



# REGIONE SICILIANA

ASSESSORATO DEI BENI CULTURALI DELL'IDENTITA' SICILIANA  
DIPARTIMENTO DEI BENI CULTURALI E DELL'IDENTITA' SICILIANA

## PARCO ARCHEOLOGICO DI SEGESTA

### PATTO PER IL SUD SICILIA 2014/2020

Adeguamento dei servizi e risistemazione logistica accoglienza



Unione Europea

Fondo Europeo Di Sviluppo Regionale



#### IL DIRETTORE DEL PARCO

Dott.ssa Rossella Giglio

#### RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO

Dott.ssa Rossella Giglio

#### GRUPPO DI PROGETTAZIONE

Arch. Antonella Ricotta

Geom. Vincenzo Tumminia

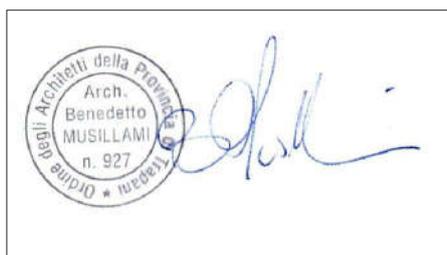
Geom. Elisa Rizzo

#### STRUTTURA TECNICA ORGANIZZATIVA

Parco Archeologico di Segesta

#### IL PROGETTISTA STRUTTURALE

Arch. Benedetto Musillami



### PROGETTO ESECUTIVO - CALCOLI STATICI

#### ■ ELABORATO R - A:

*Relazione di Calcolo*

*interventi su case Ronzi*

			DATA	NOME	FIRMA
REDDATTO					
VERIFICATO					
APPROVATO					
DATA			2020	<b>TAV. R - A</b>	
REVISIONE	DATA	AGGIORNAMENTI	SCALA		
			CODICE FILE		

# RELAZIONE DI CALCOLO E/O GENERALE

## Descrizione dell'opera e collocazione nel territorio

La presente relazione costituisce la relazione di calcolo strutturale, comprensiva di una descrizione generale dell'opera e dei criteri generali di analisi e verifica, in accordo con le prescrizioni contenute nel paragrafo 10.1 del DM 17/01/2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni". Relativamente al progetto in oggetto il documento descrive in particolare le modalità operative di applicazione della normativa vigente.

Le fasi di progetto, analisi, calcolo e verifica sono state svolte a "regola d'arte" dal progettista, secondo i dettami della scienza e tecnica delle costruzioni. Per verificare gli elementi strutturali e le sezioni sollecitate dalle azioni di modello ed al fine di garantire la sicurezza della costruzione è stato utilizzato il metodo agli stati limite, rispettando le prescrizioni previste dalle normative di riferimento elencate nel documento.

Si riporta di seguito in proposito l'insieme delle verifiche strutturali, atte a garantire la resistenza ed il comportamento della struttura sia in condizioni di esercizio che sotto l'azione di eventi di carico straordinari.

Secondo le indicazioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 la relazione di calcolo riporta infine una sezione relativa alle analisi svolte con l'ausilio di codici di calcolo automatico, al fine di facilitare l'interpretazione e la verifica dei calcoli svolti e di consentire elaborazioni indipendenti da parte di soggetti diversi dal redattore del documento.

### **DESCRIZIONE DELL'OPERA**

L'immobile oggetto dell'intervento è prossimo al piazzale d'ingresso e comunque posto in un luogo di facile accessibilità e di facile controllo; pertanto lo si è ritenuto adeguato ad accogliere gli studiosi che occasionalmente o con cadenza periodica vengono accolti per consentire loro di svolgere attività di studio e ricerca.

Oggetto dell'intervento è la riorganizzazione funzionale del corpo di fabbrica, ad una sola elevazione fuori terra, avente struttura portante in muratura di blocchi di tufo dello spessore di cm 30 e solai di copertura in parte in latero cemento ed in parte in legno e sovrastanti coppi siciliani.

In particolare si prevedono i seguenti interventi strutturali:

- modifica di aperture interne ed esterne nei muri portanti;
- realizzazione di architravi in corrispondenza delle nuove aperture;
- sostituzione dei solai di copertura con ampliamento in altezza del vano con copertura a falda inclinata in modo da avere la copertura piana per l'intero edificio;

A tal fine è stata condotta una Verifica Globale allo S.L.U. dato che il carico trasmesso in fondazione allo stato di progetto risulta maggiore del 10% rispetto a quello trasmesso allo stato attuale nel rispetto delle NTC 2018 e relativa circolare.

### **Prestazioni di progetto, classe della struttura, vita utile e procedure di qualità**

Le prestazioni della struttura e le condizioni per la sua sicurezza sono state individuate comunemente dal progettista e dal committente. A tal fine è stata posta attenzione al tipo della struttura, al suo uso e alle possibili conseguenze di azioni anche accidentali; particolare rilievo è stato dato alla sicurezza delle persone.

La classe della struttura è di tipo 1.

Risulta così definito l'insieme degli stati limite riscontrabili nella vita della struttura ed è stato accertato, in fase di dimensionamento, che essi non siano superati.

Altrettanta cura è stata posta per garantire la durabilità della struttura, con la consapevolezza che tutte le prestazioni attese potranno essere adeguatamente realizzate solo mediante opportune procedure da seguire non solo in fase di progettazione, ma anche di costruzione, manutenzione e gestione dell'opera. Per quanto riguarda la durabilità si sono presi tutti gli accorgimenti utili alla conservazione delle caratteristiche fisiche e dinamiche dei materiali e delle strutture, in considerazione dell'ambiente in cui l'opera dovrà vivere e dei cicli di carico a cui sarà sottoposta. La qualità dei materiali e le dimensioni degli elementi sono coerenti con tali obiettivi.

In fase di costruzione saranno attuate severe procedure di controllo sulla qualità, in particolare per quanto riguarda materiali, componenti, lavorazione, metodi costruttivi.

Saranno seguiti tutti gli inderogabili suggerimenti previsti nelle “Norme Tecniche per le Costruzioni”.

## Azioni e carichi sulla struttura

Con riferimento al paragrafo 2.5.1.3 delle NTC 2008, le azioni che investono la struttura sono classificate in relazione alla durata della loro presenza nell’arco della vita di progetto come:

- permanenti (G): azioni con sufficiente approssimazione costanti nel tempo, tra le quali:
  - peso proprio di tutti gli elementi strutturali; peso proprio del terreno, quando pertinente; forze indotte dal terreno (esclusi gli effetti di carichi variabili applicati al terreno);
  - peso proprio di tutti gli elementi non strutturali;
  - spostamenti e deformazioni imposti, previsti dal progetto e realizzati all’atto della costruzione;
- variabili (Q): azioni sulla struttura o sull’elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo:
  - di lunga durata: agiscono con un’intensità significativa, anche non continuativamente, per un tempo non trascurabile rispetto alla vita nominale della struttura;
  - di breve durata: azioni che agiscono per un periodo di tempo breve rispetto alla vita nominale della struttura;
- sismiche (E): azioni derivanti dai terremoti.

L’effetto delle azioni viene valutato ai fini delle verifiche con l’approccio semiprobabilistico agli stati limite, secondo diverse combinazioni:

- Combinazione fondamentale SLU dei carichi, impiegata per gli stati limite ultimi (nei risultati SLU statica)  
 $Y_{G1}.G1 + Y_{G2}.G2 + Y_P.P + Y_{Q1}.Q_{k1} + Y_{Q2}.\psi_{02}.Q_{k2} + Y_{Q3}.\psi_{03}.Q_{k3} + \dots$
- Combinazione caratteristica CA rara, impiegata per gli stati limite di esercizio irreversibili (nei risultati SLE rara)  
 $G1 + G2 + P + Q_{k1} + \psi_{02}.Q_{k2} + \psi_{03}.Q_{k3} + \dots$
- Combinazione frequente FR, impiegata per gli stati limite di esercizio reversibili (nei risultati SLE frequente)  
 $G1 + G2 + P + \psi_{11}.Q_{k1} + \psi_{22}.Q_{k2} + \psi_{23}.Q_{k3} + \dots$
- Combinazione quasi permanente QP, impiegata per gli effetti a lungo termine (nei risultati SLE quasi permanente)  
 $G1 + G2 + P + \psi_{21}.Q_{k1} + \psi_{22}.Q_{k2} + \psi_{23}.Q_{k3} + \dots$
- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all’azione sismica E (nei risultati SLU sisma)  
 $E + G1 + G2 + P + \psi_{21}.Q_{k1} + \psi_{22}.Q_{k2} + \dots$

### Dettagli per la combinazione sismica

La valutazione dell’azione sismica E è condotta secondo le specifiche del capitolo 3.2 e in accordo con le prescrizioni del capitolo 7.3.3 delle NTC 2018 per i tipi di analisi sismica lineare sia dinamica che statica.

I risultati così ottenuti per ciascuna direzione, X e Y (eventualmente anche Z), vengono poi combinati secondo le indicazioni del capitolo 7.3.5 delle NTC 2018, ovvero vengono sommati i contributi secondo il seguente criterio:

$$E1 = 1,00 \times E_x + 0,30 \times E_y + 0,30 \times E_z$$

$$E2 = 0,30 \times E_x + 1,00 \times E_y + 0,30 \times E_z$$

$$E3 = 0,30 \times E_x + 0,30 \times E_y + 1,00 \times E_z$$

la rotazione dei coefficienti moltiplicativi permette l'individuazione degli effetti più gravosi, la direzione Z è opzionale in virtù delle prescrizioni al paragrafo 7.2.1 delle NTC 2018.

Nella verifica allo stato limite ultimo si distinguono le combinazioni EQU, STR e GEO (cfr NTC 2008 § 2.6.1), rispettivamente definite come:

stato limite di equilibrio EQU, che considera la struttura ed il terreno come corpi rigidi; stato limite di resistenza della struttura STR, da riferimento per tutti gli elementi strutturali, e stato limite di resistenza del terreno GEO.

Nelle verifiche STR e GEO possono essere adottati in alternativa, due diversi approcci progettuali: per l'approccio 1 si considerano due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti di sicurezza parziali per le azioni, per i materiali e per la resistenza complessiva, nell'approccio 2 si definisce un'unica combinazione per le azioni, per la resistenza dei materiali e per la resistenza globale.

Le Norme Tecniche prescrivono i valori dei coefficienti  $\psi$  in dipendenza dalle caratteristiche della funzione di ripartizione di ciascuna azione: si ammette infatti che, assieme alle azioni permanenti, esistano combinazioni di azioni in cui una sola azione è presente al valore caratteristico mentre le altre hanno intensità ridotte  $\psi 0Q_k$ .

## AZIONI SISMICHE

L'azione sismica è calcolata mediante analisi dinamica modale.

I parametri che determinano l'azione sismica sono i seguenti:

### INTESTAZIONE E DATI CARATTERISTICI DELLA STRUTTURA

Nome dell'archivio di lavoro	CASE RONZI
Intestazione del lavoro	Verifica fabbricato esistente in muratura portante
Tipo di struttura	Nello Spazio
Tipo di analisi	Statica e Dinamica
Tipo di soluzione	Lineare
Unita' di misura delle forze	kg
Unita' di misura delle lunghezze	cm
Normativa	NTC-2018

### NORMATIVA

Vita nominale costruzione	50 anni
Classe d'uso costruzione	II
Vita di riferimento	50 anni
Luogo	Calatafimi Segesta – Sicilia
Longitudine (WGS84)	12.8355
Latitudine (WGS84)	37.9415
Categoria del suolo	B
Fattore topografico	1

### PARAMETRI SISMICI

	TR	ag/g	FO	TC*	CC	Ss	Pga (ag/g*S)
SLO	30	0.026	2.41	0.19	1.54	1.20	0.031
SLD	50	0.034	2.42	0.21	1.50	1.20	0.041
SLV	475	0.088	2.50	0.31	1.39	1.20	0.106
SLC	975	0.115	2.55	0.33	1.38	1.20	0.138

TR	100	0.047	2.44	0.26	1.44	1.20	0.056
----	-----	-------	------	------	------	------	-------

TR utilizzato nel progetto	100 anni
----------------------------	----------

### STATO LIMITE ULTIMO

Coefficiente di smorzamento	5%
Eccentricita' accidentale	5%
Numero di frequenze	3
Fattore q di struttura per sisma orizzontale	qor=1.5
Fattore q di struttura per sisma orizzontale meccanismi fragili	qorFr=1.5
Duttilita'	Bassa Duttilita'
Periodo proprio T1 in direzione X	0.122
Periodo proprio T1 in direzione Y	0.146

### PARAMETRI SISMICI

Angolo del sisma nel piano orizzontale	0
Sisma verticale	Assente
Combinazione dei modi	CQC
Combinazione componenti azioni sismiche	NTC - Eurocodice 8
$\lambda$	0.3
$\mu$	0.3

## Criteri di concezione e di schematizzazione strutturale, modellazione del terreno, proprietà dei materiali, efficacia del modello.

La struttura e il suo comportamento sotto le azioni statiche e dinamiche è stata adeguatamente valutata, interpretata e trasferita nel modello che si caratterizza per la sua impostazione completamente tridimensionale. A tal fine ai nodi strutturali possono convergere diverse tipologie di elementi, che corrispondono nel codice numerico di calcolo in altrettante tipologie di elementi finiti. Travi e pilastri, ovvero componenti in cui una dimensione prevale sulle altre due, vengono modellati con elementi "beam", il cui comportamento può essere opportunamente perfezionato attraverso alcune opzioni quali quelle in grado di definire le modalità di connessione all'estremità. Eventuali elementi soggetti a solo sforzo normale possono essere trattati come elementi "truss" oppure con elementi "beam" opportunamente svincolati. Le pareti, le piastre, le platee ovvero in generale i componenti strutturali bidimensionali, con due dimensioni prevalenti sulla terza (lo spessore), sono stati modellati con elementi "shell" a comportamento flessionale e membranale. I vincoli con il mondo esterno vengono rappresentati, nei casi più semplici (apparecchi d'appoggio, cerniere, carrelli), con elementi in grado di definire le modalità di vincolo e le rigidità nello spazio. Questi elementi, coniugati con i precedenti, consentono di modellare i casi più complessi ma più frequenti di interazione con il terreno, realizzabile tipicamente mediante fondazioni, pali, platee nonché attraverso una combinazione di tali situazioni. Il comportamento del terreno è sostanzialmente rappresentato tramite una schematizzazione lineare alla Winkler, principalmente caratterizzabile attraverso una opportuna costante di sottofondo, che può essere anche variata nella superficie di contatto fra struttura e terreno e quindi essere in grado di descrivere anche situazioni più complesse. Nel caso dei pali il comportamento del terreno implica anche l'introduzione di vincoli per la traslazione orizzontale.

I parametri dei materiali utilizzati per la modellazione riguardano il modulo di Young, il coefficiente di Poisson, ma sono disponibili anche opzioni per ridurre la rigidità flessionale e tagliante dei materiali per considerare l'effetto di fenomeni fessurativi nei materiali.

Il calcolo viene condotto mediante analisi lineare, ma vengono considerati gli effetti del secondo ordine e si può simulare il comportamento di elementi resistenti a sola trazione o compressione.

La presenza di diaframmi orizzontali, se rigidi, nel piano viene gestita attraverso l'impostazione di un'apposita relazione fra i nodi strutturali coinvolti, che ne condiziona il movimento relativo. Relazioni analoghe possono essere impostate anche fra elementi contigui.

Si ritiene che il modello utilizzato sia rappresentativo del comportamento reale della struttura. Sono stati inoltre valutate tutti i possibili effetti o le azioni anche transitorie che possano essere significative e avere implicazione per la struttura.

E' stata impiegata un'analisi ... in campo lineare con adozione di spettro di risposta conforme al D.M. 17.01.2018. Agli effetti del dimensionamento è stato quindi impiegato il metodo degli stati limite.

## NORMATIVE DI RIFERIMENTO

### STRUTTURA

**Legge 5 novembre 1971 N. 1086 - Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato normale e precompresso ed a struttura metallica.**

**Norme tecniche delle Costruzioni – D.M. 17/01/2018**

**Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche delle Costruzioni, Circolare Ministero Infrastrutture e Trasporti n° 7 21/01/2019**

**Norme di cui è consentita l'applicazione ai sensi del cap. 12 del D.M. 17 gennaio 2018:**

UNI EN 1990: 2006 - Eurocodice 1 – Criteri generali di progettazione strutturale.

