



## Nodo Carannante

### Premessa

La società CARANNANTE S.r.l. con sede legale in via Scarlatti n. 88 – 80129 Napoli e sede operativa in via Antiniana n. 53 – 80078 Pozzuoli (NA), titolare del brevetto di una nuova tipologia di elementi strutturali, denominata Nodo Carannante, ha stipulato due contratti di ricerca con il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (DICA) dell'Università di Catania, finalizzati ad ottenere le informazioni necessarie per la qualificazione in serie dichiarata della produzione di tale nodo. In particolare, la prima convenzione (responsabile scientifico per il DICA: prof. ing. Aurelio Gherisi) aveva come obiettivo lo studio sperimentale del comportamento dei singoli elementi che costituiscono il nodo (piatti, collegamento tra i piatti mediante bullonature e saldature). La seconda convenzione (responsabile scientifico per il DICA: prof. ing. Pier Paolo Rossi) aveva come obiettivo lo studio sperimentale del comportamento di insiemi di aste collegate mediante il Nodo Carannante. I risultati delle prove sperimentali sono stati presentati in dettaglio nei rapporti di prova n. 05/08, 06/08 e 07/08. In questa relazione vengono riepilogati i risultati ottenuti e le indicazioni rilevate sul comportamento del Nodo Carannante.

### Obiettivo del Nodo Carannante

Il brevetto Carannante mira a garantire il rispetto della gerarchia di resistenza, semplificando contemporaneamente il montaggio di strutture in acciaio e permettendo anche una agevole realizzazione di strutture miste, in acciaio e calcestruzzo.

La necessità di garantire una buona duttilità delle travi ed una resistenza maggiore per i pilastri che per le travi, in modo da giungere a meccanismi in cui la plasticizzazione è concentrata in queste ultime e non nei primi, era nota anche in passato ma non era chiaramente indicata nella normativa sismica italiana. Questo concetto, oggi indicato col nome “gerarchia delle resistenze” (o col termine inglese “capacity design”), compare esplicitamente per la prima volta nell'O.P.C.M. 3274 del 2003 ed è, da allora, parte fondamentale di tutte le normative successive, fino alle più recenti Norme Tecniche per le Costruzioni emanate col D.M. 14/1/2008.

Garantire la gerarchia delle resistenze può presentare problemi nel caso di strutture intelaiate in acciaio. Esse sono tipicamente realizzate unendo aste diverse, che costituiscono le colonne e le travi di un telaio spaziale. L'unione tra trave e colonna è realizzata in un punto molto prossimo al nodo teorico (incrocio degli assi delle aste), e quindi in sezioni in cui il momento flettente è massimo. L'uso di saldature può garantire una adeguata resistenza e rigidità, ma non si presta all'assemblaggio in opera che normalmente caratterizza le strutture in acciaio. L'uso di bullonatura, al contrario, garantisce un agevole montaggio ma non fornisce adeguata resistenza e rigidità.

Il Nodo Carannante nasce per garantire la realizzazione di un nodo rigido e contemporaneamente consente di spostare il punto in cui si forma la cerniera plastica ad una certa distanza dal filo pilastro. In questa zona il momento flettente è più basso ed è quindi possibile utilizzare un profilato di sezione minore e con un momento resistente più piccolo. In tal modo si riduce anche il momento resistente che deve avere il pilastro affinché sia rispettata la gerarchia delle resistenze, e ciò comporta quindi un risparmio economico globale.

L'uso del Nodo Carannante consente di usare con facilità colonne di sezione scatolare (tubi a sezione quadrata, rettangolare o circolare), che hanno ottima resistenza in due direzioni ortogonali e quindi sono più adatte ad assorbire le sollecitazioni sismiche rispetto ai profili HE, usualmente uti-



lizzati come colonne. I profilati scatolari possono essere riempiti di calcestruzzo, con vantaggio nella resistenza complessiva a sforzo assiale ed anche con limitazione del rischio di instabilità locale (imbozzamento) delle pareti dello scatolare.

L'uso del Nodo Carannante consente anche la realizzazione di strutture miste, in acciaio e calcestruzzo, con pilastri in cemento armato collegati mediante il nodo a travi in acciaio. Le travi in acciaio, avendo una sezione modesta, possono anche essere inglobate in un solaio in calcestruzzo.

### Caratteristiche del Nodo Carannante

L'idea base del brevetto Carannante consiste nell'aver pensato il nodo come costituito da due parti: una parte A da rendere solidale al pilastro e una parte B da rendere solidale alle estremità delle travi in officina, con una unione bullonata da effettuarsi in opera appunto fra le parti A e B senza effettuare alcuna saldatura in opera e senza effettuare alcuna lavorazione vicino alle travi.

