

QUADRA 30

STUDIO PROFESSIONALE DI INGEGNERIA

PROGETTAZIONE E CALCOLO
DI STRUTTURE IN ACCIAIO
ED IN LEGHE LEGGERE
ANALISI STATICA E DINAMICA
SISTEMI PIANI E SPAZIALI
ANALISI AD ELEMENTI FINITI
REALIZZAZIONI ANTISISMICHE

di Gianfranco Ventimiglia
European Welding Engineer

CONSULENZA SU STRUTTURE SALDATE
PROGETTAZIONE GIUNZIONI
TECNOLOGIE E PROCEDIMENTI
CONTROLLI VISIVI E DIMENSIONALI
REDAZIONE SPECIFICHE DI SALDATURA

35132 PADOVA - via Gloria 9 - tel 049614773 - fax 0498641609

***Elementi modulari tralicciati componibili realizzati in lega leggera, prodotti dalla Ditta Litec di Marcon.
Tipologia di traliccio QX30 e collegamento con innesto rapido.***

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

Costruttore: Ditta Litec srl di Marcon.

Padova, 20/12/2000

G. Ventimiglia


01 - Generalità sulla struttura

Gli elementi modulari tralicciati componibili prodotti e commercializzati dalla Ditta Litec di Marcon sono delle strutture componibili, in varie forme e misure, e di conseguenza di impiego flessibile per una varietà molto ampia di utilizzi, come la realizzazione di coperture mobili, l'allestimento di stands fieristici, l'arredamento di discoteche o locali per pubblico trattenimento, l'impiego strutturale nelle manifestazioni per supporto di apparecchi di diffusione sonora e luminosa, e per molti altri impieghi.

La versatilità degli elementi modulari suddetti è possibile grazie ad alcuni fattori fondamentali, quali la leggerezza tipica delle strutture in alluminio, unita alla facilità di montaggio ed alla possibilità di comporre elementi complessi con ampia gamma di alternative nell'utilizzo.

Gli elementi base del sistema modulare sono rettilinei di diverse lunghezze che possono collegarsi di testa a formazione di strutture lineari anche molto lunghe, mentre la vasta gamma di elementi angolari e pezzi speciali consente di raccordare in una grande molteplicità di modi gli elementi lineari a composizione di strutture complesse, con le più disparate forme spaziali e dimensioni.

Naturalmente per un impiego corretto e sicuro degli elementi modulari descritti è necessario calcolarne e verificarne le capacità portanti per stabilire le possibilità di utilizzo ed i limiti delle dette strutture, sia sotto l'aspetto resistivo che sotto l'aspetto deformazionale, ed è questo l'obbiettivo della presente relazione di calcolo strutturale.

In generale gli elementi tralicciati suddetti sono costituiti da tubolari in lega di alluminio longitudinali, disposti in modo da formare una sezione resistente principale, collegati da traversi o diagonali in tubolari di lega di alluminio più sottili dei precedenti, che mantengono i tubolari principali nella loro mutua posizione garantendo la continuità delle ca=

caratteristiche geometriche e statiche della sezione principale; il collegamento fra i tubolari principali o correnti ed i tubolari secondari o di parete è realizzato mediante saldatura continua con procedimento semiautomatico, il che garantisce la totale rigidità del collegamento medesimo, ed al contempo presuppone che la deformabilità del traliccio risulti imputabile esclusivamente alle singole aste in campo elastico lineare, cosa che rende di conseguenza più attendibili i calcoli strutturali, che sono effettuati riguardando i singoli elementi come travi alla De Saint Venant ed utilizzando il metodo delle matrici di rigidità.

Gli elementi lineari hanno, come precedentemente accennato, una certa gamma di dimensioni, e generalmente sono prodotti dalla lunghezza di 500 mm alla lunghezza di 5000 mm, con modulo pari a 500 mm; naturalmente non tutti i dieci elementi che discendono dalla precedente impostazione modulare sono prodotti ed utilizzati allo stesso modo, per cui in pratica vi sono misure che vanno per la maggiore, e fra queste la misura di 3000 mm è quella più prodotta ed utilizzata, mentre altre misure sono via via meno ricercate.

Chiaramente uno dei punti cardini del sistema è quello del collegamento fra i vari elementi, e tale collegamento può essere realizzato con un kit di collegamento ad innesto rapido direttamente fra le teste dei correnti, ovvero con utilizzo di una apposita piastra in fusione di alluminio che abbraccia tutte le teste dei correnti e che consente il collegamento di testa fra due elementi tralicciati contigui, ed in tal caso la piastra consente ancora l'utilizzo del kit ad innesto rapido, oppure la bullonatura fra gli elementi della piastra medesima, ed infine la piastra offre anche la possibilità di collegare gli elementi in entrambi i modi.

Per quanto riguarda il collegamento diretto fra le teste dei correnti realizzato con kit ad innesto rapido, esso si ottiene saldando alle teste dei correnti degli appositi elementi,

denominati boccole di collegamento, che terminano esternamente con un foro conico ed al contempo sono attraversati da un altro foro conico di diametro inferiore; nell'accostamento delle boccole di due tralicci contigui viene inserito fra le boccole medesime un apposito blocchetto o spinotto a doppia conicità che viene a sua volta bloccato da due chiavelle o spine coniche che vengono inserite e battute all'interno del foro trasversale della boccola, le quali, attraversando anche il blocchetto, serrano il tutto realizzando un collegamento alquanto rigido; a completamento del tutto e per sicurezza viene disposta una coppiglia, inserita nell'estremità della chiavella, che previene lo sfilamento accidentale della chiavella medesima, assicurando la continuità anche se per qualche motivo la chiavella non risulta serrata ed il collegamento diviene di conseguenza labile.