UNI ENV 1991-1-1: 2010; -1-2; 1-3; 1-4; 1.5; Azioni sulla struttura.

Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture in calcestruzzo.

UNI ENV 1992-1-1 Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.

Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture in acciaio.

UNI ENV 1993-1-1 - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.

UNI EN 206:2016 - Calcestruzzo. Specificazioni, prestazioni, produzione e conformità.

Servizio Tecnico Centrale del Ministero dei Lavori Pubblici – “Linee Guida sul calcestruzzo strutturale” –

Circ. MIN.LL.PP. N.11951 del 14 febbraio 1992 - Circolare illustrativa della legge N. 1086.

D.M. 14 febbraio 1992 - Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale, precompresso e per le strutture metalliche.

Circ. MIN.LL.PP. N.37406 del 24 giugno 1993 – Istruzioni relative alle norme tecniche per l'esecuzione delle opere in c.a. normale e precompresso e per le strutture metalliche di cui al D.M. 14 febbraio 1992.

D.M. 9 gennaio 1996 – Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.

Circ. Min. LL.PP. 15.10.1996 n.252 AA.GG./S.T.C. - Istruzioni per l'applicazione delle «Norme tecniche per il calcolo e l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche» di cui al D.M. 09.01.1996.

## CARICHI E SOVRACCARICHI

D.M. 16 gennaio 1996 – Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi

Circ. MIN.LL.PP. N.156 AA.GG./STC del 4 luglio 1996 – Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi" di cui al D.M. 16 gennaio 1996.

D.M. 16.1.1996 - Norme tecniche relative alle costruzioni in zone sismiche

Circ. Min. LL.PP. 10.4.1997, n. 65 - Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche relative alle costruzioni in zone sismiche" di cui al D.M. 16 gennaio 1996

Norme tecniche per le Costruzioni – D.M. 14/01/2008

Norme tecniche per le Costruzioni – D.M. 17/01/2018

## TERRENI E FONDAZIONI

D.M. 11 marzo 1988 – Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

Circ. MIN.LL.PP. N.30483 del 24 settembre 1988 - Istruzioni riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre.

## Criteri per la misura della sicurezza

### Metodo di calcolo alle tensioni ammissibili

In generale ai fini della sicurezza sono stati adottati i criteri previsti dal metodo delle tensioni ammissibili. Verranno perciò principalmente controllate le tensioni nei materiali e le deformazioni degli elementi. Per quanto riguarda le azioni sismiche verranno anche esaminate le deformazioni relative, che controllano eventuali danni alle opere secondarie e agli impianti. Al riguardo saranno adottate le indicazioni delle norme e delle disposizioni già citate.

### Metodo di calcolo agli stati limite

In generale ai fini della sicurezza sono stati adottati i criteri contemplati dal metodo semiprobabilistico agli stati limite. In particolare sono stati soddisfatti i requisiti per la sicurezza allo stato limite ultimo (anche sotto l'azione sismica), allo stato limite di esercizio, nei confronti di eventuali azioni eccezionali. Per quanto riguarda le azioni sismiche verranno anche esaminate le deformazioni relative, che controllano eventuali danni alle opere secondarie e agli impianti.

## **Schematizzazione delle azioni, condizioni e combinazioni di carico**

Le azioni sono state schematizzate applicando i carichi previsti dalla norma. In particolare i carichi gravitazionali, derivanti dalle azioni permanenti o variabili, sono applicati in direzione verticale (ovvero – Z nel sistema globale di riferimento del modello). Le azioni del vento sono applicate prevalentemente nelle due direzioni orizzontali o ortogonalmente alla falda in copertura. Le azioni sismiche, statiche o dinamiche, derivano dall'eccitazione delle masse assegnate alla struttura in proporzione ai carichi a cui sono associate per norma. I carichi sono suddivisi in più condizioni elementari di carico in modo da poter generare le combinazioni necessarie.

### **COMBINAZIONI DI CARICO**

Le combinazioni di carico s.l.u. statiche (in assenza di azioni sismiche) sono ottenute mediante diverse combinazioni dei carichi permanenti ed accidentali in modo da considerare tutte le situazioni più sfavorevoli agenti sulla struttura. I carichi vengono applicati mediante opportuni coefficienti parziali di sicurezza, considerando l'eventualità più gravosa per la sicurezza della struttura.

Le azioni sismiche sono valutate in conformità a quanto stabilito dalle norme e specificato nel paragrafo sulle azioni. Vengono in particolare controllate le deformazioni allo stato limite ultimo, allo stato limite di danno e gli effetti del second'ordine.

In sede di dimensionamento vengono analizzate tutte le combinazioni, anche sismiche, impostate ai fini della verifica s.l.u. Vengono anche processate le specifiche combinazioni di carico introdotte per valutare lo stato limite di esercizio (tensioni, fessurazione, deformabilità).

Oltre all'impostazione spaziale delle situazioni di carico potenzialmente più critiche, in sede di dimensionamento vengono ulteriormente valutate, per le varie travate, tutte le condizioni di lavoro statico derivanti dall'alternanza dei carichi variabili, i cui effetti si sovrappongono a quelli dei pesi propri e dei carichi permanenti. Vengono anche imposte delle sollecitazioni flettenti di sicurezza in campata e risultano controllate le deformazioni in luce degli elementi.

## **Metodologie di calcolo, tipo di analisi e strumenti utilizzati.**

L'analisi di tipo numerico è stata realizzata mediante il programma di calcolo MasterSap, prodotto da Studio Software AMV di Ronchi dei Legionari (Gorizia). E' stato utilizzata un'analisi lineare statica / sismica statica equivalente / dinamica modale /statica non lineare nel rispetto delle norme indicate in precedenza. Le procedure di verifica adottate seguono il metodo di calcolo delle tensioni ammissibili / stati limite ultimo / esercizio secondo quanto previsto dal DM 17.01.2018, Norme Tecniche per le Costruzioni.

## **Presentazione del modello strutturale e sue proprietà**

Questa parte richiede di precisare una serie di proprietà che possono essere ricavate in forma grafica direttamente da MasterSap. In particolare:

- Modelli strutturali
- Eventuali sconnessioni
- Sezioni impiegate
- Disposizione e intensità dei carichi
- Distorsioni impresse
- Carichi termici
- Materiali
- Combinazioni di carico

Diamo una breve descrizione delle simbologie adottate da MasterSap.

## ***I NODI***

La struttura è individuata da nodi riportati in coordinate.

Ogni nodo possiede sei gradi di libertà, associati alle sei possibili deformazioni. I gradi di libertà possono essere liberi (spostamenti generalizzati incogniti), bloccati (spostamenti generalizzati corrispondente uguale a zero), di tipo slave o linked (il parametro cinematico dipende dalla relazione con altri gradi di libertà).

Si può intervenire sui gradi di libertà bloccando uno o più gradi. I blocchi vengono applicate nella direzione della terna locale del nodo.

Le relazioni complesse creano un legame tra uno o più gradi di libertà di un nodo detto slave con quelli di un altro nodo detto master. Esistono tre tipi di relazioni complesse.

Le relazioni di tipo link prescrivono l'uguaglianza tra gradi di libertà analoghi di nodi diversi. Specificare una relazione di tipo link significa specificare il nodo slave assieme ai gradi di libertà che partecipano al vincolo ed il nodo master. I gradi di libertà slave saranno eguagliati ai rispettivi gradi di libertà del nodo master.

La relazione di piano rigido prescrive che il nodo slave appartiene ad un piano rigido e quindi che i due spostamenti in piano e la rotazione normale al piano sono legati ai tre parametri di roto-traslazione rigida di un piano.

Il Corpo rigido prescrive che il nodo slave fa parte di un corpo rigido e tutti e sei i suoi gradi di libertà sono legati ai sei gradi di libertà posseduti dal corpo rigido (i gradi di libertà del suo nodo master).

## ***I MATERIALI***

I materiali sono individuati da un codice specifico e descritti dal modulo di elasticità, dal coefficiente di Poisson, dal peso specifico, dal coefficiente di dilatazione termica.

## ***LE SEZIONI***

Le sezioni sono individuate in ogni caso da un codice numerico specifico, dal tipo e dai relativi parametri identificativi. La simbologia adottata dal programma è la seguente:

- Rettangolare piena (Rp);
- Rettangolare cava (Rc);
- Circolare piena (Cp);
- Circolare cava (Cc);
- T (T.);
- T rovescia (Tr);
- L (L.);
- C (C.);
- C rovescia (Cr);
- Cassone (Ca);
- Profilo singolo (Ps);
- Profilo doppio (Pd);
- Generica (Ge).

## ***I CARICHI***

I carichi agenti sulla struttura possono essere suddivisi in carichi nodali e carichi elementari. I carichi nodali sono forze e coppie concentrate applicate ai nodi della discretizzazione. I carichi elementari sono forze, coppie e sollecitazioni termiche.

I carichi in luce sono individuati da un codice numerico, da una azione, una categoria, una condizione e da una descrizione. Sono previsti carichi distribuiti trapezoidali riferiti agli assi globali (fX, fY, fZ, fV) e locali (fx, fy, fz), forze concentrate riferite agli assi globali (FX, FY, FZ, FV) o locali (Fx, Fy, Fz), momenti concentrati riferiti agli assi locali (Mx, My, Mz), momento torcente distribuito riferito all'asse locale x (mx), carichi termici (tx, ty, tz), descritti con i relativi parametri identificativi, aliquote inerziali comprese, rispetto al riferimento locale. I carichi in luce possono essere attribuiti solo a elementi finiti del tipo trave o trave di fondazione.

## **GLI ELEMENTI FINITI**

La struttura può essere suddivisa in sottostrutture, chiamate gruppi.

### **ELEMENTO TRUSS (ASTA RETICOLARE)**

L'elemento truss (asta reticolare) rappresenta il modello meccanico della biella elastica. Possiede 2 nodi I e J e di conseguenza 12 gradi di libertà.

Gli elementi truss sono caratterizzati da 4 parametri fisici e geometrici ovvero:

5. A Area della sezione.
6. E. Modulo elastico.
7.  $\rho$ . Densità di peso (peso per unità di volume).
8.  $\alpha$ . Coefficiente termico di dilatazione cubica.

I dati di input e i risultati del calcolo relativi all'elemento stesso sono riferiti alla terna locale di riferimento indicata in figura.

### **ELEMENTO FRAME (TRAVE E PILASTRO, TRAVE DI FONDAZIONE)**

L'elemento frame implementa il modello della trave nello spazio tridimensionale. E' caratterizzato da 2 nodi principali I e J posti alle sue estremità ed un nodo geometrico facoltativo K che serve solamente a fissare univocamente la posizione degli assi locali.

L'elemento frame possiede 12 gradi di libertà.

Ogni elemento viene riferito a una terna locale destra x, y, z. L'elemento frame supporta varie opzioni tra cui:

1. deformabilità da taglio (travi tozze);
2. sconnessioni totali o parziali alle estremità;
3. connessioni elastiche alle estremità;
4. offsets, ovvero tratti rigidi eventualmente fuori asse alle estremità;
5. suolo elastico alla Winkler nelle tre direzioni locali e a torsione.

L'elemento frame supporta i seguenti carichi:

1. carichi distribuiti trapezoidali in tutte le direzioni locali o globali;
2. sollecitazioni termiche uniformi e gradienti termici nelle due direzioni principali;
3. forza concentrata in tutte le direzioni locali o globali applicata in un punto arbitrario;
4. carichi generici mediante prescrizione delle reazioni di incastro perfetto.

I gruppi formati da elementi del tipo trave riportano, in ordine, i numeri dei nodi iniziale (I), finale (J) e di riferimento (K), la situazione degli svincoli ai nodi I e J (indicate in legenda eventuali situazioni diverse dall'incastro perfetto ad entrambi i nodi), i codici dei materiali e delle sezioni, eventuali offset strutturali o concetti rigidi applicati. Un'ulteriore tabella riporta anche eventuali valori di offset architettonici.

Per ogni asta vengono riportati i carichi applicati: ogni carico è identificato dal suo codice e da un moltiplicatore.

I gruppi relativi all'elemento trave di fondazione riportano informazioni analoghe. È indicata la caratteristica del suolo, la larghezza di contatto con il terreno e il numero di suddivisioni interne. Per la trave di fondazione il programma abilita automaticamente solo i gradi di libertà relativi alla rotazione intorno agli assi globali X, Y e alla traslazione secondo Z, bloccando gli altri gradi di libertà. Ogni trave di fondazione è suddivisa in un numero adeguato di parti (aste). Ogni singola asta interagisce con il terreno mediante un elemento finito del tipo vincolo elastico alla traslazione verticale  $t_z$  convergente ai suoi nodi (vedi figura), il cui valore di rigidezza viene determinato da programma moltiplicando la costante di sottofondo assegnata dall'utente per l'area di contatto con il terreno in corrispondenza del nodo.

I tipi di carichi ammessi sono solo di tipo distribuito  $f_z$ ,  $f_v$ ,  $f_y$ . Inoltre accade che:

$V_i = V_f$ ;  $d_i = d_f = 0$ , ovvero il carico è di tipo rettangolare esteso per tutta la lunghezza della trave.

### **ELEMENTO SHELL (GUSCIO)**

L'elemento shell implementa il modello del guscio piatto ortotropo nello spazio tridimensionale. E' caratterizzato da 3 o 4 nodi I, J, K ed L posti nei vertici e 6 gradi di libertà per ogni nodo. Il comportamento flessionale e quello membranale sono disaccoppiati.

Gli elementi guscio/piastra si caratterizzano perché possono subire carichi nel piano ma anche ortogonali al piano ed essere quindi soggetti anche ad azioni flettenti e torcenti.

Gli elementi in esame hanno formalmente tutti i sei gradi di libertà attivi, ma non posseggono rigidità per la rotazione ortogonale al piano dell'elemento.

Nei gruppi shell definiti "platea" viene attuato il blocco di tre gradi di libertà,  $u_x$ ,  $u_y$ ,  $r_z$ , per tutti i nodi del gruppo.

Ogni gruppo può contenere uno o più elementi (max 1999). Ogni elemento viene definito da questi parametri:

1. elemento numero (massimo 1999 per ogni gruppo);
2. nodi di riferimento I, J, K, L;
3. spessore;
4. materiale;
5. temperatura;
6. gradiente termico;

Per ogni guscio vengono riportati i carichi applicati: ogni carico è identificato dal suo codice e da un moltiplicatore.

### **ELEMENTO PLANE (STATO PIANO DI TENSIONE, STATO PIANO DI DEFORMAZIONE, ASSIALSIMMETRICO)**

L'elemento plane implementa i modelli dell'elasticità piana nelle tre classiche varianti degli stati piani di tensione, di deformazione e dei problemi assialsimmetrici, per materiali ortotropi nello spazio bidimensionale. È caratterizzato da 3 o 4 nodi I, J, K, L posti nei vertici e 2 gradi di libertà per ogni nodo.

Gli elementi in stato piano di tensione, di deformazione o assialsimmetrici sono elementi piani quadrilateri (4 nodi) o triangolari (3 nodi) bidimensionali, caratterizzati da due dimensioni dello stesso ordine di grandezza, prevalenti sulla terza dimensione, che individua lo spessore. Vengono utilizzati per rappresentare strutture bidimensionali caricate nel piano: sono nulle le tensioni ortogonali al piano dell'elemento.

Gli elementi in Stato Piano di Deformazione sono elementi per cui è nulla la deformazione ortogonale al piano, ma non la tensione relativa. Vanno obbligatoriamente analizzati nel piano YZ e si assume uno sviluppo unitario sulla terza dimensione (lungo X). Hanno attivi i due gradi di libertà relativi agli spostamenti nel piano YZ.

Gli elementi Assialsimmetrici rappresentano solidi simmetrici, ottenuti per rotazione intorno all'asse verticale Z e simmetricamente caricati; sono individuati dalla loro sezione nel piano YZ. Anche gli elementi assialsimmetrici vanno studiati nel piano YZ e hanno attivi i gradi di libertà relativi agli spostamenti in questo piano.

Il programma analizza il loro comportamento per uno sviluppo angolare di un radiante.