Il dimensionamento del nodo dipende dalla trave e dal pilastro scelti dal progettista della struttura e parte dalla scelta della sezione della trave. Il profilato in acciaio usato come trave ha una luce minore rispetto all'interasse tra i pilastri e quindi è soggetto a momenti minori rispetto a quelli che avrebbe in una struttura con nodi tradizionali. Contemporaneamente anche la freccia provocata dai carichi verticali è minore, sia per il vincolo costituito dal nodo, più rigido, sia per la minore lunghezza della trave stessa. È quindi possibile utilizzare una sezione nettamente minore rispetto a quella che sarebbe necessaria in una struttura con nodi tradizionali.

Assegnata la trave è definito anche il momento resistente  $M_{Rd}$  di questa, nonché il massimo taglio  $V_{max}$  che può agire in condizioni sismiche (che, per considerazioni di equilibrio, non può essere maggiore di due volte il momento resistente diviso la lunghezza della trave). Questi valori vengono maggiorati mediante il coefficiente  $\gamma_{Rd}$  indicato dalla normativa (pari ad 1.3 per struttura ad alta duttilità). L'idea di una maggiorazione era già presente ancor prima che ciò fosse esplicitamente indicato dalla norma e tale maggiorazione era stata inizialmente quantizzata in un 20%. La presenza di taglio fa sì che il momento, fissato pari a  $M_{Rd}$  in corrispondenza dell'estremo della trave, cresce leggermente all'interno del Nodo Carannante ( $M = \gamma_{Rd} M_{Rd} + V_{max} d$ ) e di ciò si tiene conto nel dimensionamento delle parti del nodo e dei collegamenti.

Lo spessore delle ali della parte B è dello stesso ordine di grandezza dello spessore delle ali della trave (più precisamente, poiché i piatti sono forniti con spessore in mm pari ad un numero intero lo spessore è approssimato per difetto all'unità rispetto a quello delle ali del profilato che costituisce la trave). La resistenza della parte B cresce però automaticamente perché la larghezza del piatto aumenta per tener conto dell'indebolimento dovuto alla foratura ed è tale da garantire una adeguata resistenza nella sezione in corrispondenza dei fori previsti per la bullonatura. Lo spessore dell'anima è incrementato del 10% ed arrotondato per eccesso, per portare in conto l'aumento del taglio all'incastro. Nel complesso, la parte B presenta una sezione a doppio T con ali più larghe della trave e un'anima leggermente più larga di quella della trave.

La parte A, dovendo trasmettere gli sforzi al pilastro e dovendo permettere la realizzazione di una intelaiatura spaziale (in cui si innestano sul pilastro più travi fra loro ortogonali), avvolge completamente il pilastro e diventa automaticamente più resistente seguendo in modo automatico la crescita del momento all'avvicinarsi all'asse del pilastro.

La bullonatura tra la parte A e la parte B è proporzionata tenendo conto dell'incremento del momento per effetto del taglio, secondo quanto indicato in precedenza. Il collegamento d'anima è fatto utilizzando gli stessi bulloni calcolati per il collegamento d'ala, disposti in un'unica fila tenendo conto del numero disponibile per la geometria del nodo.



### Studi sperimentali precedenti

I primi studi sperimentali sul Nodo Carannante sono stati effettuati presso il Laboratorio del Dipartimento di Analisi e Progettazione Strutturale (DAPS), ora ribattezzato Dipartimento di Ingegneria Strutturale, dell'Università di Napoli "Federico II". I risultati di queste prove sono stati utili per programmare le prove sia preliminari che definitive svolte presso il Laboratorio di Prove su Materiali e Strutture del DICA e progettare la struttura di contrasto, che è stata realizzata appositamente per tali prove.

Una "sperimentazione al vero" è anche costituita da alcune realizzazioni di opere strutturali nelle quali il Nodo Carannante è stato utilizzato come collegamento tra le aste della struttura.

### Studi sperimentali svolti a Catania

Nell'ambito della prima delle due convenzioni citate all'inizio si sono svolte le attività di seguito elencate:

- individuazione dei sottoelementi che compongono il nodo, delle dimensioni relative dei pezzi, della foratura per il collegamento bullonato;
- individuazione di possibili modalità realizzative (ad esempio: diverse modalità di foratura; uso di saldature al posto delle bullonature);
- definizione delle modalità di prova dei sottoelementi e dei collegamenti bullonati;
- esecuzione delle prove, statiche e dinamiche, su sottoelementi e collegamenti bullonati;
- valutazione dei risultati sperimentali e confronto con modelli teorici;
- confronto dei risultati sperimentali ottenuti con diverse modalità realizzative.