Per quanto riguarda il collegamento con piastra, esso è realizzato saldando alle teste dei correnti una piastra appositamente conformata e naturalmente rispecchiante la sezione formata dai correnti stessi, che, in corrispondenza delle teste dei correnti presenta le stesse forature coniche delle boccole descritte in precedenza, mentre gli elementi lineari della piastra hanno alcune forature che consentono l'introduzione di bulloni in acciaio; la piastra ovviamente ha una notevole funzione irrigidente della sezione in corrispondenza del giunto, rispetto alle singole boccole di cui sopra, che non sono collegate fra loro; nel caso venga realizzato con la piastra il collegamento con kit ad innesto rapido si utilizzano gli stessi elementi prima descritti, mentre se il collegamento viene realizzato con bullonatura è sufficiente utilizzare bulloni a testa cilindrica con esagono incassato da una parte ed un normale dado da carpenteria dell'altra; nella fase di serraggio il dado viene mantenuto fermo dalla piastra stessa, recante foro esagonale, ed il serraggio viene praticato agendo sul bullone; la piastra si presta quindi a realizzare

entrambi i collegamenti, sia singolarmente che in contemporanea, nel qual caso si realizza ovviamente una maggiore rigidità complessiva del giunto.

Gli elementi tralicciati modulari che vengono analizzati e calcolati nella presente relazione sono quelli lineari a sezione quadrata con piastra, denominati Litio QX30, con collegamento realizzato mediante kit ad innesto rapido; in particolare verranno sviluppati i calcoli analizzando la composizione di elementi da 3000 mm, che rappresentano la misura più significativa ed anche una misura media che rende il calcolo teorico più aderente alla realtà comportamentale della struttura lineare composta, come si vedrà più avanti.

Il traliccio in oggetto è formato da quattro correnti tubolari in lega di alluminio Al6082 di diametro 50 mm e spessore 2,0 mm, collegati dalle diagonali, pure tubolari in lega di alluminio Al6060 di diametro 20 mm e spessore 2,0 mm.

Tenendo presente che le diagonali sono disposte nello stesso modo sulle pareti laterali del traliccio, formando quindi la stessa geometria comunque esso sia disposto, la posizione di utilizzo del traliccio medesimo non è molto importante poiché esso manifesta le capacità portanti qui determinate indipendentemente da come viene disposto in fase di utilizzazione, purché i lati del quadrato non siano inclinati.

La piastra di testa è saldata in continuo rigidamente alle teste dei correnti e consente, come prima accennato, di utilizzare il kit ad innesto rapido, o la bullonatura, o entrambe le soluzioni; nella presente relazione verranno sviluppati i calcoli e le verifiche limitatamente al caso di collegamento con kit ad innesto rapido, per cui si farà l'ipotesi che le teste dei correnti siano vincolate fra loro attraverso un elemento con una certa rigidità che in sostanza è l'assieme del blocchetto con le spine coniche, come si vedrà più avanti, anche se con la bullonatura i risultati globali sono analoghi a quelli qui determinati.

Analizzando il comportamento di alcuni modelli strutturali in parallelo con le prove sperimentali eseguite su un prototipo reale si andranno a determinare le caratteristiche di portata e deformazionali del tipo di traliccio in oggetto, utilizzato con diverse composizioni a formazione di elementi di diversa lunghezza, redigendo alla fine delle tabelle esemplificate con l'esposizione dei carichi ammissibili, sia di tipo concentrato che distribuito, in funzione della luce; al contempo gli aspetti deformazionali saranno esposti in altre tabelle che riportano le frecce elastiche teoriche in funzione della luce e dell'entità di carico, anche qui con la distinzione fra carico concentrato e carico distribuito.

Come verrà specificato nel seguito, i modelli strutturali analizzati e calcolati nella presente relazione sono rettilinei, ottenuti dalla composizione di elementi da 3000 mm, per la valutazione dei carichi massimi e delle frecce nel caso di trave semplicemente appoggiata agli estremi e gravata con carico concentrato in mezzera o distribuito, come del resto è stato richiesto dal Costruttore; gli elementi d'angolo o speciali, ovvero configurazioni composte non rettilinee, potranno quindi essere trattati in una relazione separata.

La presente relazione, oltre a questo paragrafo dal contenuto descrittivo, esporrà in dettaglio i materiali utilizzati ed i metodi seguiti nel calcolo, con le parallele prescrizioni per la costruzione e l'utilizzo; successivamente verranno trattati gli aspetti metodologici del calcolo, con la descrizione dei modelli strutturali utilizzati e i risultati principali ottenuti dall'elaborazione dei modelli medesimi; infine verrà esposto il procedimento seguito per la determinazione dei carichi massimi e delle frecce elastiche nell'ampia casistica analizzata, fino alla determinazione dei risultati finali in termini resistivi e deformazionali, come prima accennato; si sottolinea che tutti i calcoli sono stati condotti separatamente e non vengono riportati nella presente relazione, che

sarebbe risultata estremamente appesantita, mentre si è preferito dare molto spazio alle descrizioni concettuali e metodologiche seguite, per cui la relazione è molto discorsiva ma riporta comunque i risultati finali ottenuti.

Ad integrazione della presente relazione di calcolo sono stati redatti i disegni che rappresentano l'elemento tralicciato da 3000 mm e la piastra con gli elementi di collegamento.

02 - Caratteristiche dei materiali

Per i correnti del traliccio vengono utilizzati profili tubolari tondi in alluminio estruso del tipo Al6082, secondo la norma italiana UNI 9006, con modulo di elasticità longitudinale pari a 69000 N/mm² e tangenziale pari a 25700 N/mm², con tensione di snervamento non inferiore a 255 N/mm² e con tensione massima ammissibile alla trazione e alla compressione pari a 150 N/mm² ed al taglio pari a 87 N/mm².

Per i traversi e i diagonali vengono utilizzati profili tubolari tondi in alluminio estruso del tipo Al6060, secondo la norma italiana UNI 9006, con modulo di elasticità longitudinale pari a 66000 N/mm² e tangenziale pari a 24600 N/mm², con tensione di snervamento non inferiore a 145 N/mm² e con tensione massima ammissibile alla trazione e alla compressione pari a 85 N/mm² ed al taglio pari a 49 N/mm².

