio, o la verifica della deformazione dell'elemento strutturale assume un'importanza essenziale ai fini del corretto dimensionamento della struttura. Quello che si manifesta come l'effetto spingente del tetto sulle pareti esterne è dato, in questo caso, non dalla struttura spingente dei puntoni, ma dalle deformazioni troppo importanti della struttura portante principale, che, di fatto, provoca effettivamente una spinta verso l'esterno sulle pareti. È quasi superfluo ricordare che un dimensionamento corretto e completo permette di mantenere le deformazioni della struttura entro limiti tali, da non creare questo tipo di problemi.

9 Osservazioni conclusive

Le osservazioni fatte fino a qui sui sistemi strutturali delle coperture semplici rappresentano gli aspetti basilari e fondamentali, e permettono di applicare le basi del calcolo e del dimensionamento strutturale alla costruzione della copertura degli edifici semplici, in modo da poter procedere alla concezione e al calcolo delle strutture semplici e più comuni.

9.1 Il tetto e il sisma

Il calcolo dell'effetto dell'azione sismica su una struttura o su una costruzione richiede la considerazione degli effetti strutturali dinamici sull'insieme della struttura. È quindi praticamente impossibile "isolare" singoli elementi della costruzione e procedere ad un'analisi dell'effetto dell'azione sismica limitatamente a questi elementi. La domanda sulla sicurezza sismica - o anche su un'eventuale verifica sismica - della sola copertura di un edificio non può quindi, per principio, ricevere una risposta formalmente corretta.

In caso di coperture di piccole dimensioni, che non vengono considerate come elemento strutturale dell'intero edificio, e che quindi non contribuiscono in alcun modo al comportamento dell'edificio in caso di azione sismica, e che quindi sono considerati come elementi soggetti esclusivamente all'azione di forze verticali e trasmettono alla struttura sottostante esclusivamente forze verticali, può essere applicato il principio di calcolo definito nel capitolo 7.2.4 delle NTC, che permette di determinare le forze orizzontali cui è sottoposto l'elemento strutturale secondario considerato in caso di azione sismica. In questo caso la struttura della copertura è considerata come indipendente dalla struttura dell'edificio e senza alcun contributo all'irrigidimento orizzontale dello stesso.

9.2 La costruzione con pannelli massicci di grandi dimensioni

Tutte le indicazioni fatte si basano sulla realizzazione della struttura del tetto con elementi di trave (puntoni, arcarecci, ...) di legno massiccio o di legno lamellare incollato.

La realizzazione di elementi di copertura in analogia alla realizzazione di elementi di solaio o di soletta è piuttosto comune in caso di tetto piano, dove la copertura può essere considerata come un solaio intermedio a tutti gli effetti. L'uso, sempre più frequente, di pannelli sottili per la controventatura delle falde del tetto e la possibilità di produrre anche gli elementi del tetto in prefabbricazione e in grandi dimensioni, rende la costruzione della copertura ancora più simile alla costruzione dei solai. Si tratta di un'evoluzione decisamente costatabile nel caso degli edifici con struttura di legno, dove la copertura è anche parte integrante di un unico processo di progettazione, pianificazione, produzione ed esecuzione; nel caso di edifici con struttura e costruzione non in legno, la copertura in legno segue spesso le regole della produzione e del montaggio più tradizionali e basate sul montaggio della travatura direttamente in cantiere.

La costruzione della copertura con elementi prefabbricati di grandi dimensioni si presta però bene all'esecuzione di coperture con struttura in legno, sia sulla base di elementi intelaiati prefabbricati, sia sulla base di pannelli X-Lam, dove una parete della travatura può essere sostituita dal pannello di spessore importante.