Ogni gruppo può contenere uno o più elementi (max 1999). Ogni elemento viene definito con questi parametri:

1. numero elemento (massimo 1999 per gruppo);
2. nodi di riferimento I, J, K, L;
3. spessore;
4. materiale;
5. temperatura.

### **ELEMENTO BOUNDARY (VINCOLO)**

L'elemento boundary è sostanzialmente un elemento molla con rigidità assiale in una direzione specificata e rigidità torsionale attorno alla stessa direzione. È utile quando si vogliono determinare le reazioni vincolari oppure quando si vogliono imporre degli spostamenti o delle rotazioni di alcuni nodi (cedimenti vincolari).

I parametri relativi ad ogni singolo vincolo sono:

1. il nodo a cui è collegato il vincolo (o i vincoli, massimo sei);
2. la traslazione imposta (L) o la rotazione imposta (radianti);
3. la rigidità (per le traslazioni in  $F/L$ , per le rotazioni in  $F*L/rad$ ).

### **ELEMENTO PLINTO**

Il plinto viene modellato mediante vincoli elastici alla traslazione e alla rotazione.

Il nodo I è il nodo di attacco del plinto e generalmente corrisponde con il nodo al piede di un pilastro. Si suppone, implicitamente, l'esistenza di un nodo J posizionato sopra I, sulla sua verticale (vedi figura).

Il nodo K consente, assieme a I e J, di orientare il plinto nello spazio. Valgono al riguardo considerazioni analoghe a quelle fatte per i pilastri. L'asse locale x è diretta da I verso J, l'asse locale y è ortogonale a x e punta verso K, l'asse locale z forma, con x e y l'usuale terna cartesiana destrorsa.

La sezione del plinto è quella orizzontale in pianta, esclusivamente rettangolare. La base della sezione si misura parallelamente all'asse locale z, l'altezza si valuta secondo y.

L'altezza h del plinto si misura in verticale (secondo l'asse globale Z).

## PRESENTAZIONE DEI RISULTATI

Questa parte richiede di precisare una serie di proprietà che possono essere ricavate in forma grafica direttamente da MasterSap. In particolare:

- Deformazioni (statiche e dinamiche)
- Deformazioni relative
- Frecce
- Sollecitazioni
- Pressioni sul suolo
- Effetti II ordine
- Masse eccitare
- Modi propri di vibrazione

Diamo una breve descrizione delle simbologie adottate da MasterSap.

### ***I METODI DI CALCOLO***

#### **ANALISI STATICA LINEARE**

L'analisi statica lineare è la più comune e tradizionale delle analisi strutturali possibili. L'aggettivo statica sottintende che i carichi applicati non dipendono dal tempo o più esattamente variano molto lentamente tra l'istante iniziale di applicazione  $t_0$  e l'istante finale di osservazione  $t_f$  (carichi quasi-statici).

Ipotizzando inoltre che la forza di reazione interna dipenda linearmente dagli spostamenti, attraverso una matrice di rigidezza costante K e che le forze esterne siano costituite da carichi indipendenti dallo spostamento, si ottiene l'equazione di equilibrio classica per i problemi quasi statici lineari

$$\mathbf{KU} = \mathbf{F}$$

dove K è la matrice di rigidezza, U è il vettore delle deformazioni nodali, F è il vettore dei carichi.

E' bene ricordare che la linearità della risposta strutturale deriva da almeno due grandi semplificazioni: l'ipotesi di elasticità lineare del materiale (linearità materiale) e l'ipotesi di piccolezza degli spostamenti e delle deformazioni (linearità geometrica).

Nell'analisi sismica con il metodo statico equivalente, le corrispondenti forze inerziali vengono automaticamente aggiunte agli altri carichi eventualmente presenti sulla struttura.

Note le deformazioni vengono calcolate le sollecitazioni.

#### **ANALISI DINAMICA MODALE**

Il programma effettua l'analisi dinamica con il metodo dello spettro di risposta.

Il sistema da analizzare è essere visto come un oscillatore a n gradi di libertà, di cui vanno individuati i modi propri di vibrazione. Il numero di frequenze da considerare è un dato di ingresso che l'utente deve assegnare. In generale si osservi che il numero di modi propri di vibrazione non può superare il numero di gradi di libertà del sistema.

La procedura attua l'analisi dinamica in due fasi distinte: la prima si occupa di calcolare le frequenze proprie di vibrazione, la seconda calcola spostamenti e sollecitazioni conseguenti allo spettro di risposta assegnato in input.

Nell'analisi spettrale il programma utilizza lo spettro di risposta assegnato in input, coerentemente con quanto previsto dalla normativa. L'eventuale spettro nella direzione globale Z è unitario. L'ampiezza degli spettri di risposta è determinata dai parametri sismici previsti dalla normativa e assegnati in input dall'utente.

La procedura calcola inizialmente i coefficienti di partecipazione modale per ogni direzione del sisma e per ogni frequenza. Tali coefficienti possono essere visti come il contributo dinamico di ogni modo di vibrazione nelle direzioni assegnate. Si potrà perciò notare in quale direzione il singolo modo di vibrazione ha effetti predominanti. Successivamente vengono calcolati, per ogni modo di vibrazione, gli spostamenti e le sollecitazioni relative a ciascuna direzione dinamica attivata, per ogni modo di vibrazione. Per ogni direzione dinamica viene calcolato l'effetto globale, dovuto ai singoli modi di vibrazione, mediante la radice quadrata della somma dei quadrati dei singoli effetti. È prevista una specifica fase di stampa per tali risultati.

L'ultima elaborazione riguarda il calcolo degli effetti complessivi, ottenuti considerando tutte le direzioni dinamiche applicate. Tale risultato (involuppo) può essere ottenuto, a discrezione dell'utente in tre modi distinti, inclusi quelli suggeriti della normativa italiana e dall'Eurocodice 8.

## **ANALISI STATICA NON LINEARE (PUSHOVER)**

Il Pushover (o analisi statica non lineare) è **un tipo di analisi** nella quale le forze o gli spostamenti orizzontali che riproducono staticamente l'azione sismica vengono gradualmente incrementati fino a portare la struttura al raggiungimento delle condizioni ultime.

La risposta non lineare della struttura è causata dal comportamento assunto dagli elementi resistenti, comportamento che viene descritto attraverso, ad esempio delle 'plasticità concentrate' (**cerniere plastiche**).

Oltre a determinare stato deformativo e tensionale della struttura per ogni singolo incremento dell'azione orizzontale, l'analisi pushover permette di descrivere il comportamento "complessivo" della struttura attraverso la costruzione di una curva che in ascissa riporta lo spostamento della struttura (in particolare di un suo "*punto di controllo*") ed in ordinata il taglio alla base che ha prodotto quel valore di spostamento.

Si ottiene così una misura della **capacità** in termini di spostamento della struttura (da cui *curva di capacità*) che viene poi confrontata con la **domanda**, sempre in termini di spostamento, dettata dallo spettro di progetto stabilito dalla norma.

Le normative impongono dei limiti di applicabilità del calcolo, tipicamente in funzione della massa eccitata dal primo modo di vibrare, del materiale di cui la struttura è costituita e del tipo di distribuzioni di forze scelte per eseguire l'analisi pushover. Il programma verificare questi limiti in automatico eseguendo in automatico prima un'analisi dinamica e riporta la percentuale di massa eccitata dal modo fondamentale nelle due direzioni principali. In particolare ricordiamo che per quanto riguarda gli edifici in muratura di nuova costruzione l'analisi statica non lineare è applicabile anche nei casi in cui la massa partecipante del modo fondamentale di vibrare sia inferiore al 75% ma comunque superiore al 60% (NTC 2018, §7.8.1.5.4).

## **PRESENTAZIONE DEI RISULTATI DELL'ANALISI STRUTTURALE**

### **DEFORMATE**

Per ogni combinazione di carico e per tutti i nodi non completamente bloccati il programma calcola spostamenti (unità di misura L) e rotazioni (radianti). Viene anche rappresentata la deformata in luce dell'asta che riproduce il comportamento di una funzione polinomiale di quarto grado. Gli spostamenti sono positivi se diretti nel verso degli assi globali X Y Z, le rotazioni positive se antiorarie rispetto all'asse di riferimento, per un osservatore disteso lungo il corrispondente semiasse positivo (vedi figura a lato).

Viene anche determinato il valore massimo assoluto (con segno) di ogni singola deformazione e il valore massimo dello spostamento nello spazio (radice quadrata della somma dei quadrati degli spostamenti).

### **ASPETTI PARTICOLARI DELL'ANALISI DINAMICA**

Nella stampa degli autovettori vengono riportati i relativi risultati, pertinenti ad ogni nodo.

Nel calcolo della risposta spettrale vengono determinate, per ogni verso del sisma, le deformazioni relative ai vari modi di vibrare e la corrispondente media quadratica. Tali risultati vengono successivamente combinati e danno luogo ad uno o più involuppi in relazione a quanto imposto dall'utente nella fase iniziale di intestazione del lavoro.

Nel caso dell'applicazione dell'Ordinanza 3431 (ex 3272) vengono anche determinate le deformazioni allo stato limite ultimo, che risultano amplificate per effetto dei fattori di struttura  $q$  rassegnati alle due direzioni orizzontali e a quella verticale.

## ASTE RETICOLARI

Per ogni elemento e per ogni combinazione di carico statica vengono calcolate:

- tensione unitaria ( $F/L^2$ );
- forza assiale ( $F$ ).

Il segno positivo indica trazione.

Nell'analisi dinamica, per ogni direzione sismica e per ogni asta, viene indicato il modo che dà luogo al massimo effetto e il relativo valore, nonché l'effetto risultante calcolato in base al criterio SRSS o CQC come scelto dall'utente.

Nella stampa degli inviluppi viene riportata la tensione e lo sforzo assiale  $F_x$  calcolato secondo la modalità scelta dall'utente nella fase di input riguardante l'assegnazione dell'intestazione e dei parametri iniziali.

## TRAVI, PILASTRI E TRAVI DI FONDAZIONE

Il programma calcola ai due nodi estremi di ogni elemento e per ogni combinazione di carico sei sollecitazioni, riferite agli assi locali (come indicato nella figura a lato):

- $F_x$  = forza assiale nella direzione locale  $x$ ;
- $F_y$  = taglio nella direzione locale  $y$ ;
- $F_z$  = taglio nella direzione locale  $z$ ;
- $M_x$  = momento torcente attorno all'asse locale  $x$ ;
- $M_y$  = momento flettente attorno all'asse locale  $y$ ;
- $M_z$  = momento flettente attorno all'asse locale  $z$ ,

con le seguenti convenzioni sui segni:

- forze positive se concordi con gli assi locali ( $F$ );
- momenti positivi se antiorari rispetto gli assi locali, per un osservatore disteso lungo il corrispondente semiasse positivo ( $F*L$ ).

Tali convenzioni sono caratteristiche dei codici di calcolo numerico e sono mantenute soltanto nelle stampe globali. Nelle rappresentazioni grafiche e nelle stampe delle verifiche di sicurezza vengono invece adottate le convenzioni tipiche della Scienza delle Costruzioni.

In caso di analisi sismica con il metodo statico equivalente viene riportato un prospetto riguardante il peso sismico del gruppo, le coordinate baricentriche relative, il coefficiente di distribuzione globale del gruppo funzione della sua quota, il coefficiente globale ricavato dal precedente in base ai parametri sismici, la forza sismica relativa.

Nell'analisi dinamica vengono calcolate le medesime sollecitazioni per ognuna delle tre azioni sismiche previste ( $Z$  eventuale). Viene evidenziato il modo di vibrazione che dà luogo all'effetto massimo, il valore di tale effetto (con segno), la risultante dovuta alla combinazione di tutti i modi di vibrazione mediante il criterio prescelto dall'utente.

Per le travi di fondazione il programma calcola ai due nodi estremi della trave e in tutti i punti intermedi generati per effetto della suddivisione della trave di fondazione, per ogni combinazione di carico:

- $F_y$  = taglio nella direzione locale  $y$  ( $F$ );
- $M_x$  = momento torcente attorno asse locale  $x$  ( $F*L$ );
- $M_z$  = momento flettente attorno asse locale  $z$  ( $F*L$ );
- $U_Z$  = spostamento lungo  $Z$  ( $L$ );
- $r_X$  = rotazione intorno  $X$  (rad);
- $r_Y$  = rotazione intorno  $Y$  (rad);
- pressione sul suolo ( $F/L^2$ ).

## GUSCI

Il programma propone i risultati al “centro” di ogni elemento. Per ogni elemento e per ogni combinazione di carico statica vengono evidenziate:

- $S_{xx}$  ( $F/L^2$ );
- $S_{yy}$  ( $F/L^2$ );
- $S_{xy}$  ( $F/L^2$ );
- $M_{xx}$  ( $F*L/L$ );
- $M_{yy}$  ( $F*L/L$ );
- $M_{xy}$  ( $F*L/L$ );
- $\sigma_{idsup}$  ( $F/L^2$ );
- $\sigma_{idinf}$  ( $F/L^2$ ).
- $S_{xx}$ ,  $S_{yy}$ ,  $S_{xy}$  rappresentano le tensioni membranali (vedi figura)
- $M_{xx}$  rappresenta il momento flettente (per unità di lunghezza) che produce tensioni in direzione locale x; analogamente per  $M_{yy}$ ;
- $M_{xy}$  rappresenta il momento torcente (sempre per unità di lunghezza).

Le tensioni ideali  $\sigma_{idsup}$  (al bordo superiore, ovvero sul semiasse positivo dell'asse locale z) e  $\sigma_{idinf}$  sono calcolate mediante il criterio di Huber-Hencky-Mises. I momenti flettenti generano ai bordi dell'elemento delle tensioni valutate in base al modulo di resistenza dell'elemento. Le tensioni da momento flettente  $M_{xx}$  si sovrappongono alle tensioni  $S_{xx}$ , con segno positivo al bordo superiore, con segno negativo al bordo inferiore (analogamente per  $M_{yy}$  e  $S_{yy}$ ). Gli effetti tensionali da momento torcente vengono sovrapposti a  $S_{xy}$ .

Le convenzioni sui segni dei momenti sono caratteristiche dei codici di calcolo automatici e sono mantenute solo nelle stampe dei risultati conseguenti all'elaborazione strutturale, nelle rappresentazioni grafiche e nelle stampe dei postprocessori vengono invece adottate le convenzioni tipiche della Scienza delle Costruzioni.

Nell'analisi dinamica, per ogni direzione sismica e per ogni elemento, viene indicato il modo che dà luogo all'effetto massimo, la risultante per sovrapposizione modale per  $S_{xx}$ ,  $S_{yy}$ ,  $S_{xy}$ ,  $M_{xx}$ ,  $M_{yy}$ ,  $M_{xy}$ .

Nel calcolo degli involucri viene effettuata la sovrapposizione. Anche in questo caso vengono calcolate le tensioni ideali.

Nell'analisi statica e negli involucri dinamici, fra i risultati, alla fine di ogni gruppo vengono riportati i massimi delle tensioni (comprese quelle ideali) e dei momenti, nonché il numero dell'elemento e la combinazione di carico relativa.

## ELEMENTO IN STATO PIANO DI TENSIONE, STATO PIANO DI DEFORMAZIONE, ASSIALSIMMETRICI

Il programma calcola le tensioni ( $F/L^2$ ) al centro di ogni elemento.

Per ogni elemento e per ogni combinazione di carico statica vengono evidenziate:

- $S_{11}$ ;
- $S_{22}$ ;
- $S_{33}$  (sempre nullo per l'elemento in stato piano di tensione);
- $S_{12}$ ;
- $S_{max}$ ;
- $S_{min}$ ;
- Angolo.

La tensione  $S_{33}$  è ortogonale al piano dell'elemento ed è, per definizione, nulla per l'elemento in stato piano di tensione. La tensione è positiva se diretta verso l'osservatore (che vede i nodi dell'elemento susseguirsi, da I a L, in verso antiorario).

Le tensioni  $S_{max}$  e  $S_{min}$  rappresentano le tensioni principali. L'angolo riportato fra i risultati rappresenta l'angolo in gradi sessagesimali compreso fra l'asse locale 11 e la direzione di  $S_{max}$ . In questo modo le tensioni principali sono completamente note, in valore, direzione e verso.