Le piastre sono realizzate con fusione in conchiglia di lega di alluminio SG AlSi 1, e viene assunto modulo di elasticità longitudinale pari a 70000 N/mm² e tangenziale pari a 26000 N/mm², con tensione di snervamento non inferiore a 145 N/mm² e con tensione massima ammissibile a trazione e compressione pari a 85 N/mm² ed al taglio pari a 49 N/mm².

Per il blocchetto del kit ad innesto rapido viene utilizzato un pezzo tornito ricavato da barra di alluminio tipo Al6082, secondo la norma UNI 9006/4, con modulo di elasticità longitudinale pari a 69000 N/mm² e tangenziale pari a 25700 N/mm², con tensione di snervamento non inferiore a 255 N/mm² e con

tensione massima ammissibile a trazione e compressione pari a 150 N/mm² ed al taglio pari a 87 N/mm².

Per la spina conica del kit innesto viene utilizzato acciaio del tipo 9SMnPb23, adatto per lavorazioni meccaniche su macchine tornitrici automatiche, con carico unitario di scostamento dalla proporzionalità non inferiore a 255 N/mm² e con tensione massima ammissibile alla trazione e compressione pari a 175 N/mm² ed al taglio pari a 101 N/mm².

Per le unioni bullonate fra piastre vengono utilizzati bulloni ad alta resistenza classe 8.8, associati a dadi classe 6S, con tensione di snervamento non inferiore a 630 N/mm² e con tensione massima ammissibile alla trazione e compressione pari a 373 N/mm² ed al taglio pari a 264 N/mm².

Infine il materiale d'apporto per saldatura ha caratteristiche idonee al materiale di base impiegato, posto in opera con i corretti procedimenti di saldatura e con tutti gli opportuni controlli, nonché regolando i parametri affinché vengano alterate il meno possibile le caratteristiche meccaniche del materiale di base in zona termicamente alterata.

03 - Metodi e prescrizioni

I calcoli riguardanti la determinazione delle sollecitazioni sono stati effettuati in base ai principi della Scienza delle Costruzioni in regime di elasticità lineare, assumendo i moduli di elasticità longitudinale e tangenziale secondo norma, come indicato nella descrizione dei materiali.

In tutti i calcoli e le verifiche è stato impiegato il metodo delle tensioni ammissibili; i procedimenti utilizzati per le verifiche sono quelli classici riguardanti la resistenza, sia previsti dai Decreti Ministeriali, che suggeriti dalla norma italiana UNI 8634, riguardante il calcolo e l'esecuzione delle strutture in alluminio e sue leghe.

In tutti i tubolari e piastre adottate, sia laminati a caldo che formati a freddo, si accetta uno scostamento massimo am-

missibile rispetto alle dimensioni teoriche pari al 5 % delle dimensioni stesse per quanto riguarda gli spessori, mentre si deve fare riferimento alle normative sulle tolleranze per gli altri aspetti geometrici del materiale.

La realizzazione deve seguire la normativa italiana vigente, ed in particolare il D.M. 09/01/96, nella parte riguardante le costruzioni realizzate con metalli diversi dall'acciaio, nonché in tutte le parti ove i dettati possono essere applicati per attinenza anche alle strutture in alluminio.

Si prescrive di imporre la massima accortezza nella realizzazione delle saldature secondo le prescrizioni delle norme vigenti, utilizzando il materiale d'apporto idoneo al materiale base, preparando opportunamente le parti da saldare e realizzando tutte saldature di prima classe, il tutto per costituire la continuità delle sezioni reagenti di testa e consentire la corretta trasmissione degli sforzi; nelle sezioni staticamente importanti le saldature devono coprire, qualitativamente e quantitativamente, le corrispondenti sezioni collegate, ricreando l'opportuna continuità strutturale, e l'esecuzione deve essere particolarmente curata, in modo da preservare le caratteristiche meccaniche del materiale base.

Deve essere inoltre presa in debita considerazione la realizzazione dei collegamenti bullonati: i bulloni previsti devono avere le caratteristiche descritte nel paragrafo precedente e devono essere posti in opera con le relative rosette e adottando ogni accorgimento utile per realizzare il perfetto accoppiamento delle parti affacciate.

Nel caso invece di accoppiamenti con kit ad innesto rapido è necessario che le parti accoppiate non vengano forzate ovvero distorte anche ricorrendo, se il caso lo richiede, alla rettificatura preliminare del pezzo o alla sua sostituzione; la spina conica in acciaio deve essere inserita e battuta solo fino alla plasticizzazione locale dei punti di contatto, evitando

nel modo più assoluto di deformare macroscopicamente o snervare il materiale della piastra o della boccola.

Per quanto riguarda il montaggio si prescrive di porre particolare cura nel rispetto della geometria strutturale in genere ed in particolare nell'allineamento degli elementi; i collegamenti bullonati o con kit devono essere effettuati in modo che le parti affacciate si accostino bene e non si verificino distorsioni forzate e stati di coazione; nel serraggio si deve applicare la giusta coppia evitando di snervare i materiali; infine non si devono formare angolazioni o disassamenti indesiderati negli elementi collegati e ciò vale in genere per tutti i tipi di collegamento.

04 - Analisi ed ipotesi di carico

Come già precedentemente anticipato, la presente relazione di calcolo analizza il comportamento di una configurazione rettilinea ottenuta dalla composizione di un certo numero di elementi tralicciati lineari, a formazione quindi di una trave di una certa luce ed in particolare verrà determinato il comportamento di travi con luce compresa fra 6000 mm e 18000 mm, vincolate con semplice appoggio alle estremità.