Le prove sono state effettuate presso il Laboratorio di Prove su Materiali e Strutture del Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale dell'Università di Catania e presso il Laboratorio del Dipartimento di Ingegneria Industriale e Meccanica dell'Università di Catania.

Le prove svolte hanno consentito di valutare l'influenza della tecnica di foratura sul comportamento di provini in acciaio rappresentativi degli elementi che compongono il nodo Carannante.

Le prove statiche, eseguite su tre tipologie di provini per cogliere la differenza tra piatti d'anima e piatti d'ala e l'influenza del rapporto tra area netta in corrispondenza del foro ed area lorda, hanno mostrato in generale un miglior comportamento dei provini con fori al plasma, seguiti subito dopo da quelli con fori realizzati mediante ossitaglio. Questa differenza è risultata particolarmente rilevante nel caso dei provini di spessore minore e più contenuta per i provini di spessore maggiore. Leggermente inferiori, e tra loro sostanzialmente comparabili, sono state le prestazioni dei provini con fori effettuati mediante punzone e trapano.

Questi risultati sono confermati dalle prove dinamiche, svolte con riferimento ai provini di spessore minore, per i quali le prove statiche avevano mostrato la maggiore differenza tra plasma ed ossitaglio.

Nell'ambito della seconda delle due convenzioni citate all'inizio si sono svolte le attività di seguito elencate:

- individuazione di un numero sufficiente di complessi elementari nodo-trave, per studiare la resistenza e le deformazioni del collegamento nodo-trave;
- definizione delle modalità di prova di complessi elementari nodo-trave;
- esecuzione delle prove sui complessi elementari nodo-trave;
- valutazione dei risultati sperimentali e confronto con modelli teorici;
- individuazione di insiemi piani costituiti da colonne, travi e nodi, per studiare la resistenza e le deformazioni del complesso nodo-travi-colonne;



- definizione delle modalità di prova dei complessi nodo-travi-colonne;
- esecuzione delle prove sui complessi nodo-travi-colonne;
- valutazione dei risultati sperimentali e confronto con modelli teorici;
- definizione delle modalità di prova di un insieme strutturale più complesso, costituito da una struttura reale realizzata nel Comune di Bacoli (NA) che comprende anche un solaio in cemento armato e travi in acciaio annegate in calcestruzzo;
- esecuzione della prova su tale struttura;
- valutazione dei risultati sperimentali e confronto con modelli teorici.

Le prove di laboratorio sono state effettuate presso il Laboratorio di Prove su Materiali e Strutture del Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale dell'Università di Catania. La prova su struttura al vero è stata effettuata dal personale del DICA recatosi in trasferta nel Comune di Bacoli.

Le prove di laboratorio, spinte fino a deformazioni molto elevate, hanno confermato la grande duttilità del collegamento (ampi tratti di scorrimento plastico sotto carico praticamente costante o con modesto incrudimento). Questa grande capacità deformativa è fornita da deformazioni plastiche che sembrano interessare più i piatti della parte B che non l'estremo di trave collegato alla parte B. Nonostante l'ampiezza delle deformazioni che le macchine disponibili hanno potuto imporre agli elementi soggetti a prova (escursioni di spostamento compressive di 200 mm, da -100 a +100 mm) in alcuni casi non si è riusciti a portare a rottura il provino. In altri casi si è riusciti a raggiungere dopo vari cicli a deformazione elevata la rottura, che è risultata sempre localizzata nei bulloni, in quanto la bullonatura dei provini era stata proporzionata senza tener conto dell'aumento del momento per effetto del taglio in questa zona.

La prova su struttura al vero ha confermato le previsioni teoriche evidenziando un comportamento elastico lineare nell'ambito dei carichi applicati.

### Conclusioni

Le prove svolte chiariscono il comportamento dei singoli elementi che costituiscono il Nodo Caranante e del complesso strutturale ottenuto mediante esso e confermano il comportamento globale previsto, che mostra una concentrazione di plasticizzazioni nella zona di attacco trave-nodo, con la capacità di sostenere grandi deformazioni plastiche.

Prof. Ing. Aurelio Ghersi

Prof. Ing. Pier Paolo Rossi