Nell'analisi dinamica, per ogni direzione sismica e per ogni elemento, vengono riportate le tensioni S11, S22, S33, S12 nei punti desiderati (a seconda dell'opzione di stampa scelta), specificando altresì il modo di vibrazione che dà luogo all'effetto massimo, il valore di tale effetto (con segno), la risultante dovuta a tutti i modi di vibrazione (secondo il metodo SRSS o CQC scelto).

Per ogni gruppo, per l'analisi statica e per gli involucri dinamici, in stampa viene riportato un prospetto riepilogativo riguardante i valori massimi negativi e positivi delle tensioni, nonché gli elementi e le combinazioni di carico interessate.

## **VINCOLI**

In stampa vengono fornite, per ogni nodo vincolato, le reazioni corrispondenti ai vincoli assegnati. Per quanto concerne i versi si tenga presente che è stata adottata la convenzione tradizionale. In generale le forze vincolari (unità di misura F) sono positive se vanno nel verso dell'asse di riferimento, i momenti ( $F*L$ ) sono positivi se antiorari per un osservatore disposto lungo il corrispondente semiasse positivo; tali sollecitazioni tendono a contrastare deformazioni di segno opposto.

Per quanto concerne i vincoli comunque disposti nello spazio vale la stessa regola: se uno spostamento è positivo tende ad allontanare il nodo N da I; la conseguente reazione è di segno opposto, cioè negativa.

Nell'analisi dinamica, per ogni direzione, per ogni nodo vincolato, viene indicato il modo che dà luogo all'effetto massimo e il relativo valore; viene anche indicato il risultato complessivo calcolato a partire dai singoli effetti modali. Nella stampa degli involucri viene calcolata la risultante obbedendo alla modalità scelta dall'utente.

## **PLINTI**

La procedura calcola le rigidità del plinto e le assegna come avviene per un elemento "vincolo" disposto secondo le direzioni globali X, Y, Z. Pertanto i risultati per un plinto corrispondono a quelli proposti per l'elemento "vincolo". Nelle verifiche vengono invece riportati i risultati secondo le direzioni locali, come più consueto.

La rigidità alla traslazione verticale del plinto viene calcolata moltiplicando l'area del plinto per la costante di sottofondo.

Le rigidità alla rotazione rispetto ai due assi locali x e y vengono calcolate moltiplicando il relativo momento d'inerzia flessionale per la costante di sottofondo. Tali rigidità alla rotazione vengono quindi riportate agli assi globali X e Y con le usuali regole di trasformazione, perché il programma tratta i vincoli come se fossero assegnati secondo le direzioni globali.

Le due rigidità alla traslazione secondo gli assi globali X e Y, nonché la rigidità alla rotazione intorno l'asse globale Z vengono automaticamente poste ad un valore elevato, che dà luogo a deformazioni trascurabili. Si assume infatti che il plinto non possa spostarsi nel piano orizzontale e ruotare intorno all'asse verticale Z.

## **Verifiche di sicurezza degli elementi**

Questa parte richiede di precisare una serie di proprietà che possono essere ricavate in forma grafica direttamente da MasterSap. Diamo una breve descrizione delle simbologie adottate da MasterSap.

### **VERIFICHE DI OPERE IN CEMENTO ARMATO**

#### **TRAVI, PILASTRI, SETTI E TRAVI DI FONDAZIONE**

Fra le informazioni di testa per le travi è segnalata la travata di appartenenza, la componente del peso proprio e il carico medio. Per i soli pilastri oltre al numero strutturale dell'asta è anche indicato l'eventuale numero di pilastrata.

Le sollecitazioni sono riferite al sistema locale x, y, z. Vengono riportate, in ordine:

- NC: numero della combinazione di carico;
- x: ascissa di calcolo (cm);

- Per i soli pilastri, per le combinazioni sismiche e nei casi in cui va applicata la gerarchia delle resistenze, vengono inserite due colonne  $\alpha M_y$  e  $\alpha M_z$  che riportano i valori dei moltiplicatori delle sollecitazioni  $M_y$  ed  $M_z$ .
- in sequenza  $F_x, F_y, F_z$  (F);  $M_x, M_y, M_z$  (F\*m).

NB: Per elementi trave di fondazione  $F_x, F_z, M_y$  sono generalmente nulli.

Le convenzioni adottate sui segni delle sollecitazioni sono:

- $F_x$  (sforzo normale) è positivo se di trazione;
- $F_y$  (forza tagliante) è positiva se agisce, a sinistra dell'ascissa interessata, nel verso positivo dell'asse locale corrispondente;
- $F_z$  (forza tagliante) è positiva se agisce, a sinistra dell'ascissa interessata, nel verso negativo dell'asse locale corrispondente;
- $M_x$  (momento torcente) è positivo se antiorario intorno a x a sinistra dell'ascissa in esame;
- $M_y$  (momento flettente) è positivo se tende le fibre posteriori, cioè quelle disposte nel verso negativo dell'asse z;
- $M_z$  (momento flettente) è positivo se tende le fibre inferiori, cioè quelle disposte nel verso negativo dell'asse y.

Compaiono poi nel tabulato gli ulteriori risultati:

- in sequenza, armatura posteriore, anteriore, inferiore, superiore ( $\text{cm}^2$ ); si noti che tali armature sono quelle totali.

NB: La sezione di due reggistaffe contribuisce in tutti quattro i valori di armatura; per i pilastri circolari viene determinata e stampata l'armatura totale distribuita uniformemente su tutta la circonferenza;

- campo (di rottura): rappresenta il campo di rottura determinato dalla procedura di verifica; nel caso delle travi, qualora sia stata deselezionata la verifica a sforzo normale, il campo di rottura viene sostituito dal rapporto  $x/d$ ;
- indice di resistenza a presso-tensoflessione ( $F_x, M_y, M_z$ ): rappresenta il moltiplicatore delle sollecitazioni allo s.l.u., ovvero il rapporto fra la sollecitazione agente e quella resistente;
- indice di resistenza a taglio/torsione (Bielle): rappresenta l'indice di resistenza delle bielle compresse sollecitate a taglio e/o torsione;
- indice di resistenza a taglio/torsione (V,  $M_x$ ): rappresenta l'indice di resistenza "taglio e torsione" per elementi che non necessitano di armatura trasversale;
- indice di resistenza a scorrimento: riporta l'indice di resistenza che si ricava dal rapporto fra la resistenza a scorrimento (vedi § 7.4.4.5.2.1 delle NTC/2018) e la sollecitazione di taglio.
- $asw_t$ ,  $asw_t$ : in  $\text{cm}^2/\text{m}$  rappresenta l'area di armatura per unità di lunghezza derivante, rispettivamente, dall'effetto di taglio e torsione;
- passo staffe: in cm rappresenta il passo delle staffe derivante da  $asw_t$  e  $asw_t$  e dall'applicazione dei minimi di normativa;

Viene evidenziata, su una riga conclusiva apposita, l'involuppo delle armature in grado di resistere a tutte le situazioni. Per la sezione rettangolare viene riportata l'armatura aggiuntiva effettiva sui quattro lati, detraendo dall'armatura totale quella dei reggistaffe. Per la sezione circolare è invece sempre riportato il valore totale distribuito. Viene infine indicato il passo delle staffe calcolato o di normativa.

Per i setti viene anche effettuata la verifica a scorrimento in corrispondenza delle sezioni al piede e in testa poste all'interno delle zone critiche. In questi casi, alla fine del tabulato delle armature riguardante la singola asta, vengono riportate:

- quota alla quale viene effettuata la verifica a scorrimento;
- sollecitazione di taglio per il dimensionamento ( $V_{Ed}$ );
- resistenza a spinotto delle barre verticali ( $V_{dd}$ );
- resistenza per attrito ( $V_{fd}$ );
- eventuale armatura inclinata totale ( $\text{cm}^2$ ) derivante dalla verifica.

Alla fine del tabulato di progetto delle armature riguardante un'asta, se attivata l'opzione sulla combinazione dei carichi, la procedura propone uno specchio che riepiloga nell'ordine:

- numero della combinazione di carico che dà luogo al momento massimo; tale sollecitazione può infatti derivare per effetto di una combinazione di carico spaziale di MasterSap (in questo caso viene riportato il relativo numero di combinazione o simbolo identificativo) o a causa della combinazione dei carichi permanenti e variabili o dell'eventuale momento di sicurezza (in questo secondo caso il contrassegno di combinazione è dato dal simbolo --);
- $xM_{max}$ ; ascissa dell'asta in cui si verifica il momento massimo positivo;
- $M_{max}$ ; valore del momento massimo positivo;
- $A_{inf}$ , D. inf agg.; armatura inferiore totale derivante dall'azione del momento massimo positivo, numero e diametro delle barre aggiuntive, come al solito, rispetto ai reggistaffe comunque presenti;
- $A_{sup}$ , D. sup agg.; valgono le stesse considerazioni di sopra, riferite all'armatura superiore;
- il rapporto  $x/d$  e l'indice di resistenza a flessione.

Nelle verifiche di esercizio per gli elementi vengono considerati i soli effetti del momento flettente  $M_z$ , ma per comodità dell'utente il tabulato riporta anche il valore delle altre sollecitazioni, incluse fra [ ] per significare che non entrano in gioco nella verifica. Per lo stesso motivo fra parentesi [ ] sono anche riportate le armature anteriori e posteriori.

- Apertura delle fessure  $w$  (mm): rappresenta l'ampiezza della fessura derivante dall'azione del momento flettente  $M_z$  all'ascissa indicata. La fessura si apre superiormente per  $M_z$  negativo, inferiormente per  $M_z$  positivo.
- La freccia viene riportata nel prospetto specifico (che compare a fine trave) riguardante anche il momento massimo in campata.

Per elementi verificati di tipo "pilastro" o "setto" viene effettuata la verifica delle tensioni di esercizio, mentre la verifica a fessurazione è eseguita senza calcolo diretto dell'ampiezza della fessura, in accordo al punto §C4.1.2.2.4.6 della Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 (Istruzioni alle NTC 2008). Nella verifica alle tensioni la sezione viene trattata a presso-tensoflessione, trascurando in questo caso l'eventuale contributo del calcestruzzo a trazione. Vengono ignorate agli effetti della verifica le sollecitazioni torcenti e di taglio, comunque riportate fra [ ] nei tabulati per memoria.

Se si verifica la necessità di armare a punzonamento le travi o le fondazioni viene determinata la sezione complessiva delle barre piegate, che andranno disposte parallelamente alle staffe della trave.

Vengono indicate:

- asta: numero dell'asta oggetto di verifica;
- ascissa  $x$  (cm): ascissa dell'asta;
- taglio: valore dell'azione di taglio complessiva agente al nodo;
- carico limite di punzonamento;
- coefficiente di sicurezza al punzonamento;
- armatura piegati a punzonamento ( $cm^2$ ), eventuale.

#### Considerazioni per l'analisi dinamica.

I risultati dinamici considerati sono quelli ottenuti per inviluppo, a seconda della modalità scelta. Si possono generare diverse combinazioni risultanti (sovrapposizione degli effetti statici e degli effetti dinamici) indicate nei tabulati con delle lettere.

Per quanto riguarda gli effetti dinamici si tenga presente che il segno degli inviluppi è sempre positivo e che le norme impongono che tali risultati siano considerati anche con segno opposto.

### **NODI TRAVE – PILASTRO**

Le NTC 2018 richiedono la verifica, mediante progettazione in capacità, dei nodi trave pilastro in tutti i casi, quindi sia per strutture dissipative (indifferentemente, in CD "A" e in CD "B"), che per strutture non dissipative, anche per strutture in zone a bassa sismicità.

La progettazione in capacità risulta particolarmente onerosa. Il risultato della progettazione in capacità dei nodi viene riportato nella stampa della verifica dei pilastri e si riferisce al nodo di testa del pilastro indicato. MasterArm calcola il taglio che agisce sul nodo nelle due direzioni locali ( $V_{jbdy}$ ,  $V_{jbdz}$ ), funzione delle armature delle travi che vi convergono e che vengono individuate automaticamente, calcola le resistenze a compressione e i relativi indici di resistenza. In relazione viene stampato il più gravoso. La verifica a taglio-trazione determina l'area  $A_{sh}$  di armatura a taglio al nodo nelle due direzioni ( $A_{shy}$  e  $A_{shz}$ ), che insieme al dato  $H_{jw}$  stabilisce il passo delle staffe (in stampa compare il più gravoso dei due). Nel calcolo del passo si considerano staffe a due bracci più le eventuali legature/spille calcolate alla sezione di testa del pilastro, ovvero si considera che le staffe in testa al pilastro proseguano all'interno del nodo e con esse anche le legature/spille. Come richiesto dalle NTC 2018, per i nodi interamente confinati il passo calcolato viene raddoppiato (pur con il limite  $\leq 15\text{cm}$ ).

In testa al tabulato viene riportata la classificazione del nodo che potrà essere 'confinato' o 'non confinato'. Per ciascuna direzione (in riferimento agli assi locali del pilastro) il nodo potrà quindi essere interno (due travi) o esterno (una trave). Poi abbiamo:

### **Geometria**

- As2(inf) armatura inferiore delle travi che compongono il nodo;
- As1(sup) armatura superiore delle travi che compongono il nodo;
- H<sub>jw</sub> (h<sub>jw</sub>) distanza tra le giaciture di armature superiori e inferiori della trave;
- b<sub>j</sub> la larghezza effettiva del nodo;
- h<sub>jc</sub> la distanza tra le giaciture più esterne delle armature del pilastro;

### **Sollecitazioni**

- F<sub>xMin,inf</sub> sforzo di compressione in testa al pilastro al di sotto del nodo, utilizzato nella [7.4.12]
- F<sub>xMin,sup</sub> il minore sforzo di compressione (tra le combinazioni di carico) al piede del pilastro superiore al nodo, utilizzato nella [7.4.8]
- F<sub>xMax,sup</sub> il massimo sforzo di compressione (tra le combinazioni di carico) al piede del pilastro superiore al nodo, utilizzato nelle eq. [7.4.10] e [7.4.11]
- F<sub>ysup</sub> il minore sforzo di taglio nel pilastro al di sopra del nodo in direzione y
- F<sub>zsup</sub> il minore sforzo di taglio nel pilastro al di sopra del nodo in direzione z

### **Risultati**

- V<sub>jbd</sub> domanda di taglio al nodo secondo le [7.4.6] nodi interni o [7.4.7] nodi esterni
- V<sub>res</sub> il termine a destra della [7.4.8]
- I.R.compr. il maggiore indice di resistenza a compressione tra le due direzioni:  $V_{jbd} / V_{res}$
- A<sub>shy</sub> armatura a taglio al nodo nella direzione y
- A<sub>shz</sub> armatura a taglio al nodo nella direzione z
- Passo il passo più piccolo tra le due direzioni calcolato considerando staffe a due bracci più eventuali spille/legature, A<sub>sh</sub> e H<sub>jw</sub>

Avendo attivato l'opzione "Limitazione domanda resistenza al caso NON dissipativo" la domanda di resistenza a taglio del nodo viene limitata come indicato al §7.2.2 delle NTC 2018: "La domanda di resistenza valutata con i criteri della progettazione in capacità può essere assunta non superiore alla domanda di resistenza valutata per il caso di comportamento strutturale non dissipativo." Il tabulato di verifica, nel caso di attivazione di quest'opzione, riporta un primo prospetto relativo alla progettazione in capacità, un secondo relativo alla verifica di resistenza per comportamento non dissipativo, e un tabulato finale con il prospetto di confronto e sintesi conclusiva.

Il tabulato relativo alla 'Verifica di resistenza' per comportamento non dissipativo è diverso se si tratta di "nodo interno" o di "nodo esterno"; ad esempio, nel Tabulato riportato qui sopra: in direzione y riscontriamo un nodo interno e in direzione z un nodo esterno.

Illustriamo qui sotto il significato dei parametri della verifica:

### **Geometria**

- H<sub>jw</sub> (h<sub>jw</sub>) la distanza tra le giaciture di armature superiori e inferiori della trave;
- b<sub>j</sub> la larghezza effettiva del nodo;
- h<sub>jc</sub> la distanza tra le giaciture più esterne delle armature del pilastro;
- db<sub>1,2</sub> altezze utili delle travi nella direzione in esame.

### **Sollecitazioni**

NC numero della combinazione di carico;

$F_{x,sup}$  sforzo di compressione al piede del pilastro superiore al nodo, utilizzato nelle eq. [7.4.8], [7.4.10] e [7.4.11];

$F_{x,inf}$  sforzo di compressione in testa al pilastro al di sotto del nodo [7.4.12].

#### **Sollecitazioni (nella direzione in esame)**

$V_c$  sforzo di taglio nel pilastro al di sopra del nodo nella direzione in esame (y o z).

#### **Sollecitazioni per il caso ‘nodo interno’**

$M_{b,1}$  momento (con segno) sulla trave 1;

$M_{b,2}$  momento (con segno) sulla trave 2 – se il nodo è interno.

#### **Sollecitazioni per il caso ‘nodo esterno’**

$M_b$  momento (con segno) sulla trave;

$V_b$  taglio sulla trave

#### **Risultati**

$V_{jbd}$  domanda di taglio al nodo secondo le [7.4.6] e [7.4.7];

$V_{res}$  il termine a destra della [7.4.8];

I.R.c indice di resistenza a compressione  $V_{jbd} / V_{res}$

Ash armatura a taglio al nodo nella direzione in esame

Passo calcolato in base a: bracci staffe comprensivi di legature se presenti, ad Ash e ad  $H_{jw}$

In CONFRONTO E SINTESI CONCLUSIVE si riportano infine i risultati conclusivi del dimensionamento.

Nel caso di attivazione dell’opzione “Circolare esplicativa 17 gennaio 2019”, non vengono realizzate le verifiche per capacità delle strutture con comportamento non dissipativo e i nodi interamente confinati per la CD “B”. La verifica dei nodi viene pertanto eseguita solamente per i nodi non interamente confinati in CD “B”.

## **RISULTATI GERARCHIA RESISTENZE (NTC 2018)**

La **stampa del taglio sismico** esegue la stampa dei risultati della specifica verifica a taglio prevista per travi e pilastri al fine del rispetto della gerarchia flessione/taglio prescritto al punto § 7.4.4.1.1 e 7.4.4.2.1 delle NTC/2018. Tale verifica, che dipende dalle armature effettivamente poste in opera, viene effettuata all’atto della creazione del disegno o di una sua modifica.

Tale stampa riporta:

- il taglio  $F_y/F_z$  riferito agli schemi aggiuntivi calcolati ed il loro inviluppo;
- l’armatura inferiore e superiore effettivamente disegnata ed individuata nel disegno al netto della lunghezza di ancoraggio;
- l’indice di resistenza a taglio: rappresenta l’indice di resistenza delle bielle compresse sollecitate a taglio e/o torsione;
- $asw_{ta}$ : in  $cm^2/m$  rappresenta l’area di armatura per unità di lunghezza derivante dall’effetto del taglio qui calcolato;
- passo: in cm rappresenta il passo delle staffe derivante da  $Asw_{ta}$  qui calcolata;
- $M_{r,inf}$  e  $M_{r,sup}$ : rappresentano i momenti resistenti calcolati sulla base dell’armatura inferiore e superiore utilizzati nel calcolo del taglio negli schemi previsti.  $M_{r,inf}$  rappresenta il momento resistente della sezione quando l’armatura tesa è l’inferiore,  $M_{r,sup}$  è il momento resistente della sezione quando l’armatura tesa è la superiore.

## **I RISULTATI PER I PLINTI**

Viene riportato il nodo di attacco del plinto e le informazioni su sezione e peso proprio. Vengono anche indicate le sollecitazioni esterne agenti, riferite agli assi locali. Lo sforzo normale  $N$  viene qui riportato con segno positivo se di compressione, come di norma avviene.  $F_y$  e  $F_z$  esprimono le reazioni vincolari taglianti, positive se agenti nel verso del rispettivo asse.

In caso di analisi dinamica per i plinti viene adottato il criterio di determinazione degli effetti statici e dinamici simile a quello predisposto per le aste. Vengono sovrapposti gli effetti dell’analisi statica con i risultati dell’analisi

dinamica, considerando tutte le possibili permutazioni di segno per i risultati dinamici relativi a sforzo normale e a momento flettente. Per le sollecitazioni dinamiche di taglio viene preso lo stesso segno di quello statico. Nei tabulati le combinazioni prese in considerazione vengono codificate con la stessa simbologia adottata per gli elementi monodimensionali (lettere da A a X).

Viene indicato:

- ascissa di calcolo (cm); la verifica viene attuata sugli assi locali y e z, prima sul semiasse positivo e poi su quello negativo;
- momento flettente ( $F*m$ ) e relativa combinazione di massimo: viene effettuata la verifica per tutte le combinazioni di carico agenti, riportando, fra parentesi, solo quella che ha generato il massimo effetto; il momento è riferito all'intera sezione rettangolare in esame (che per le ascisse secondo y ha dimensioni B in larghezza e h in altezza, mentre secondo z vale rispettivamente H e h);
- sforzo tagliante (F) e relativa combinazione di massimo: valgono considerazioni analoghe a quelle del momento flettente, riferite allo sforzo di taglio;
- armatura inferiore ( $cm^2$ ) e passo delle barre: viene calcolata l'armatura totale minima necessaria a supportare il momento flettente e il relativo passo delle barre;
- armatura superiore ( $cm^2$ ) e passo delle barre: analogamente all'armatura inferiore; quella superiore è generalmente nulla, in quanto situata in zona compressa, dove la presenza del calcestruzzo è già sufficiente a sostenere le azioni presenti;
- indice di resistenza a flessione;
- indice di resistenza a taglio;
- per ogni combinazione di carico dichiarata allo s.l.u. si ricava la pressione ultima sul terreno. Si determina l'area efficace che dipende dalle due eccentricità  $e_y$  ed  $e_z$  e si ricava lo sforzo normale ultimo  $F_{xult}$  (corrispondente alla pressione  $q_{ult}$ ) da cui deriva, in relazione all' $F_x$  esterno agente, l'indice di resistenza finale;
- per ogni combinazione di carico dichiarata allo s.l.e. si determina la pressione effettiva sul suolo che si confronta con la capacità portante, determinata riducendo la pressione ultima sul terreno in base al fattore di sicurezza stabilito in tabella.

Viene infine calcolato il carico limite di punzonamento e il coefficiente di sicurezza al punzonamento (con relativa combinazione più gravosa). Se il coefficiente di sicurezza al punzonamento scende sotto il valore 1 viene calcolata la sezione delle barre piegate per ognuna delle due direzioni ortogonali.

## I RISULTATI PER ELEMENTI GUSCIO

Il tabulato riporta:

- numero elemento in esame.;
- numero combinazione di carico;
- $N_{xx}$  (F),  $M_{xx}$  ( $F*m$ ),  $N_{yy}$  (F),  $M_{yy}$  ( $F*m$ ): sollecitazioni di sforzo normale e momento flettente; le sollecitazioni con indice xx producono tensioni in direzione locale xx; analogamente per yy. Si tenga presente che gli sforzi normali sono positivi se di trazione, i momenti flettenti sono positivi se tendono le fibre inferiori.

Successivamente vengono riportati gli esiti della verifica:

- $A_{xx}$  inf,  $A_{xx}$  sup,  $A_{yy}$  inf,  $A_{yy}$  sup ( $cm^2$ ): le armature in direzione xx risultano dalla verifica a pressoflessione effettuata sulla base di  $N_{xx}$  e  $M_{xx}$ ; analogamente per yy; le sollecitazioni sono calcolate per un tratto pari al passo;
- indici di resistenza per le verifiche a pressoflessione, a taglio nel piano e a taglio fuori piano. Per il taglio nel piano si controlla che  $S_{xy} \leq \sqrt{f_{cd}/f_{ck}}$ ; l'indice di resistenza a taglio è il rapporto fra il primo e il secondo termine della disuguaglianza;
- il taglio fuori piano (chiamato  $V_z$ ), agente lungo l'asse locale z ortogonale all'elemento, viene perciò utilmente confrontato con il taglio limite  $V_{rd1}$  contemplato per sezioni sprovviste di armatura a taglio.

Nelle verifiche di esercizio per gli elementi soggetti a sforzo normale  $N_{xx}$  e  $N_{yy}$  trascurabile (ovvero eccentricità rispetto ai momenti  $M_{xx}$  e  $M_{yy}$  molto grande, tale da assimilare tale situazione a quella di una flessione semplice), la verifica alle tensioni e alla fessurazione segue le regole già illustrate per il caso delle travi (a cui si rimanda). Le sezioni di verifica sono due (in direzione locale  $x$  e in  $y$ ) e per ciascuna si ottengono risultati in termini di tensioni ( $S_c$ ,  $S_f$ ) e ampiezza delle fessure ( $w$ ). In stampa per ognuna delle grandezze calcolate viene riportato il valore più alto tra le due elaborazioni.

Nei casi in cui lo sforzo normale rispetto al momento flettente è significativo la verifica a fessurazione è eseguita senza calcolo diretto dell'ampiezza della fessura in accordo al punto §C4.1.2.2.4.6 della Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 (Istruzioni alle NTC 2008), come già illustrato per pilastri e setti, a cui si rimanda per i principi generali. Quando viene eseguita la verifica a fessurazione senza calcolo diretto per entrambe le sezioni di verifica, nella colonna di stampa "w" compare la nota "indir." (calcolo indiretto). Nel caso misto, ovvero di calcolo diretto per una sezione e indiretto per l'altra, nella colonna di stampa "w" compare sempre il valore di ampiezza della fessura calcolata con metodo diretto.

Viene infine calcolato il carico limite di punzonamento e il coefficiente di sicurezza al punzonamento (con relativa combinazione più gravosa). La resistenza di calcolo a trazione del calcestruzzo ( $f_{ctd}$ ) viene letta fra i parametri assegnati dall'utente.

Per ogni combinazione di carico viene riportato:

- coefficiente  $\beta$ ;
- lo sforzo di taglio-punzonamento ridotto ( $N_{rid}$ ) relativo al contorno  $u_0$ ;
- la sollecitazione di taglio resistente sul contorno  $u_0$  del pilastro, determinata in base all'espressione 6.53 EC2, che rimanda alla 6.14 EC2, equivalente alla grandezza  $V_{Rcd}$  dell'espressione 4.1.28 NTC 2018: ovvero viene effettuata una verifica delle bielle compresse;
- I.R. bielle compresse, pari a  $\beta \cdot N_{rid} / V_{Rcd}$ , che deve risultare non superiore a 1, altrimenti il plinto non è verificabile (come avviene per tutti gli elementi strutturali quando fallisce la verifica delle bielle compresse).
- il contorno finale  $u_1$ ;
- il rapporto geometrico di armatura  $\rho$  ( $\leq 0.2\%$ ) che interviene nella determinazione di  $V_{Rd}$  (vedi 6.42 EC2); per inciso osserviamo che l'introduzione di un passo minimo nelle tabelle dei plinti è stato ispirato dalla convenienza di avere un valore minimo di  $\rho$  significativo, perché è solo l'armatura diffusa su tutto il plinto che contribuisce a determinare  $\rho$ ;
- lo sforzo di taglio-punzonamento ridotto ( $N_{rid}$ ) relativo al contorno  $u_1$ ;
- la sollecitazione resistente  $V_{Rd}$ ;
- I.R., pari a  $\beta \cdot N_{rid} / V_{Rd}$ .

Se quest'indice è maggiore di 1 si aprono due soluzioni alternative

- La prima soluzione consiste nell'aumentare l'armatura tesa (inferiore) che determina  $\rho$ , ovvero viene calcolata l'armatura aggiuntiva, oltre a quella base già presente, che porta a un valore sufficiente e accettabile per  $V_{Rd}$ . Viene riportata questa eventuale armatura aggiuntiva (in  $cm^2$ ) da porre in opera è specificata separatamente per le due direzioni  $y$  e  $z$ .
- La seconda soluzione è quella di adottare barre piegate a taglio-punzonamento adottando le formule suggerite al par. 6.4.5 EC2. Anche in questo caso l'eventuale armatura da porre in opera (in  $cm^2$ ) è specificata separatamente per le due direzioni  $y$  e  $z$ .

## I RISULTATI PER LE PARETI TOZZE

Il tabulato ricalca parzialmente quello degli elementi guscio in cui viene però esplicitata l'armatura verticale e orizzontale

I risultati della verifica riguardano innanzitutto le azioni di presso flessione.

La verifica a taglio, riferendosi ad azioni nel piano, è fatta nei confronti delle bielle compresse: pertanto nel tabulato si evidenzia l'indice di resistenza a taglio come il rapporto fra l'azione tagliante nell'elemento e la corrispondente  $V_{Rcd}$  (formula 4.1.28 NTC 2018).

Inoltre le NTC 2018 al § 7.4.4.5.2 e l'EC8 al § 5.5.3.4.4, nel caso di alta duttilità, prescrivono un'ulteriore verifica a taglio dell'armatura d'anima delle pareti che viene dimensionata anche in funzione del valore limite del taglio per elementi privi di armatura a taglio; per tale motivo, in questo caso, si riporta anche il rapporto tra l'azione tagliante nell'elemento ed il corrispondente  $V_{Rcd}$  (vedi espressione 4.1.28 delle NTC 2018).

Infine, per ogni elemento interno all'altezza critica, viene effettuata la verifica a scorrimento, in analogia con quanto già fatto per le pareti modellate come "Travi e Pilastri". L'armatura orizzontale è deputata a sostenere le relative azioni di presso flessione ma anche quelle di taglio, che potrebbero essere significative soprattutto in presenza di azioni sismiche.

Questi elementi vengono verificati agli stati limite di esercizio con il calcolo in diretto, con i criteri già illustrati per pilastri e setti.

## I RISULTATI PER LE PARETI SNELLE

Le cosiddette "pareti interattive" sono pareti semplici (snelle) a cui si applicano le regole di dimensionamento e di disegno specificate dalla norma (NTC 2018 e EC8).

La verifica delle pareti viene eseguita sulla base dell'armatura presente nel disegno in corrispondenza di tre ascisse per gruppo (interpiano) e più precisamente al piede, in mezzeria e in testa.

Vengono effettuate le verifiche a presso-tensoflessione deviata e a taglio ed i controlli previsti per le pareti semplici previste dalla norma.

Il tabulato comprende una iniziale sintesi dei parametri di progetto, a seguire:

- POS: la posizione della sezione di verifica, al piede (0), in mezzeria (l/2), in testa (l)
- NC (numero combinazione di carico);
- $F_x$  (F): sforzo normale, negativo se di compressione;
- V (F): taglio nel piano della parete;
- $M_y$  (F\*L): momento fuori piano della parete;
- $M_z$  (F\*L): momento nel piano della parete;
- Indice di resistenza a presso-tensoflessione (denominato  $F_x$ , M): rappresenta il moltiplicatore delle sollecitazioni allo s.l.u., ovvero il rapporto fra la sollecitazione agente e quella resistente calcolata sulla reale disposizione dell'armatura disegnata (compresi gli infittimenti nelle zone critiche); la sezione è verificata se l'indice è  $\leq 1.00$ , se  $> 1.00$  non è verificata e nella colonna Note compare "Non verificata".
- Indice di resistenza delle bielle compresse (Bielle): vale quanto detto per le travi. Se  $> 1.00$  la sezione non è verificata. Sono previste le specifiche verifiche per il caso di alta duttilità.
- Indice di resistenza a taglio ( $V_{Ed}/V_{Rsd}$ ): rappresenta il rapporto tra il taglio sollecitante e la resistenza a taglio calcolata sulla base della reale disposizione di armatura orizzontale. Nelle zone critiche, ai fini della verifica si considera la sola armatura orizzontale base e non l'armatura aggiuntiva impiegata come integrazione nelle zone confinate. Se  $> 1.00$  la sezione non è verificata.
- Indice  $K_{dutt}$ : previsto solo nel caso di norma NTC 2018, rappresenta la verifica dei Dettagli costruttivi per la duttilità previsto al §7.4.6.2.4 con la disequaglianza [7.4.32].  $K_{dutt}$  è calcolato come rapporto dei due membri della disequaglianza, perciò dovrà essere minore o uguale ad 1,00 (si osserva che sono ammessi anche valori negativi del coefficiente).

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rsd}} = \frac{30 \cdot \sigma_{ct} \cdot (A_{ct} + A_{sh}) \cdot \sigma_{ct} \cdot (A_{ct} / A_{sh}) - 0,035}{[A_{sh} \cdot \sigma_{ct}]} \leq 1,00$$

$K_{dutt}$  viene calcolato e verificato solo nella zona dissipativa, ovvero al piede della parete, per ciascuna combinazione di carico, poiché dipende anche dallo sforzo normale agente attraverso  $A_{sh}$ .

- Rapporto meccanico dell'armatura trasversale di confinamento  $\rho_{sh}$ : previsto solo nel caso di norma NTC 2018, rappresenta uno dei limiti per le Armature trasversali, relativamente alla sola zona dissipativa, che dev'essere inferiore a 0,08 per CD"B" e a 0,12 per CD"A". Il dato viene calcolato nelle sezioni entro l'altezza critica e viene riportato in calce alle C.C., non dipende infatti dalle sollecitazioni di verifica, ma dalla sola armatura presente nella sezione esaminata.

Nel caso di norma sismica NTC 2018 o EC8, viene anche effettuata la verifica a scorrimento in corrispondenza delle sezioni al piede e in testa poste all'interno delle zona critica. In questi casi, alla fine del tabulato di stampa che riguarda la singola asta, vengono riportate:

- quota alla quale viene effettuata la verifica a scorrimento;
- sollecitazione di taglio per il dimensionamento (VEd);
- resistenza a spinotto delle barre verticali (V<sub>dd</sub>);
- resistenza per attrito (V<sub>fd</sub>);
- eventuale armatura inclinata totale (cm<sup>2</sup>) derivante dalla verifica.

Nel caso di alta duttilità sono previsti i controlli specifici di norma.

## **VERIFICHE DI OPERE IN ACCIAIO, ALLUMINIO O LEGNO CON IL METODO DELLE TENSIONI AMMISSIBILI E DEGLI STATI LIMITE**

### **I RISULTATI PER ASTE RETICOLARI**

Viene eseguita la verifica per aste soggette unicamente a sforzo normale. Per tutte le combinazioni di carico, viene effettuata la verifica di resistenza per aste e di stabilità per aste compresse. Per aste compresse viene utilizzato il metodo "ω".

Viene riportata una descrizione dei parametri di progetto e successivamente, in sequenza per ogni asta:

- numero combinazione di carico;
- sforzo normale N (corrispondente a F<sub>x</sub>), positivo se di trazione;
- sezione utile (cm<sup>2</sup>); rappresenta il valore A<sub>x</sub>, eventualmente diminuito per effetto del coefficiente di riduzione dell'area;
- snellezza; è la snellezza più elevata dell'asta fra le due corrispondenti ai piani di flessione e quella ulteriore, eventuale, derivante da assi principali di inerzia della sezione non coincidenti con gli assi locali y e z (come avviene per la sezione a L); nelle note è indicato il piano di massima snellezza cui si riferisce il valore riportato;
- S<sub>f</sub>, tensione nell'acciaio o nell'alluminio (in kg/cm<sup>2</sup>, N/mm<sup>2</sup> o daN/cm<sup>2</sup>); nel caso del legno la voce diventa esplicitamente tensione, anziché S<sub>f</sub>.

A fine riga compaiono due note; la prima indica il piano di massima snellezza; la seconda, eventuale, è riservata a informazioni di commento.

Nel caso dei profili a freddo la stampa dei risultati riporta anche il valore di Q che concorre a determinare il coefficiente "ω" e la tensione massima che non può essere superata.

### **I RISULTATI PER TRAVI E PILSTRI**

Le sollecitazioni sono riferite al sistema locale x, y, z:

- numero combinazione di carico;
- ascissa di calcolo (cm);
- in sequenza F<sub>x</sub>, F<sub>y</sub>, F<sub>z</sub> (F), M<sub>x</sub>, M<sub>y</sub>, M<sub>z</sub> (F\*m).

Le convenzioni sui segni delle sollecitazioni sono:

- F<sub>x</sub> (sforzo normale) è positivo se di trazione;
- F<sub>y</sub> (forza tagliante) è positiva se agisce, a sinistra della sezione interessata, nel verso positivo dell'asse locale corrispondente;
- F<sub>z</sub> (forza tagliante) è positiva se agisce, a sinistra della sezione interessata, nel verso negativo dell'asse locale corrispondente;
- M<sub>x</sub> (momento torcente) è positivo se antiorario intorno a x a sinistra dell'ascissa in esame;
- M<sub>y</sub> (momento flettente) è positivo se tende le fibre posteriori, cioè quelle disposte nel verso negativo dell'asse z;
- M<sub>z</sub> (momento flettente) è positivo se tende le fibre inferiori, cioè quelle disposte nel verso negativo dell'asse y.

Il tabulato di uscita riporta inoltre in ordine:

- Sf (Fx), (Tens.(Fx) per il legno): tensione derivante solo da sforzo normale;
- Sf (M), (Tens.(M) per il legno): tensione derivante solo dagli effetti flettenti di My e Mz; viene riportato il valore massimo riscontrato fra tutti i punti soggetti a indagine;
- tensione da torsione, derivante da Mx, valore massimo riscontrato;
- tensione di taglio, derivante da Fy e Fz, valore massimo riscontrato;
- Sf ideale: tensione ideale massima nel caso di acciaio e alluminio. Nel caso del legno, invece, viene riportata una “tensione (Fx, M)” derivante dall’interazione fra Fx e M, in cui si somma il contributo tensionale dovuto allo sforzo normale con quello derivante dal momento flettente, la cui entità viene però riparametrizzata tramite il rapporto fra le tensioni ammissibili a sforzo normale e momento flettente. In questo modo tens (Fx, M) viene confrontata, per la sua accettabilità, con la tensione massima ammessa a sforzo normale;
- locazione, ovvero il punto della sezione in cui si verifica il massimo della tensione ideale;
- Nota: compare un avviso qualora la tensione ideale o “tens (Fx, M)” superi il valore massimo ammissibile, che dipende anche dal relativo coefficiente di incremento connesso alle combinazioni di carico.

Alla fine del tabulato delle verifiche di resistenza, se attivata l’opzione sulla combinazione dei carichi, la procedura propone uno specchietto che riepiloga nell’ordine:

- numero della combinazione di carico che dà luogo al momento massimo: tale sollecitazione si può infatti verificare per effetto di una combinazione di carico spaziale di MasterSap (in questo caso viene riportato il relativo numero o simbolo identificativo) o a causa della combinazione dei carichi permanenti e accidentali (contrassegnata in stampa dal simbolo --);
- xMmax: ascissa dell’asta in cui si verifica il momento massimo positivo;
- Mmax: valore del momento massimo positivo;
- Xfmax: ascissa in cui si verifica la freccia massima in campata;
- Fmax: valore della freccia massima in campata;
- fmax/l: rapporto fra freccia massima e luce dell’asta.

La verifica di stabilità viene effettuata per le sole combinazioni di carico che presentano, in almeno un’ascissa, condizioni di lavoro a pressoflessione. Il prospetto riepilogativo della verifica a stabilità riporta le informazioni relative all’asta iniziale e finale coinvolte, e inoltre:

- numero combinazione di carico;
- valore dello sforzo normale; (compressione più elevata trovata in tutte le ascisse soggette a verifica);
- valore del momento flettente My equivalente;
- valore del momento flettente Mz equivalente;
- snellezza  $\omega$  (che influisce sullo sforzo normale), solo per acciaio e alluminio;
- snellezza nel piano locale “yx” (che influisce su Mz);
- snellezza nel piano locale “zx” (che influisce su My);
- $\omega$ ;  $\omega_1$  (solo per acciaio e alluminio);
- tensione nell’acciaio o alluminio; nel caso del legno viene riportata un valore di tensione (Fx, M) calcolato nei modi già espressi per la verifica di resistenza;
- Nota, eventuale, qualora le tensioni superino i limiti ammessi, oppure quando la snellezza supera il valore 250 (200 per il legno e alluminio).

## **VERIFICHE DI OPERE IN ACCIAIO CON IL METODO DELLE NTC 2018 E DELL'EUROCODICE 3**

### **I RISULTATI PER ASTE RETICOLARI**

Il tabulato riporta una descrizione dei parametri di progetto e successivamente, in sequenza per ogni asta:

- numero combinazione di carico;
- sforzo normale  $N$  (corrispondente a  $F_x$ ), positivo se di trazione;
- classe della sezione; non viene riportata se agisce la trazione;
- $A_{net}$  oppure  $A_{eff}$ : viene riportato il valore della sezione ( $cm^2$ ) utilizzata in fase di verifica;
- snellezza adimensionale; dipende dalla snellezza dell'asta nei due piani di e quella ulteriore, eventuale, derivante da assi principali di inerzia della sezione non coincidenti con gli assi locali  $y$  e  $z$  (come avviene per la sezione a  $L$ ); viene ovviamente determinata solo per aste compresse;
- $\chi_{minimo}$ : rappresenta il minimo fra i coefficienti di riduzione del modo di instabilità intorno agli assi coinvolti nella verifica, che possono riguardare anche gli assi principali di inerzia;
- $I.R.$ , indice di resistenza: viene determinato l'indice di verifica a resistenza, ottenuto come rapporto fra la sollecitazione esterna  $N_{sd}$  e la resistenza di progetto, comunemente indicate con il termine  $N_{t,Rd}$  (nel caso trazione) oppure  $N_{c,Rd}$  (nel caso compressione);
- $I.S.$ , indice di stabilità: viene determinato l'indice all'instabilità flessionale, ottenuto come rapporto fra la sollecitazione esterna  $N_{sd}$  e la resistenza di progetto all'instabilità  $N_{b,Rd}$  nei piani di flessione sopra specificati.

A fine riga compaiono due note; la prima indica il piano di massima snellezza e il suo valore; la seconda, eventuali informazioni di commento.

Se è abilitata la verifica di stabilità per aste consecutive (superelementi) viene riportato un ulteriore tabulato riguardante la verifica globale delle aste che costituiscono il superelemento; la sola differenza con il precedente riguarda l'indicazione, nel prospetto, della lunghezza totale che influisce sul valore di snellezza e quindi sul risultato finale della verifica.

### **I RISULTATI PER TRAVI E PILASTRI**

Il tabulato riporta:

- numero combinazione di carico;
- ascissa di calcolo (cm);
- in sequenza  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$  ( $F$ ),  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$  ( $F \cdot m$ ).

Le convenzioni sui segni delle sollecitazioni sono:

- $F_x$  (sforzo normale) è positivo se di trazione;
- $F_y$  (forza tagliante) è positiva se agisce, a sinistra della sezione interessata, nel verso positivo dell'asse locale corrispondente;
- $F_z$  (forza tagliante) è positiva se agisce, a sinistra della sezione interessata, nel verso negativo dell'asse locale corrispondente;
- $M_x$  (momento torcente) è positivo se antiorario intorno a  $x$  a sinistra dell'ascissa in esame;
- $M_y$  (momento flettente) è positivo se tende le fibre posteriori, cioè quelle disposte nel verso negativo dell'asse  $z$ ;
- $M_z$  (momento flettente) è positivo se tende le fibre inferiori, cioè quelle disposte nel verso negativo dell'asse  $y$ .

Vengono poi riportate:

- classe: rappresenta la classe della sezione; qualora i singoli componenti della sezione (ad esempio ala e anima) abbiano classi diverse viene presa quella più alta; non viene riportata in caso di trazione o taglio puro.

Il potenziale svergolamento viene indagato solo per sezioni a  $I$ . Viene riportato il valore di  $\chi_{LT}$ , che determina il momento resistente di progetto. La stabilità euleriana comporta la determinazione di tre coefficienti  $\chi_{min}$ ,  $\chi_y$ ,  $\chi_z$ .

Il tabulato propone:

- numero combinazione di carico;
- valore dello sforzo normale  $F_x$  (compressione più elevata trovata);
- momento flettente  $M_y$  più elevato riscontrato in tutte le ascisse;
- momento flettente  $M_z$  più elevato riscontrato in tutte le ascisse;
- classe: rappresenta la classe della sezione;
- $\chi_{\text{minimo}}$ : rappresenta il minimo fra i coefficienti di riduzione del modo di instabilità intorno agli assi coinvolti nella verifica.

## CRITERI DI VERIFICA PER SISTEMI DISSIPATIVI

Nel caso di progettazione di telai resistenti a flessione:

- nel caso di estremità dissipative le verifiche per le travi specificatamente previste nel § 6.6.2 dell'EC8, nel § 7.5.4.1 NTC 2018, valgono solo in corrispondenza dell'estremità coinvolta e non nelle scansioni intermedie. Nella relazione viene anche stampato un riepilogo dei coefficienti  $\Omega$  calcolati.
- le verifiche per i pilastri adottano le formule previste nel § 6.6.3 dell'EC8 e nel § 7.5.4.2 delle NTC 2018. Nelle formule compare il fattore  $\Omega$ , riportato in stampa, e il coefficiente di sovra resistenza  $\gamma_{ov}$  ( $\gamma_{Rd}$  nel caso NTC 2018), che è legato al materiale delle travi dichiarate dissipative della struttura. La verifica dei pilastri si completa con uno specifico controllo sintetizzato nell'indice I.V. sismico, previsto al § 6.6.3 dell'EC8 e nel § 7.5.4.2 NTC 2018.

Nel caso di progettazione di strutture con elementi diagonali di controvento concentrici sono previsti i seguenti controlli di norma:

- le NTC 2018 al § 7.5.5 introducono delle limitazioni di tipo geometrico sulle sezioni cave circolari cave o rettangolari che vengono debitamente controllate da MasterSteel EC3. Questi controlli non vengono eseguiti per l'EC8 che non li prescrive.
- Viene controllato che il rapporto fra il valore massimo di  $\Omega$  non differisca da quello minimo del 25 % (come raccomandato al § 6.7.3 (8) dell'EC8 e al § 7.5.6 delle NTC 2018).
- Le verifiche per travi e pilastri con Tipologia sismica "Appartiene a struttura resistente a controventi concentrici", adottano le formule previste nel § 6.7.4 dell'EC8 e nel § 7.5.5 delle NTC 2018. Nelle formule compare il fattore  $\Omega$ , riportato in stampa, e il coefficiente di sovra resistenza  $\gamma_{ov}$  ( $\gamma_{Rd}$  nel caso NTC 2018), per cui valgono le considerazioni fatte per le strutture intelaiate.

La verifica per i controventi eccentrici (link) è impostata secondo quanto previsto al § 6.8 dell'EC8 e al § 7.5.6 delle NTC 2018. In particolare la progettazione di strutture con elementi di controvento eccentrici prevede che:

- viene identificato fra link corto, intermedio, lungo;
- viene controllato il rapporto tra il massimo e minimo dei valori di  $\Omega$  riscontrati nelle verifiche di ogni combinazione di carico sismica;
- nelle verifiche sismiche dei link le norme includono l'effetto delle sollecitazioni di torcente  $M_x$ , flettente  $M_y$ , taglio  $F_z$ , che vengono ignorate.
- travi, i pilastri e le reticolari, che compongono con i link la struttura dissipativa a controventi eccentrici, devono essere dimensionati in modo da mettere i link nelle condizioni di dissipare energia al momento del sisma. Questa condizione è garantita dal rispetto delle verifiche contemplate al § 6.8.3 dell'EC8 e al § 7.5.6 NTC 2018, che MasterSteel EC3 esegue. Nelle formule compare il fattore  $\Omega$ , riportato in stampa, e il coefficiente di sovra resistenza  $\gamma_{ov}$  ( $\gamma_{Rd}$  nel caso NTC 2018), per cui valgono le considerazioni fatte per le strutture intelaiate e a controventi concentrici.

## **VERIFICHE DI OPERE IN LEGNO CON IL METODO DELLE NTC 2018 E DELL'EUROCODICE 5**

### **I RISULTATI PER ASTE RETICOLARI**

Viene riportata una descrizione dei parametri di progetto e successivamente, in sequenza per ogni asta:

- numero combinazione di carico;
- sforzo normale  $N$  (corrispondente a  $F_x$ ), positivo se di trazione;
- sezione utile: viene riportato il valore della sezione ( $\text{cm}^2$ ) utilizzata in fase di verifica;
- snellezza  $y_x$ ; è la solita snellezza calcolata nel piano  $y_x$ ;
- analogamente per la snellezza  $z_x$ ;
- $K_{c,y}$ ,  $K_{c,z}$ : sono i valori dei coefficienti, conseguenti, rispettivamente, alle snellezze relative  $y_x$  e  $z_x$ ;
- I.R., indice di resistenza;
- I.S., indice di stabilità.

### **I RISULTATI PER TRAVI E PILASTRI**

Le sollecitazioni sono riferite al sistema locale  $x$ ,  $y$ ,  $z$ :

- numero combinazione di carico;
- ascissa di calcolo (cm);
- in sequenza  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$  ( $F$ ),  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$  ( $F \cdot m$ );
- l'indice di resistenza I.R. dipende se la sollecitazione è di sola flessione oppure dovuta ad azioni combinate di flessione e trazione;
- per l'azione di taglio viene determinato un indice specifico I.Va;
- per l'azione di torsione viene determinato un indice specifico I.Tor.; se l'azione è di taglio e torsione viene determinato un secondo indice che riguarda entrambi gli effetti. L'indice I.Tor. riportato è il più gravoso fra quello determinato a sola torsione e quello prodotto per effetto combinato.

Il tabulato riguardante la verifica di svergolamento riporta:

- snellezze relative nei due piani  $y_x$  e  $z_x$ ;
- $k_{crit,y_x}$ ,  $k_{crit,z_x}$ : sono i valori dei coefficienti conseguenti, rispettivamente, alle snellezze relative  $y_x$  e  $z_x$ ;
- indice di svergolamento I.Sv.

In alternativa alla verifica di svergolamento può essere rappresentata la verifica di instabilità. Le sollecitazioni di sforzo normale e momento flettente sono quelle massime riscontrate durante la verifica di resistenza. In questo caso un tabulato riporta:

- $S_{n,y_x}$  e  $S_{n,z_x}$  sono le snellezze valutate nei due piani di flessione  $y_x$  e  $z_x$ ;
- $k_{c,y_x}$ ,  $k_{c,z_x}$ : sono i valori dei coefficienti, conseguenti, rispettivamente, alle snellezze  $y_x$  e  $z_x$ ;
- I.S., indice di stabilità.

### **I RISULTATI PER PANNELLI XLAM**

Le verifiche vengono effettuate in tre ascisse prestabilite: la sommità, la mezzeria e la base di ogni pannello. Al solito è obbligatorio ottenere indici di resistenza e stabilità non superiori a 1.

Le verifiche eseguite sono quelle a sforzo normale, a taglio nel piano del pannello, a torsione (scorrimento fra i vari strati del pannello) ed instabilità a carico di punta (che coinvolge gli effetti flessionali fuori piano).

La verifica a sforzo normale da luogo ad un indice di resistenza,  $IR_N$ , determinato come:  $\sigma_{y,c}/f_{c,0,d}$  nel caso di sforzo normale di compressione, oppure come  $\sigma_{y,t}/f_{t,0,d}$  nel caso di sforzo normale di trazione.

La verifica a taglio e torsione da luogo a due indici di resistenza, determinati come:  $\tau/f_{v,d}$  per la verifica a taglio, e  $\tau_{TOR}/f_{v,d}$  per la verifica a torsione. Nelle stampe comparirà solamente il peggiore fra i due valori ( $IR_V$ ).

La verifica di instabilità del pannello viene eseguita in mezzeria (massima sollecitazione di momento flettente) e alla base del pannello. L'indice di stabilità assume la forma:  $\sigma_{y,c}/(k_{crit,c} \cdot f_{c,0,d}) + \sigma_{m,d}/f_{m,d} \leq 1$ , con  $k_{crit,c}$  coefficiente riduttivo di tensione critica per instabilità di colonna definito al par. 4.4.8.2.2 delle NTC 2018.

Vengono riportati:

- POS: la posizione di verifica, distinta da testa (1), mezziera ( $\frac{1}{2}$ ) e piede (0).
- C.C.: combinazione di carico.
- Fx: sforzo normale. Negativo se di compressione.
- V: taglio nel piano del pannello.
- My: momento flettente con azione fuori dal piano del pannello.
- Fx/A: tensione media nell'elemento, negativa se di compressione.
- $\tau$ : tensione media a taglio.
- $\sigma_{m,d}$ : tensione di calcolo per flessione.
- $IR_N$ : indice di resistenza relativo alla verifica a sforzo normale.
- $IR_V$ : indice di resistenza relativo alle verifiche a taglio e a torsione.
- IS: indice relativo alla verifica ad instabilità.

Alla fine del tabulato delle verifiche di resistenza e stabilità la procedura propone i risultati delle verifiche sui collegamenti. Vengono riportati innanzitutto alcuni parametri generali definiti dall'utente, descritto il tipo di angolare adottato per la verifica a trazione con il tipo di chiodatura, il numero di angolari adottati per ogni lato del pannello e la distanza dell'angolare più esterno rispetto al bordo del pannello. E' riportata anche la resistenza caratteristica lato acciaio del singolo connettore.

Vengono poi riepilogati i dati relativi alla connessione della parte verticale dell'angolare sul pannello di legno: il tipo di connettore utilizzati, con la resistenza caratteristica del singolo connettore, la resistenza di progetto lato legno e lato acciaio. Vengono riportati poi i dati relativi al collegamento della parte orizzontale dell'angolare sulla base, che può essere in calcestruzzo o in legno, le caratteristiche del connettore, la sua resistenza caratteristica ad estrazione e quella di progetto.

Infine vengono riportate le verifiche. Viene calcolata una forza di estrazione  $N_{ext}$ , e stampato il valore massimo con segno positivo (a trazione, ovvero che tende a sollevare la parete ad una delle due estremità) e quello massimo con segno negativo (compressione, entrambi gli angolari risultano compressi). Vengono stampate le verifiche: lato legno, lato acciaio ed estrazione per la massima forza di estrazione  $N_{ext}$  a trazione, solamente lato legno per la massima forza di estrazione  $N_{ext}$  a compressione. Viene poi descritto il tipo di angolare adottato per la verifica a taglio, con il riepilogo dei dati relativi alla connessione sul pannello verticale (tipo e numero di connettori, con la resistenza caratteristica del singolo connettore, e la resistenza di progetto dell'angolare). Anche qui vengono riportati poi i dati relativi al collegamento della parte orizzontale dell'angolare sulla base, che può essere in calcestruzzo o in legno. Vengono riportate le caratteristiche del connettore, il suo coefficiente parziale di sicurezza (impostato dall'utente in tabella; i valori consigliati sono presenti nella scheda tecnica), la resistenza caratteristica e la conseguente resistenza di progetto.

## **VERIFICHE DI OPERE IN MURATURA**

Il tabulato che riguarda la verifica dei maschi murari riporta i seguenti risultati:

- posizione: le posizioni sono quelle di testa (indicata con 1), di piede (0) e quelle intermedie (le due previste per l'EC6, 2/51 e 3/51) oppure l'unica per s.l. e t.a. ( $\frac{1}{2}$ ); in questo caso con  $\frac{1}{2}$  si intende indicare la posizione a momento massimo;
- c.c., combinazione di carico; la verifica è differente per le combinazioni sismiche e quelle non sismiche;
- Fx: sforzo normale, negativo se di compressione;
- V: taglio nel piano del pilastro;
- My, Mz: momenti flettenti con azione nel piano e fuori piano del pilastro; in relazione al valore di B e H i due momenti possono svolgere un'azione nel piano o fuori dal piano dell'elemento;
- es1/eV, es2/eb: sono le eccentricità; es1 viene calcolato in testa, eV in posizione intermedia, es2 ancora in testa, eb alla base, questi quattro dati sono stati compattati in due colonne e vanno letti alla riga (sezione) corrispondente. Nel caso dell'EC6 queste eccentricità sono sostituite da ei/emk.

- $\phi/\phi_t/\phi_b$ : sono i coefficienti di riduzione della resistenza; anche in questo caso viene utilizzata una sola colonna:  $\phi$  viene determinato in testa,  $\phi_t$  in posizione intermedia,  $\phi_b$  alla base. Nel caso dell'EC6 questi  $\phi$  sono sostituiti da  $\phi_i/\phi_{mk}$ ;
- $F_x/A$ : tensione media nell'elemento, negativa se di compressione;
- IRN: rappresenta l'indice di resistenza inteso come rapporto fra la tensione media di compressione e la tensione limite. Al piede del pilastro rappresenta l'indice peggiore (più elevato) derivante dalla verifica a compressione e da quella a presso flessione nel piano dell'elemento;
- $\beta$ : coefficiente di parzializzazione della sezione, calcolato in base all'eccentricità  $e_b$ ;
- $\tau$ : rappresenta la tensione media a taglio;
- $f_{vk}$ : resistenza caratteristica a taglio;
- IRV: rapporto fra la tensione media e la tensione limite a taglio;
- IrM: viene calcolato solo al piede del pilastro; rappresenta l'indice di resistenza a momento flettente per pressoflessione nel piano, ottenuto come rapporto fra il momento flettente agente nel piano e il momento ultimo Mult calcolato. Viene anche messo in evidenza, con il simbolo IrMz, se il momento nel piano è Mz, con IrMy se il momento nel piano è My;
- IrMfp: viene calcolato solo al piede del pilastro; rappresenta l'indice di resistenza a momento flettente per pressoflessione fuori piano, ottenuto come rapporto fra il momento flettente agente fuori piano e il momento ultimo Mult calcolato. Viene anche messo in evidenza con IrMz se il momento che agisce fuori piano è Mz, con IrMy se agisce invece My.

## **VERIFICHE DI EDIFICI ESISTENTI IN C.A. SECONDO IL METODO DELLE NTC 2018**

### **VERIFICA CON METODO Q: I RISULTATI DEI MECCANISMI DUTTILI**

Si eseguono le ordinarie verifiche a pressoflessione per tutti gli elementi strutturali previsti (travi, pilastri, setti e travi di fondazione). Con le sole differenze riguardanti quindi il valore numerico delle tensioni di calcolo, la verifica a pressoflessione degli elementi strutturali procede come per gli elementi di nuova costruzione.

Per le travi e le travi di fondazione viene adottata la verifica nel solo piano verticale (e pertanto le stampe vengono limitate ai momenti sollecitanti e resistenti in direzione locale y) mentre per pilastri e setti viene adottato il calcolo a pressoflessione retta nei due piani locali dell'elemento (non essendo possibile conoscere comunemente la posizione puntuale delle armature, nel caso di armatura inserita con metodo numerico) e un calcolo a pressoflessione deviata nel caso di armatura inserita con metodo grafico (in questo caso è nota, puntualmente, la posizione delle armature). Indici di resistenza  $> 1$  rappresentano situazioni non verificate, evidenziate anche da una nota specifica. Se si presenta questa situazione è necessario ridurre l'accelerazione al suolo fino a trovare il valore che consente di rispettare la verifica.

Nel cappello iniziale vengono riportati, oltre alle proprietà dell'elemento e ai dati riepilogativi della tabella di verifica, le tensioni effettivamente utilizzate nelle verifiche, i coefficienti parziali di sicurezza dei materiali e le dimensioni dell'elemento. Nel caso delle travi compare il riepilogo dei carichi applicati. Infine vengono riepilogati i copriferri: un valore unico per pilastri e setti, superiore, inferiore e laterale per le travi.

Nelle colonne di verifica compaiono nell'ordine:

- NC: numero di combinazione di carico;
- x (cm): ascissa di verifica;
- $F_x [F]$ : sforzo normale;
- $M_y, M_z [F*L]$ : momenti flettenti;
- AANT, APOST, AINF, ASUP [cmq]: armature.

NB: il momento My viene stampato solamente per pilastri e setti. Le convenzioni per le sollecitazioni e le armature sono analoghe a quelle adottate per elementi nuovi

Vengono poi stampati:

- i momenti resistenti: il solo Mz per le travi, entrambi (My ed Mz) per pilastri e setti;
- l'indice di resistenza a presso tenso flessione (I.R.  $F_x, M$ ), che rappresenta il rapporto fra la sollecitazione agente e quella resistente. Nel caso delle travi viene calcolato e stampato un unico indice

( $F_x, M_z$ ); nel caso di pilastri e setti, dove viene adottato il calcolo a pressoflessione retta nei due piani locali dell'elemento, viene stampato l'indice maggiore fra quelli calcolati nelle due direzioni. Nel caso di verifica non soddisfatta (ovvero di indice di resistenza maggiore ad 1) viene proposta la nota finale "NON Verificata".

## VERIFICA CON METODO Q: I RISULTATI DEI MECCANISMI FRAGILI

Si eseguono le verifiche a taglio per tutti gli elementi strutturali previsti (travi, pilastri, setti e travi di fondazione). La verifica a taglio degli elementi strutturali procede come nel caso di edifici nuovi, con le sole differenze riguardanti il valore numerico delle tensioni di calcolo e con la facoltà fornita all'utente di scegliere le opzioni di verifica a suo giudizio più opportune. La verifica a taglio segue quindi le regole generali descritte nel cap. 4.1 delle NTC 2018, e può coinvolgere:

$V_{Rd}$ , che rappresenta la resistenza a taglio del calcestruzzo in assenza di armature trasversali resistenti a taglio, calcolata come da espressione (4.1.14);

$V_{Rsd}$ , che rappresenta la resistenza a taglio delle armature, calcolata come da espressione (4.1.18);

$V_{Rcd}$ , che rappresenta la resistenza a "taglio compressione", calcolata come da espressione (4.1.19).

Le quattro possibili opzioni per il calcolo della resistenza a taglio prevedono:

- Opzione 1:  $V_u(\text{taglio}) = \min [V_{Rsd} + V_{Rd}; V_{Rcd}]$ ;
- Opzione 2:  $V_u(\text{taglio}) = \min [V_{Rsd}; V_{Rcd}]$
- Opzione 3:  $V_u(\text{taglio}) = \min [V_{Rsd}(\text{ctg } \theta=1) + V_{Rd}; V_{Rcd}(\text{ctg } \theta=1)]$
- Opzione 4:  $V_u(\text{taglio}) = \min [V^*_{Rsd}; V_{Rcd}]$ ,

Nel tabulato di stampa, oltre alle informazioni generali già descritte in precedenza per i meccanismi duttili, compaiono le seguenti grandezze:

- NC: numero di combinazione di carico;
- x (cm): ascissa di verifica;
- $F_x, F_y, F_z$  [F]: sforzo normale, taglio in direzione locale y e in direzione locale z;
- AANT, APOST, AINF, ASUP [cmq]: armature.
- $A_{sw/s}$  [cmq/m]: armatura trasversale resistente a taglio.
- $V_{u(\text{flex})}$ , che deriva dall'applicazione della gerarchia flessione – taglio.
- $V_{rd}$  (calcolato come da 4.1.23 delle NTC 2018, in cui, per gli edifici esistenti,  $f_{ck}$  deve essere inteso come  $f_{cm}$ ) è influenzato dall'armatura a trazione e pertanto, a parità di altre condizioni, il valore preso in considerazione (armatura inferiore o superiore) dipende dal segno del momento flettente, che può cambiare con le combinazioni di carico anche nella stessa ascissa.  $V_{rd}$  è anche influenzato dall'entità dello sforzo normale di compressione (contributo di  $\sigma_{cp}$  in 4.1.14), che dipende, anch'esso, dalle combinazioni di carico.
- $V_{rsd}$  (equazione 4.1.27 NTC 2018)
- $V_{rcd}$  (equazione 4.1.28 NTC 2018), influenzato dall'entità dello sforzo normale di compressione (contributo di  $\alpha C$  in 4.1.19), che dipende dalle combinazioni di carico.

L'esito della verifica è sintetizzato dall'indice di resistenza I.R., che rappresenta:

- se  $V_u(\text{flex})$  è tale da rendere il meccanismo duttile,  $I.R. = V_u(\text{flex}) / V_u(\text{taglio})$ ;
- se il meccanismo duttile non sussiste (ovvero la condizione su  $V_u(\text{flex})$  non è soddisfatta) oppure  $V_u(\text{flex})$  non è abilitato,  $I.R. = F_y / V_u(\text{taglio})$ .

Nel caso di pilastri e setti i prospetti sono due: il primo, dato uno sforzo normale al piede e in testa all'elemento, riporta il calcolo dei momenti resistenti nei due piani ( $M_y$  ed  $M_z$ , sempre al piede ed in testa), le armature nelle quattro facce dell'elemento e il taglio  $V_{u(\text{flex})}$  relativo. I momenti resistenti vengono determinati sul contorno del dominio di rottura della sezione assegnando allo sforzo normale il valore  $N_{Ed}(F_x)$  sollecitante.

Il secondo prospetto è analogo a quello già illustrato per le travi, con la sola differenza che la verifica a taglio viene eseguita nelle due direzioni. Nel caso di inserimento dell'armatura in formato numerico l'armatura a taglio ( $A_{sw/s}$ ) è uguale nelle due direzioni locali  $y$  e  $z$  e l'indice di resistenza rappresenta il risultato peggiore. Nel caso di armatura inserita con il metodo grafico vengono invece riportate le armature in entrambe le direzioni locali ed entrambi gli indici di resistenza.

## VERIFICA CON METODO Q: I NODI TRAVE – PILASTRO

La verifica dei nodi trave-pilastro viene eseguita nel rispetto di quanto previsto al par. C8.7.2.5.

Il significato di alcune proprietà dei materiali riportate in testa al tabulato è già stato illustrato nella descrizione delle stampe per i meccanismi duttili e fragili. La tensione  $f_{ydm}$  può assumere due valori, che comportano il calcolo di due valori di forza di trazione (denominati  $F_1$  e  $F_2$ ), specificati assieme alle armature di riferimento per entrambe le direzioni locali del pilastro a cui si riferisce il nodo. Vengono inoltre indicati i valori limite per le resistenze a trazione e compressione con cui si confrontano le tensioni principali calcolate al nodo, e viene riportata l'area  $A_g$  del nodo.

Fra i risultati, per ciascuna delle due direzioni locali, viene riportato.

- Lo sforzo normale  $F_x$  (indicato con  $N$  nella circolare) del pilastro superiore.
- La forza di taglio  $F_y$  (o  $F_z$ ) del pilastro superiore.
- La forza  $V_n$ .
- Le tensioni principali a trazione e compressione.
- I corrispondenti indici di resistenza calcolati rapportando tali tensioni alle relative resistenze limite.

Al solito una nota evidenzia l'eventuale fallimento della verifica.

## VERIFICA CON ANALISI PUSHOVER: I RISULTATI DEI MECCANISMI DUTTILI

La verifica degli elementi duttili viene eseguita confrontando gli effetti indotti dalle azioni sismiche in termini di deformazioni con i rispettivi limiti di deformazione.

Nel caso di elementi duttili la domanda in termini di deformazione si calcola in corrispondenza della domanda sismica in termini di spostamento ( $d^*_{max}$ ). I valori di  $d^*_{max}$  sono visibili dal riepilogo dei risultati dell'analisi pushover. La domanda deformativa è definita con riferimento alla rotazione rispetto alla corda delle sezioni d'estremità rispetto la congiungente quest'ultima con la sezione di momento nullo. Nello specifico è necessario valutare la rotazione alla corda, per ogni combinazione di carico non lineare, in corrispondenza al passo (P) dell'analisi immediatamente successivo al raggiungimento dello spostamento  $d^*_{max}$  richiesto.

La capacità deformativa è definita con riferimento alla rotazione rispetto alla corda delle sezioni d'estremità rispetto la congiungente quest'ultima con la sezione di momento nullo a distanza pari alla luce di taglio  $L_v$ . Nello specifico la capacità di rotazione totale rispetto alla corda in condizioni di collasso (SLU) è valutata secondo quanto prescritto nell'allegato della circolare 2009 al §C8A.6. Tale formula richiede anche la conoscenza dello sforzo normale a cui è soggetta la sezione oggetto di verifica ( $v$ ) e la luce di taglio  $L_v$ . Questi vengono ricavati dal programma in corrispondenza del passo dell'analisi non lineare oggetto di verifica, per ciascuna combinazione non lineare. Per le travi viene adottata la verifica nel solo piano verticale (e pertanto le stampe vengono limitate alle rotazioni in direzione locale  $z$ ) mentre per i pilastri viene adottato il calcolo nei due piani locali dell'elemento. Nel cappello iniziale vengono riportati, oltre alle proprietà dell'elemento e ai dati riepilogativi della tabella di verifica, le tensioni effettivamente utilizzate nelle verifiche. Vengono poi riepilogate le dimensioni dell'elemento e i copriferri: un valore unico per pilastri e setti, superiore, inferiore e laterale per le travi.

Nelle colonne di verifica compaiono nell'ordine:

- NC: numero di combinazione di carico non lineare;
- X: posizione di verifica (inizio o fine dell'elemento);
- $F_x [F]$ : sforzo normale;
- $Rot,y(D)$ ,  $Rot,z(D)$ : domanda sismica (D) in termini di rotazioni alla corda nelle due direzioni. Per le travi si considera la sola rotazione in  $z$ .
- $Rot,y(C)$ ,  $Rot,z(C)$ : capacità resistenti dell'elemento (C) in termini di rotazione alla corda in entrambe le direzioni, solo in  $z$  per le travi.

L'esito delle verifiche è sintetizzato dall'indice di resistenza (**I.R.**), che rappresenta il rapporto fra la domanda sismica e la capacità resistente dell'elemento. Nel caso delle travi viene calcolato e stampato un unico indice; nel caso di pilastri viene stampato l'indice maggiore fra quelli calcolati nelle due direzioni. Nel caso di verifica non soddisfatta (ovvero di indice di resistenza maggiore ad 1) viene proposta la nota finale "NON Verificato".

## **VERIFICA CON ANALISI PUSHOVER: I RISULTATI DEI MECCANISMI FRAGILI**

La verifica degli elementi fragili viene eseguita confrontando gli effetti indotti dalle azioni sismiche in termini di forze con le rispettive resistenze.

Nel caso di elementi fragili la domanda in termini di taglio si calcola, per ogni combinazione di carico non lineare, in corrispondenza al passo (P) dell'analisi immediatamente successivo al raggiungimento dello spostamento  $d^*_{max}$  richiesto.

Nel caso di analisi pushover con ramo degradante e stati limite che si verificano su questo, la verifica verrà eseguita in corrispondenza al passo dell'analisi (compreso fra il passo iniziale e il passo P) per cui il taglio alla base della struttura risulta massimo.

Per la determinazione della capacità valgono le stesse considerazioni sul calcolo di  $V_{u(taggio)}$  già riportate per l'analisi con fattore q, con la sola differenza che  $V_{u(flex)}$  non viene mai considerato.

Nel cappello iniziale vengono riportati, oltre alle proprietà dell'elemento e ai dati riepilogativi della tabella di verifica, le tensioni effettivamente utilizzate nelle verifiche, le dimensioni dell'elemento e i copriferri: un valore unico per pilastri e setti, superiore, inferiore e laterale per le travi.

Nelle colonne di verifica compaiono nell'ordine:

- NC: numero di combinazione di carico non lineare;
- x (cm): ascissa di verifica (in funzione del numero di scansioni specificato in tabella);
- Fx, Fy, Fz [F]: sforzo normale e tagli agenti;
- Asw/s [cmq/m], AANT; APOST, ASUP, AINF [cmq]: quantitativi di armatura.

Vengono poi stampate le capacità resistenti dell'elemento, riassunte dal parametro  $V_u(taggio)$ . Facciamo notare che nel caso di pilastri queste vengono rappresentate su due righe, rispettivamente per le direzioni locali y e z. L'esito delle verifiche è sintetizzato dall'indice di resistenza ( $I.R. = F_y / V_{u(taggio)}$ ), che rappresenta il rapporto fra la domanda sismica e la capacità resistente dell'elemento. Nel caso delle travi viene calcolato e stampato un unico indice; nel caso di pilastri vengono stampati entrambi. Nel caso di verifica non soddisfatta (ovvero di indice di resistenza maggiore ad 1) viene proposta la nota finale "\*\*\*".

## **VERIFICA CON ANALISI PUSHOVER: I NODI TRAVE – PILASTRO**

Come per la verifica dei meccanismi fragili sugli elementi, anche la verifica dei nodi trave pilastro avviene confrontando gli effetti indotti dalle azioni sismiche in termini di forze con le rispettive resistenze.

Anche in questo caso le sollecitazioni in gioco si determinano, per ogni combinazione di carico non lineare, in corrispondenza al passo (P) dell'analisi immediatamente successivo al raggiungimento dello spostamento  $d^*_{max}$  richiesto.

Nel caso di analisi pushover con ramo degradante e stati limite che si verificano su questo, la verifica verrà eseguita in corrispondenza al passo dell'analisi (compreso fra il passo iniziale e il passo P) per cui il taglio alla base della struttura risulta massimo.

## **VALUTAZIONE DEI RISULTATI E GIUDIZIONE MOTIVATO SULLA LORO ACCETTABILITA'**

Il programma di calcolo utilizzato MasterSap è idoneo a riprodurre nel modello matematico il comportamento della struttura e gli elementi finiti disponibili e utilizzati sono rappresentativi della realtà costruttiva. Le funzioni di controllo disponibili, innanzitutto quelle grafiche, consentono di verificare la riproduzione della realtà costruttiva ed accertare la corrispondenza del modello con la geometria strutturale e con le condizioni di carico ipotizzate. Si evidenzia che il modello viene generato direttamente dal disegno architettonico riproducendone così fedelmente le proporzioni geometriche. In ogni caso sono stati effettuati alcuni controlli dimensionali con gli strumenti software a disposizione dell'utente. Tutte le proprietà di rilevanza

strutturale (materiali, sezioni, carichi, sconnessioni, etc.) sono state controllate attraverso le funzioni di indagine specificatamente previste.

Sono state sfruttate le funzioni di autodiagnostica presenti nel software che hanno accertato che non sussistono difetti formali di impostazione.

E' stato accertato che le risultanti delle azioni verticali sono in equilibrio con i carichi applicati.

Sono state controllate le azioni taglianti di piano ed accertata la loro congruenza con quella ricavabile da semplici ed agevoli elaborazioni. Le sollecitazioni prodotte da alcune combinazioni di carico di prova hanno prodotto valori prossimi a quelli ricavabili adottando consolidate formulazioni ricavate della Scienza delle Costruzioni. Anche le deformazioni risultano prossime ai valori attesi. Il dimensionamento e le verifiche di sicurezza hanno determinato risultati che sono in linea con casi di comprovata validità, confortati anche dalla propria esperienza.

## Informazioni integrative sull'uso dei codici di calcolo

**Titolo del codice di calcolo:** MasterSap;

**Autore, produttore e distributore:** AMV s.r.l., via San Lorenzo 106, 34077 Ronchi dei Legionari (Go);

**Versione:** MasterSap \*\*\*

**Estremi della licenza d'uso o di altra forma di autorizzazione all'uso.: licenza n. 35623 è intestata all'ing. Manzo Francesco Maurizio con studio in Marsala (TP) nella C/da Cozzaro n. 231.**

### AFFIDABILITA' DEL CODICE DI CALCOLO

In base a quanto richiesto al par. 10.2 del D.M. 17.01.2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni) il produttore e distributore Studio Software AMV s.r.l. espone la seguente relazione riguardante il solutore numerico e, più in generale, la procedura di analisi e dimensionamento MasterSap. Si fa presente che sul proprio sito ([www.amv.it](http://www.amv.it)) è disponibile sia il manuale teorico del solutore sia il documento comprendente i numerosi esempi di validazione. Essendo tali documenti (formati da centinaia di pagine) di pubblico dominio, si ritiene pertanto sufficiente proporre una sintesi, sia pure adeguatamente esauriente, dell'argomento.

Il motore di calcolo adottato da MasterSap, denominato LiFE-Pack, è un programma ad elementi finiti che permette l'analisi statica e dinamica in ambito lineare e non lineare, con estensioni per il calcolo degli effetti del secondo ordine.

Il solutore lineare usato in analisi statica ed in analisi modale è basato su un classico algoritmo di fattorizzazione multifrontale per matrici sparse che utilizza la tecnica di condensazione supernodale ai fini di velocizzare le operazioni. Prima della fattorizzazione viene eseguito un riordino simmetrico delle righe e delle colonne del sistema lineare al fine di calcolare un percorso di eliminazione ottimale che massimizza la sparsità del fattore.

Il solutore modale è basato sulla formulazione inversa dell'algoritmo di *Lanczos* noto come *Thick Restarted Lanczos* ed è particolarmente adatto alla soluzione di problemi di grande e grandissima dimensione ovvero con molti gradi di libertà. L'algoritmo di Lanczos oltre ad essere supportato da una rigorosa teoria matematica, è estremamente efficiente e competitivo e non ha limiti superiori nella dimensione dei problemi, se non quelli delle risorse hardware della macchina utilizzata per il calcolo.

Per la soluzione modale di piccoli progetti, caratterizzati da un numero di gradi di libertà inferiore a 500, l'algoritmo di Lanczos non è ottimale e pertanto viene utilizzato il classico solutore modale per matrici dense simmetriche contenuto nella ben nota libreria *LAPACK*.

L'analisi con i contributi del secondo ordine viene realizzata aggiornando la matrice di rigidezza elastica del sistema con i contributi della matrice di rigidezza geometrica.

Un'estensione non lineare, che introduce elementi a comportamento multilineare, si avvale di un solutore incrementale che utilizza nella fase iterativa della soluzione il metodo del gradiente coniugato preconditionato.

Grande attenzione è stata riservata agli esempi di validazione del solutore. Gli esempi sono stati tratti dalla letteratura tecnica consolidata e i confronti sono stati realizzati con i risultati teorici e, in molti casi, con quelli prodotti, sugli esempi stessi, da prodotti internazionali di comparabile e riconosciuta validità. Il manuale di validazione è disponibile sul sito [www.amv.it](http://www.amv.it).

È importante segnalare, forse ancora con maggior rilievo, che l'affidabilità del programma trova riscontro anche nei risultati delle prove di collaudo eseguite su sistemi progettati con MasterSap. I verbali di collaudo (per alcuni progetti di particolare importanza i risultati sono disponibili anche nella letteratura tecnica) documentano che i risultati delle prove, sia in campo statico che dinamico, sono corrispondenti con quelli dedotti dalle analisi numeriche, anche per merito della possibilità di dar luogo, con MasterSap, a raffinate modellazioni delle strutture. In MasterSap sono presenti moltissime procedure di controllo e filtri di autodiagnostica. In fase di input, su ogni dato, viene eseguito un controllo di compatibilità. Un ulteriore procedura di controllo può essere lanciata dall'utente in modo da individuare tutti gli errori gravi o gli eventuali difetti della modellazione. Analoghi controlli vengono eseguiti da MasterSap in fase di calcolo prima della preparazione dei dati per il solutore. I dati trasferiti al solutore sono facilmente consultabili attraverso la lettura del file di input in formato XML, leggibili in modo immediato dall'utente.

Apposite procedure di controllo sono predisposte per i programmi di dimensionamento per il c.a., acciaio, legno, alluminio, muratura etc.

Tali controlli riguardano l'esito della verifica: vengono segnalati, per via numerica e grafica (vedi esempio a fianco), i casi in contrasto con le comuni tecniche costruttive e gli errori di dimensionamento (che bloccano lo sviluppo delle fasi successive della progettazione, ad esempio il disegno esecutivo). Nei casi previsti dalla norma, ad esempio qualora contemplato dalle disposizioni sismiche in applicazione, vengono eseguiti i controlli sulla geometria strutturale, che vengono segnalati con la stessa modalità dei difetti di progettazione.

Ulteriori funzioni, a disposizione dell'utente, agevolano il controllo dei dati e dei risultati. E' possibile eseguire una funzione di ricerca su tutte le proprietà (geometriche, fisiche, di carico etc) del modello individuando gli elementi interessati.

Si possono rappresentare e interrogare graficamente, in ogni sezione desiderata, tutti i risultati dell'analisi e del dimensionamento strutturale. Nel caso sismico viene evidenziata la posizione del centro di massa e di rigidezza del sistema.

Per gli edifici è possibile, per ogni piano, a partire dalle fondazioni, conoscere la risultante delle azioni verticali orizzontali. Analoghi risultati sono disponibili per i vincoli esterni.

Il rilascio di ogni nuova versione dei programmi è sottoposto a rigorosi check automatici che mettono a confronto i risultati della release in esame con quelli già validati realizzati da versioni precedenti. Inoltre, sessioni specifiche di lavoro sono condotte da personale esperto per controllare il corretto funzionamento delle varie procedure software, con particolare riferimento a quelle che sono state oggetto di interventi manutentivi o di aggiornamento.