Lo schema di trave semplicemente appoggiata è stato utilizzato perchè, per esplicita richiesta del Costruttore in base ad esigenze sia di carattere tecnico che commerciale, è reputato molto importante stabilire la portata massima della struttura e le frecce elastiche ottenute in mezzera con codesta condizione di vincolo; inoltre anche le prove di carico ufficiali sono state condotte nelle stesse condizioni, per cui si stabilisce anche un utile parallelo fra la presente indagine di carattere teorico ed il comportamento reale della struttura accertato con le prove a suo tempo effettuate.

Per quanto riguarda le condizioni di carico, anche in questo caso sono state richieste dal Costruttore, e consistono solo in due condizioni elementari, cioè sostanzialmente in un carico

concentrato in mezzeria ed un carico distribuito uniformemente, condizioni che del resto sono state disposte anche nelle prove ufficiali di carico della struttura; è da sottolineare che nel calcolo il carico concentrato è stato disposto nell'esatta mezzeria della trave mentre il carico teoricamente distribuito è stato invece disposto in un numero discreto di punti, a distanza di 1500 mm l'uno dall'altro, rappresentando così la stessa situazione creata nelle prove di carico, e comunque non influenzando eccessivamente i risultati dal momento che per luci di una certa elongazione il discretizzare il carico in questo modo non modifica sostanzialmente i risultati rispetto ad un carico equivalente teoricamente distribuito uniformemente.

Si sottolinea che nel pratico utilizzo della struttura, tenuto conto delle molteplici alternative già citate, il carico a cui la singola struttura può essere sottoposta può derivare o essere prodotto da strumentazioni di vario tipo, da tendaggi o teloni di copertura, da carichi climatici, ed in tutti questi casi la struttura è adeguata a sopportarlo nei limiti che verranno determinati più avanti, purchè il carico sia sempre di carattere statico.

A seguito della precedente considerazione si sottolinea che la struttura non è calcolata per carichi di carattere dinamico, per cui la precisazione che qui si vuol fare è che tutti i carichi agenti su strutture formate dai tralicci trattati in questa relazione devono essere di carattere statico, mentre per i carichi dinamici è necessario eseguire un calcolo separato e redigere quindi un'altra relazione basata su altre ipotesi ed altri presupposti; analogamente la struttura non è calcolata per essere sottoposta a carichi di tipo diverso da quelli qui previsti, per cui con i tralicci in oggetto si deve evitare di applicare carichi che inducano torsione, carico di punta, etc., a meno che non vengano effettuati altri calcoli diversi, mirati allo scopo.

In sostanza e per le considerazioni precedenti, nelle strutture lineari che verranno calcolate in questa relazione, sempre con schema statico di trave appoggiata agli estremi, vengono considerate solo due condizioni di carico, cioè un carico concentrato in mezzzeria ed un carico distribuito su tutta la lunghezza della struttura, per cui anche i risultati finali saranno impostati in modo da ben differenziare il comportamento della struttura nelle due condizioni suddette.

05 - Modelli strutturali utilizzati

Per quanto riguarda la determinazione dei modelli strutturali su cui impostare il calcolo l'unico punto di partenza è rappresentato dal dover calcolare diverse strutture lineari che si differenziano per la lunghezza, ma che, a parità di lunghezza, possono essere composte in vari modi, sia per scelta dei singoli elementi che per disposizione degli stessi.

Per la determinazione del comportamento di ciascuna struttura lineare, nelle numerose possibilità di composizione, si rende necessario eseguire delle semplificazioni in quanto l'analisi di ogni singola composizione comporterebbe un enorme numero di elaborazioni similari, ed al contempo non risulterebbe mai esaustiva di tutta la casistica possibile; appare pertanto evidente la necessità di utilizzare un numero discreto di modelli strutturali abbastanza assimilabili alle strutture reali, il cui calcolo offra dei risultati attendibili, o comunque entro i limiti di approssimazione propria degli elementi trattati, e che siano al contempo validi anche con composizioni diverse da quella del modello calcolato.

Una prima importante semplificazione è quella di utilizzare elementi con lunghezze prestabilite abbastanza standard nella normale produzione, e per tale motivo è stato scelto di utilizzare nel modello strutturale gli elementi di lunghezza pari a 3000 mm che, come già accennato, sono quelli maggiormente utilizzati in pratica ed al contempo risultano abbastanza

precauzionali nel calcolo; si tenga infatti presente che gli elementi a lunghezza inferiore offrono una maggiore rigidità globale per la presenza di un maggior numero di piastre, mentre gli elementi a lunghezza superiore sono caratterizzati da una maggiore continuità e vengono utilizzati generalmente per coprire luci modeste con unica campata; in ogni caso considerare elementi della lunghezza media di 3000 mm per la composizione dei modelli strutturali non porta differenze sostanziali nei risultati rispetto alle composizioni diverse, come si vedrà nella trattazione sull'asta equivalente.

Un'altra importante semplificazione consiste nel riguardare l'elemento composto come omogeneo, non differenziando i punti di collegamento fra gli elementi singoli dai punti di intersezione delle aste di parete con i correnti all'interno di un singolo elemento per cui, specialmente nei casi di carico distribuito, la posizione dei singoli carichi elementari è stata scelta con la cadenza prevista indipendentemente dal punto di collegamento o dal punto interno all'elemento.

Nel calcolo, a seguito delle considerazioni precedenti, sono stati elaborati alcuni modelli strutturali utilizzando il codice di calcolo sap80, ed i detti modelli sono stati ricavati dalla composizione di un certo numero di elementi standard di lunghezza 3000 mm; i modelli di calcolo elaborati sono quattro, cioè quelli con luce da 6000 mm a 15000 mm ottenuti componendo da due a cinque elementi singoli, ciascuno in una struttura continua e lineare riguardata come un'unica trave tralicciata appoggiata alle estremità.

Ciascun modello è quindi ottenuto dalla composizione di vari singoli elementi, connessi fra loro in corrispondenza delle piastre di testa; un disegno dello schema unifilare del primo elemento di tutti i modelli è allegato alla presente relazione di calcolo e ne costituisce parte integrante; nello schema sono indicati i numeri dei nodi e delle aste che negli elementi successivi sono opportunamente incrementati, mantenendo

la stessa geometria e fino al raggiungimento del modello completo formato da un certo numero di elementi singoli di base; infine le misure da 6000 mm a 15000 mm sono state scelte perché l'impiego delle strutture in oggetto risulta sempre entro il suddetto range.

06 - Elaborazione dei modelli strutturali

Per il calcolo dei vari elementi di ciascun modello strutturale è stato impostato un telaio spaziale, elaborando su personal computer un opportuno modello di struttura intelaiata, utilizzando allo scopo il codice di calcolo sap80; lo schema unifilare del primo elemento di tutti i modelli strutturali è allegato alla presente relazione di calcolo, come pure sono allegati gli elaborati di calcolo relativi ad uno dei modelli reputato il più significativo; infatti le elaborazioni dei modelli strutturali sono state condotte separatamente e i risultati sono alquanto voluminosi come numero di dati, per cui si è ritenuto superfluo allegare il tutto alla presente relazione; tuttavia si è ritenuto opportuno allegare i tabulati di calcolo di almeno uno dei modelli, e a tale proposito è stato scelto il modello con lunghezza 12000 mm, che è stato ritenuto significativo sia sotto l'aspetto dell'approccio generale del calcolo che per i risultati ottenuti.

Si precisa che, rispetto alla situazione reale, i modelli sono leggermente semplificati per rendere più semplice l'elaborazione, pur mantenendosi aderenti alla realtà statica e geometrica di tutti gli elementi che costituiscono l'ossatura della struttura portante; inoltre sono stati previsti alcuni elementi fittizi, per esigenze di definizione dei modelli e di elaborazione degli stessi.

Nell'elaborazione dei modelli strutturali è stato previsto lo schema statico di trave semplicemente appoggiata agli estremi, mentre nei nodi intermedi sono state ipotizzate condizioni di incastro perfetto; per quanto riguarda i carichi sono

state sempre previste le due condizioni elementari di carico già precedentemente descritte, in cui l'entità dei carichi è stata scelta esaminando i carichi con cui sono state condotte le prove di carico ufficiali ed anche in modo che il comportamento della struttura sia sempre nel campo dell'elasticità lineare, cosa ottenuta elaborando preventivamente i modelli e modificando i carichi quando è risultato necessario.

Nel modello strutturale i cui risultati sono allegati alla presente relazione di calcolo le condizioni di vincolo interne ed esterne sono come già descritte, mentre riguardo ai carichi si hanno ancora le due condizioni di carico già dette, cioè un carico concentrato in mezzeria pari a 2400 N e sette carichi concentrati pari a 400 N cadauno disposti a distanza di 1500 mm l'uno dall'altro, che simulano in modo abbastanza attendibile un carico uniformemente distribuito; per questo modello i dati in input ed i risultati delle elaborazioni sono riportati nella parte finale della presente relazione di calcolo e ne costituiscono parte integrante; negli elaborati è possibile osservare nel dettaglio i dati geometrici della struttura, le caratteristiche delle sezioni e dei materiali, i vincoli, le condizioni di carico, etc., mentre i risultati esprimono le componenti di sollecitazione e di deformazione nodo per nodo e asta per asta, componenti tutte differenziate per condizione di carico.

A seguito dei risultati dei calcoli di tutti i modelli viene messo alla luce il comportamento globale della tipologia di struttura che permette di risalire ad una trave equivalente al traliccio complesso, cosa che consente di determinare carichi e frecce in moltissimi casi, con calcoli meno complessi, come si vedrà nel prossimo paragrafo.

07 - Il calcolo con l'asta equivalente

Tutti i risultati ottenuti dall'elaborazione dei vari modelli strutturali descritti sono stati attentamente esaminati, spe-

cialmente per quanto riguarda gli aspetti deformazionali, al fine di analizzare il comportamento generale delle strutture ed in particolare sono state raffrontate le tensioni massime e le frecce in mezzeria con l'obbiettivo di determinare delle regole generali a cui la struttura risulterebbe attenersi, indipendenti dalla luce o dal modello elaborato; tutto ciò si è considerato anche al fine di giustificare le semplificazioni precedentemente descritte, in quanto è risultato necessario verificare se effettivamente l'estendere i risultati della composizione con elementi da 3000 mm a composizioni fatte con elementi diversi porti a dei risultati accettabili o meno, sia sotto il profilo delle capacità portanti complessive che sotto il profilo deformazionale.

La risposta al quesito è stata positiva in quanto dall'esame di tutti i risultati ottenuti è scaturito che il comportamento di tutti i modelli segue una regola generale che assimila ogni elemento tralicciato ad una singola trave avente grandezze statiche equivalenti a quelle del traliccio complesso; la riprova di ciò si è avuta considerando una trave ideale la cui sezione è formata dai correnti tubolari del traliccio, e determinando tutte le grandezze geometriche e statiche della siffatta trave equivalente, ipotizzando che le aste di parete abbiano la sola funzione di mantenere i correnti nelle loro posizioni reciproche; successivamente un'asta di questo tipo è stata caricata come il traliccio del modello e sono state calcolate le capacità di carico e le frecce; dall'analisi dei risultati si è osservato che l'asta equivalente determinata si comporta per ogni lunghezza come il traliccio complesso, sia sotto l'aspetto resistivo che deformazionale.

La conclusione di cui sopra è determinante per lo sviluppo di tutti i calcoli successivi, giacchè il potere riguardare tutto il traliccio come una sola trave, oltre che giustificare le semplificazioni effettuate a monte, permette di calcolare i carichi ammissibili in funzione della luce anche con tutte le

luci intermedie fra quelle considerate nei modelli, e ciò con notevole semplificazione dei calcoli, non essendo più necessario studiare ciascuna specifica composizione ed elaborare di conseguenza un modello complesso; utilizzando pertanto i dati geometrici e statici della trave equivalente sono stati determinati i carichi massimi ammissibili per le varie luci, come si vedrà nel paragrafo seguente, sia concentrati in mezzzeria che distribuiti sulla luce della trave.

Anche per quanto riguarda gli aspetti deformazionali, con la trave equivalente è stato possibile determinare in un grande numero di casi le frecce elastiche ottenute in mezzzeria nelle varie luci considerate, e ciò non soltanto in corrispondenza dei carichi massimi ammissibili, ma anche e soprattutto al variare del carico, come specificato nel paragrafo successivo, cosa che consente di avere una visione molto completa del comportamento della struttura con varie intensità di carico; naturalmente anche in questo caso il tutto è stato sviluppato sia per il carico concentrato che per il carico uniformemente distribuito sulla lunghezza della trave.

08 - Calcolo delle capacità portanti

Utilizzando le caratteristiche geometriche e statiche della trave equivalente descritta in precedenza e sviluppando successivamente i calcoli relativi come trave semplicemente appoggiata alle estremità per luci libere comprese fra 6000 mm e 18000 mm sono stati determinati i carichi massimi ammissibili in funzione della luce della trave, e tali carichi sono stati riportati nella tabella allegata alla presente relazione, nella quale sono esposte anche le frecce elastiche, come si vedrà nel paragrafo seguente.

Per ciascuna singola luce la trave è stata considerata semplicemente appoggiata agli estremi ed è stata gravata con un carico concentrato in mezzzeria di intensità pari a quella che era stata prevista nel calcolo del traliccio con luce più vi-

struttura, in quanto esiste una notevole differenza fra la connessione con kit ad innesto rapido e quella con bullonatura fra piastre, come del resto si vede confrontando i risultati dei calcoli effettuati per il medesimo tipo di traliccio con i due sistemi di connessione suddetti.

Si sottolinea che per esplicita richiesta del Costruttore i carichi esposti in tabella sono espressi in Kg ed in Kg/ml, e non in N e N/m, ma ciò non modifica nessun aspetto strutturale, essendo i valori semplicemente trasformati con il relativo fattore di conversione.

09 - Calcolo delle frecce elastiche

Utilizzando le caratteristiche geometriche e statiche della trave equivalente descritta in precedenza e sviluppando successivamente i calcoli relativi come trave semplicemente appoggiata alle estremità per luci libere comprese fra 6000 mm e 18000 mm sono state determinate anche le frecce elastiche in funzione della luce della trave, ma anche prevedendo dei carichi variabili; di conseguenza le frecce elastiche calcolate dipendono sia dalla luce della trave che dal carico previsto, il quale è variabile in un certo range e in un numero discreto di valori in base alle esigenze del Costruttore; le frecce elastiche sono state riportate nella tabella allegata alla presente relazione in funzione della luce della trave ed in funzione dell'entità del carico.

Il procedimento seguito per il calcolo delle frecce elastiche è simile a quello esposto in precedenza per i carichi, ma non ricorrendo al carico fittizio, bensì calcolando direttamente la freccia; in sostanza per ciascuna singola luce la trave è stata considerata semplicemente appoggiata agli estremi ed è stata gravata con un carico concentrato in mezzera di intensità pari a quella per il quale si vuole calcolare la freccia nel caso in esame; con tale schema statico sono state calcolate direttamente le frecce elastiche per tutti i carichi che sono

cina a quella del caso in esame sebbene l'intensità del carico di prima analisi non è influente; con tale schema statico sono state calcolate le componenti di sollecitazione agenti nella sezione più cimentata e conseguentemente sono state determinate le tensioni massime derivanti dalle dette componenti di sollecitazione; le tensioni così ricavate sono state confrontate con le massime ammissibili nel materiale, ottenendo un rapporto che indica quanto può essere caricata ulteriormente la trave fino al raggiungimento delle tensioni ammissibili nella sezione più sollecitata; moltiplicando il carico fittizio previsto in prima battuta per il suddetto rapporto è stato ricavato immediatamente il carico massimo concentrato in mezzera che la trave è in grado di sopportare, e ciò grazie all'applicazione del principio di sovrapposizione degli effetti, in quanto è noto che per tensioni al di sotto della massima ammissibile il comportamento della struttura si mantiene in regime di elasticità lineare.

Con le stesse considerazioni sono stati sviluppati i calcoli per il caso di carico uniformemente distribuito, sottolineando che questa volta trattasi di carico effettivamente distribuito e non discretizzato come è avvenuto nell'elaborazione della struttura complessa tralicciata, per cui i risultati si reputano maggiormente attendibili; anche i carichi massimi di tipo uniformemente distribuito ottenuti con il procedimento descritto in precedenza sono riportati nella tabella allegata alla presente relazione.

Una considerazione importante è che le grandezze geometriche e statiche della trave equivalente sono dipendenti solo dalla geometria della sezione e dai tipi di profili impiegati, mentre il sistema di connessione utilizzato è ininfluente ai fini della determinazione del carico massimo, per cui i carichi determinati ed esposti nella tabella sono indipendenti dalla particolare connessione utilizzata; la connessione viceversa risulta molto importante nel reale comportamento locale della

stati previsti in tabella, ma sempre entro i carichi ammissibili calcolati precedentemente o leggermente superiori; successivamente si è passati alla luce successiva e così via fino al completamento della tabella; anche in questo caso si osserva il rispetto del principio di sovrapposizione degli effetti giacchè le frecce, a parità di luce, sono sempre proporzionali ai carichi in quanto è noto che per tensioni al di sotto della massima ammissibile il comportamento della struttura si mantiene in regime di elasticità lineare.

Con le stesse considerazioni sono stati sviluppati i calcoli per il caso di carico uniformemente distribuito, sottolineando che stavolta trattasi di carico effettivamente distribuito e non discretizzato come è avvenuto nell'elaborazione della struttura complessa tralicciata, per cui i risultati si reputano maggiormente attendibili, come è stato già sottolineato nel paragrafo precedente; anche per i carichi di tipo uniformemente distribuito le frecce elastiche ottenute con il procedimento descritto in precedenza sono riportate nella tabella allegata alla presente relazione.

Anche nel caso delle frecce elastiche calcolate utilizzando la trave equivalente il sistema di connessione utilizzato è praticamente ininfluenza, per cui le frecce elastiche esposte nella tabella sono indipendenti dalla particolare connessione utilizzata, e ciò per le stesse ragioni esposte nel paragrafo precedente, riguardante i carichi massimi.

10 - Considerazioni conclusive

Come è certamente trapelato da tutta la precedente esposizione, il calcolo strutturale dei tralicci in oggetto è stato condotto cercando una soluzione globale al problema della determinazione dei carichi massimi e della frecce elastiche, e tale soluzione è stata ottenuta ricorrendo alla trave equivalente come strumento di calcolo rapido per una grande casi-

Tutto ciò non esclude la possibilità di approfondire l'indagine anche a situazioni particolari, sia per quanto riguarda le sollecitazioni diverse da quelle qui considerate, sia per geometrie non rettilinee con composizioni particolari effettuate con l'utilizzo di pezzi d'angolo o speciali; in tal caso si reputa necessario eseguire nuovi calcoli mirati che sicuramente non inficiano i risultati qui ottenuti, ma potrebbero integrarli garantendo l'utilizzo del prodotto anche nelle suddette situazioni particolari.

In conclusione la presente relazione ha comunque risolto gran parte del problema, determinando le possibilità di utilizzo e gli aspetti deformazionali in una grande maggioranza dei casi purchè vengano rispettati nella pratica i risultati ottenuti, in special modo per quel che riguarda i carichi massimi che le strutture lineari sono in grado di sopportare.

Con ciò si considera esaurita la presente relazione di calcolo, demandando al Costruttore il compito di realizzare sempre delle strutture di qualità e quindi idonee a sopportare nella realtà le azioni previste nel calcolo teorico.

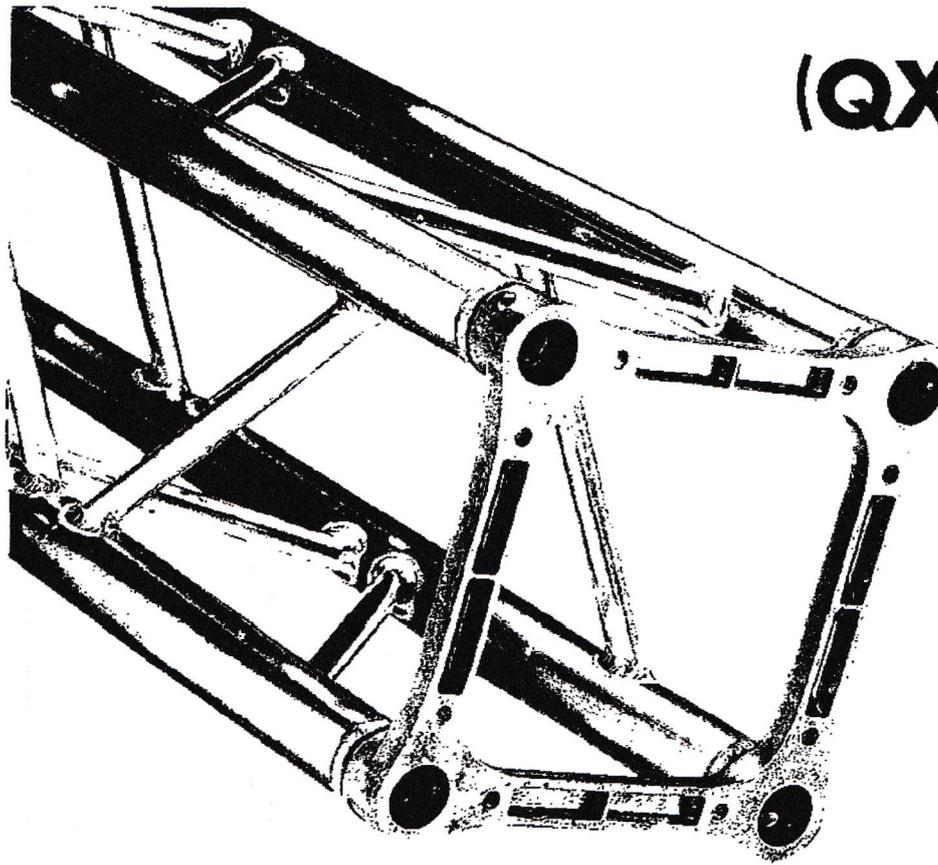
La presente relazione è formata da centocinque pagine.

Padova, 20/12/2000.

Gianfranco Ventimiglia



Dott.Ing. Ventimiglia Gianfranco



(QX30) 

**Traliccio in alluminio a sezione quadrata
con lato da 29 cm.**

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

| | |
|------------------------------|---|
| Tubo longitudinale | Alluminio estruso e 50x2mm (AMgSi1 131) |
| Tubo trasversale | Alluminio estruso e 20x2mm (AMgSi0.5 122) |
| Piastra | Fusione d'alluminio SG MS1 |
| Materiale appretto saldature | Sicring5 con procedimento tig (uni B634) |

KIT DI CONNESSIONE

| codice | tipo |
|--------|-----------------------|
| QX3C | Innesto rapido |
| QXA10 | Connessione a bulloni |

PIASTRA (mm)



TRALICCI LINEARI (lunghezza/peso)

| codice | (m) | (kg) |
|-----------|------|------|
| QX30010MS | 10.5 | 3.0 |
| QX30021 | 21 | 3.3 |
| QX30025 | 25 | 3.4 |
| QX30050 | 50 | 4.8 |
| QX30100 | 100 | 7.1 |
| QX30150 | 150 | 9.5 |
| QX30200 | 200 | 11.8 |
| QX30250 | 250 | 14.1 |
| QX30300 | 300 | 16.5 |
| QX30350 | 350 | 18.8 |
| QX30400 | 400 | 21.2 |

Misure intermedie disponibili su richiesta

COMPORIMENTO SOTTO CARICO UNIFORMEMENTE DISTRIBUITO

| carico kg/m | lunghezza traliccio (m) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|-------------------------|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|--|--|--|--|
| | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | | | | | |
| 130 | 18 | 33 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 120 | 17 | 31 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 110 | 15 | 28 | 48 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 100 | 14 | 26 | 44 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 90 | 12 | 23 | 39 | 63 | | | | | | | | | | | | | | |
| 80 | 11 | 20 | 35 | 56 | 85 | | | | | | | | | | | | | |
| 70 | 10 | 18 | 30 | 49 | 74 | | | | | | | | | | | | | |
| 60 | 8 | 15 | 26 | 42 | 64 | 93 | | | | | | | | | | | | |
| 50 | 7 | 13 | 22 | 35 | 53 | 78 | 110 | | | | | | | | | | | |
| 40 | 6 | 10 | 17 | 28 | 43 | 62 | 88 | 122 | 163 | | | | | | | | | |
| 30 | 4 | 8 | 13 | 21 | 32 | 47 | 66 | 91 | 123 | | | | | | | | | |
| 20 | 3 | 5 | 9 | 14 | 21 | 31 | 44 | 61 | 82 | 108 | 139 | 178 | 223 | | | | | |

COMPORIMENTO SOTTO CARICO CONCENTRATO IN MEZZERIA

| carico kg | lunghezza traliccio (m) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|--|--|--|--|--|
| | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | | | | | |
| 400 | 15 | 23 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 375 | 14 | 22 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 350 | 13 | 20 | 30 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 325 | 12 | 19 | 28 | 40 | | | | | | | | | | | | | | |
| 300 | 11 | 18 | 26 | 37 | 51 | | | | | | | | | | | | | |
| 275 | 10 | 16 | 24 | 34 | 47 | 62 | | | | | | | | | | | | |
| 250 | 9 | 15 | 22 | 31 | 43 | 57 | 74 | | | | | | | | | | | |
| 225 | 8 | 13 | 20 | 28 | 38 | 51 | 66 | 84 | | | | | | | | | | |
| 200 | 7 | 12 | 17 | 25 | 34 | 45 | 59 | 75 | 93 | | | | | | | | | |
| 175 | 6 | 10 | 15 | 22 | 30 | 40 | 51 | 65 | 82 | 101 | | | | | | | | |
| 150 | 6 | 9 | 13 | 19 | 26 | 34 | 44 | 56 | 70 | 86 | 105 | | | | | | | |
| 125 | 5 | 7 | 11 | 16 | 21 | 28 | 37 | 47 | 58 | 72 | 87 | 105 | 124 | | | | | |

QX30 carico uniformemente distribuito

| | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|-----|-----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| carichi max | 164 | 121 | 92 | 73 | 59 | 49 | 41 | 35 | 30 | 26 | 23 | 20 | 18 |
| carico | | | | | | | | | | | | | |
| 130 | 18 | 33 | | | | | | | | | | | |
| 120 | 17 | 31 | | | | | | | | | | | |
| 110 | 15 | 28 | 48 | | | | | | | | | | |
| 100 | 14 | 26 | 44 | | | | | | | | | | |
| 90 | 12 | 23 | 39 | 63 | | | | | | | | | |
| 80 | 11 | 20 | 35 | 56 | 85 | | | | | | | | |
| 70 | 10 | 18 | 30 | 49 | 74 | | | | | | | | |
| 60 | 8 | 15 | 26 | 42 | 64 | 93 | | | | | | | |
| 50 | 7 | 13 | 22 | 35 | 53 | 78 | 110 | | | | | | |
| 40 | 6 | 10 | 17 | 28 | 43 | 62 | 88 | 122 | 163 | | | | |
| 30 | 4 | 8 | 13 | 21 | 32 | 47 | 66 | 91 | 123 | | | | |
| 20 | 3 | 5 | 9 | 14 | 21 | 31 | 44 | 61 | 82 | 108 | 139 | 178 | 223 |
| luce | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |

QX30 carico concentrato in mezzeria

| | | | | | | | | | | | | | |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| carico max | 419 | 359 | 314 | 279 | 251 | 229 | 209 | 193 | 180 | 168 | 157 | 148 | 140 |
| carico | | | | | | | | | | | | | |
| 400 | 15 | 23 | | | | | | | | | | | |
| 375 | 14 | 22 | | | | | | | | | | | |
| 350 | 13 | 20 | 30 | | | | | | | | | | |
| 325 | 12 | 19 | 28 | 40 | | | | | | | | | |
| 300 | 11 | 18 | 26 | 37 | 51 | | | | | | | | |
| 275 | 10 | 16 | 24 | 34 | 47 | 62 | | | | | | | |
| 250 | 9 | 15 | 22 | 31 | 43 | 57 | 74 | | | | | | |
| 225 | 8 | 13 | 20 | 28 | 38 | 51 | 66 | 84 | | | | | |
| 200 | 7 | 12 | 17 | 25 | 34 | 45 | 59 | 75 | 93 | | | | |
| 175 | 6 | 10 | 15 | 22 | 30 | 40 | 51 | 65 | 82 | 101 | | | |
| 150 | 6 | 9 | 13 | 19 | 26 | 34 | 44 | 56 | 70 | 86 | 105 | | |
| 125 | 5 | 7 | 11 | 16 | 21 | 28 | 37 | 47 | 58 | 72 | 87 | 105 | 124 |
| luce | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |