



## COMUNE DI MARUGGIO

SETTORE III: LAVORI PUBBLICI E MANUTENZIONE DEL PATRIMONIO  
PUBBLICO

VIA VITTORIO EMANUELE, 41 - 74020 MARUGGIO

CUP: E17B16000640002

### PROGETTO ESECUTIVO

### INTERVENTI DI SISTEMAZIONE IDRAULICA

RTP:



RUP: Ing. Paolo Magrini



Studio Ing. De Venuto & Ass.



Geol. Francesco **Forte**

**ED.02.10**

### Relazione di validazione del codice di calcolo delle strutture

Prot. N.	Data	Scala	Codice intervento:
	Gennaio 2023	---	Codice SAP:

00	01/2023	Emesso per Progetto Esecutivo			
rev.	data	descrizione			red. contr. appr.

## Sommario

<b>CODICI DI CALCOLO .....</b>	<b>1</b>
<b>MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA .....</b>	<b>1</b>
<b>VERIFICHE .....</b>	<b>3</b>
<b>RISULTATI.....</b>	<b>4</b>
<b>CONTROLLO E VERIFICA DEI CODICI .....</b>	<b>4</b>
<b>ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI .....</b>	<b>5</b>

## **INFORMAZIONI RELATIVE AI CODICI DI CALCOLO AUTOMATICO**

### **Affidabilità dei codici e attendibilità dei risultati di analisi e verifiche**

#### **CODICI DI CALCOLO**

L'analisi strutturale e le relative verifiche sono state condotte con l'ausilio del software strutturale SismiCad 12 prodotto e distribuito dalla Concrete s.r.l. di Padova.

Si tratta di un programma di calcolo strutturale dedicato al progetto e verifica degli elementi in cemento armato, acciaio, muratura e legno di opere civili.

Il programma può utilizzare come analizzatore e solutore del modello strutturale un proprio solutore agli elementi finiti tridimensionale elastoplastico fornito con il pacchetto.

Il programma è sostanzialmente diviso in tre moduli:

- preprocessore che consente l'introduzione della geometria e dei carichi e crea il file dati di input ai solutori;
- solutore agli elementi finiti;
- post processore che a soluzione avvenuta elabora i risultati eseguendo il progetto e la verifica delle membrature e producendo i grafici ed i tabulati di output.

#### **MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA**

La struttura viene schematizzata attraverso l'introduzione nell'ordine di fondazioni, poste anche a quote diverse, platee, platee nervate, plinti e travi di fondazione poggianti tutte su suolo elastico alla Winkler, di elementi verticali, pilastri e pareti in c.a. anche con fori, di orizzontamenti costituiti da solai orizzontali e inclinati (falde), e relative travi di piano e di falda. E' ammessa anche l'introduzione di elementi prismatici in c.a. di interpiano con possibilità di collegamento in inclinato a solai posti a quote diverse.

I nodi strutturali possono essere connessi solo a travi, pilastri e pareti, simulando così impalcati infinitamente deformabili nel piano, oppure a elementi lastra di spessore dichiarato dall'utente simulando in tal modo impalcati a rigidezza finita.

Per quanto concerne i carichi, in fase di immissione dati, vengono definite, in numero a scelta dell'utente, condizioni di carico elementari le quali, in aggiunta alle azioni sismiche e variazioni termiche, vengono combinate attraverso coefficienti moltiplicativi per fornire le combinazioni richieste per le verifiche successive.

L'effetto di disassamento delle forze orizzontali, indotto ad esempio dai torcenti di piano per costruzioni in zona sismica, viene simulato attraverso l'introduzione di eccentricità planari aggiuntive le quali costituiscono ulteriori condizioni elementari di carico da cumulare e combinare secondo i criteri del paragrafo precedente.

Possono essere definiti ed applicati:

- carichi verticali uniformemente distribuiti e carichi trapezoidali sulle travi e sulle pareti;
- componenti di forze e coppie concentrate, comunque dirette nello spazio, nei nodi di incrocio delle membrature;

- distribuzioni di temperatura, di intensità a scelta dell'utente, agenti anche su singole porzioni di struttura.

## **IPOTESI DI CALCOLO**

Il calcolo delle sollecitazioni eseguito dai solutori si basa sulle seguenti ipotesi e modalità:

- travi e pilastri deformabili a sforzo normale, flessione deviata, taglio deviato e momento torcente. Sono previsti un coefficiente riduttivi dei momenti di inerzia a scelta dell'utente per considerare la riduzione della rigidezza flessionale e torsionale per effetto della fessurazione del conglomerato cementizio; è previsto un moltiplicatore della rigidezza assiale dei pilastri per considerare, se pure in modo approssimato, l'accorciamento dei pilastri per sforzo normale durante la costruzione;
- le travi di fondazione su suolo alla Winkler sono risolte in forma chiusa tramite uno specifico elemento finito;
- le pareti in c.a. sono analizzate schematizzandole come elementi lastra-piastra discretizzati con passo massimo assegnato in fase di immissione dati;
- le pareti in muratura possono essere schematizzate con elementi lastra-piastra con spessore flessionale ridotto rispetto allo spessore membranale; in alternativa possono essere schematizzate attraverso un elemento finito parzialmente o non reagente alla trazione;
- i plinti su suolo alla Winkler sono modellati con la introduzione di nove molle verticali elastoplastiche; la traslazione orizzontale a scelta dell'utente è bloccata o gestita da molle orizzontali di modulo di reazione proporzionale al verticale;
- i pali sono modellati suddividendo l'asta in più aste immerse in terreni di stratigrafia definita dall'utente; nei nodi di divisione tra le aste vengono inserite molle assialsimmetriche elastoplastiche precaricate dalla spinta a riposo che hanno come pressione limite minima la spinta attiva e come pressione limite massima la spinta passiva modificabile attraverso opportuni coefficienti;
- i plinti su pali sono modellati attraverso aste di di rigidezza elevata che collegano un punto della struttura in elevazione con le aste che simulano la presenza dei pali;
- le piastre sono discretizzate in un numero finito di elementi lastra-piastra, discretizzati con passo massimo assegnato in fase di immissione dati; nel caso di platee di fondazione i nodi sono collegati al suolo da molle aventi rigidezze alla traslazione verticale ed richiesta anche orizzontale;

La deformabilità nel proprio piano di piani dichiarati non infinitamente rigidi e di falde (piani inclinati) può essere controllata attraverso la introduzione di elementi membranali nelle zone di solaio.

I disassamenti tra elementi asta sono gestiti automaticamente dal programma attraverso la introduzione di collegamenti rigidi locali.

Alle estremità di elementi asta è possibile inserire svincolamenti tradizionali così come cerniere parziali (che trasmettono una quota di ci ò che trasmetterebbero in condizioni di collegamento rigido) o cerniere plastiche.

E' prevista la gestione automatica di elementi non strutturali che assumono funzioni strutturali a seguito del sisma (tamponamenti riquadrati da telai schematizzati con puntoni diagonali equivalenti).

Il calcolo degli effetti del sisma è condotto, a scelta dell'utente, sia attraverso l'analisi statica che attraverso l'analisi modale con spettro di risposta controllando, in accordo alle varie normative adottate, la percentuale delle masse eccitate. Le masse, nel caso di impalcati dichiarati rigidi sono concentrate nel nodo principale di piano altrimenti vengono considerate diffuse nei nodi giacenti sull'impalcato stesso.

Nel caso di analisi sismica vengono anche controllati gli spostamenti di interpiano.

## **VERIFICHE**

Nel caso più generale le verifiche degli elementi in c.a. possono essere condotte col metodo delle tensioni ammissibili o agli stati limite in accordo al DM 9-1-1996 e al D.Min 14-01-2008, secondo Eurocodice 2, secondo ACI 318 o secondo NSR-98.

Le travi sono verificate a flessione retta e taglio; a richiesta F possibile la verifica per le sei componenti della sollecitazione. I pilastri ed i pali sono verificati per le sei componenti della sollecitazione.

Le pareti possono essere verificate per la funzione di controvento attraverso la analisi a presso flessione deviata e taglio di sezioni orizzontali ai vari livelli. In alternativa F possibile anche per le pareti la modalità di verifica disponibile in generale per tutti gli elementi bidimensionali giacenti in un medesimo piano. Essa consente di analizzare lo stato di verifica nei singoli nodi degli elementi. Nelle verifiche (a presso flessione e punzonamento) è ammessa la introduzione dei momenti di calcolo modificati in base alle direttive dell'EC2, Appendice A.2.8.

I plinti superficiali sono verificati assumendo lo schema statico di mensole con incastri posti a filo o in asse pilastro.

Gli ancoraggi delle armature delle membrature in c.a. sono calcolati sulla base della effettiva tensione normale che ogni barra assume nella sezione di verifica distinguendo le zone di ancoraggio in zone di buona o cattiva aderenza. In particolare il programma valuta la tensione normale che ciascuna barra può assumere in una sezione sviluppando l'aderenza sulla superficie cilindrica posta a sinistra o a destra della sezione considerata; se in una sezione una barra assume per effetto dell'aderenza una tensione normale minore di quella ammissibile, il suo contributo all'area complessiva viene ridotto dal programma nel rapporto tra la tensione normale che la barra può assumere per effetto dell'aderenza e quella ammissibile.

Le verifiche sono effettuate a partire dalle aree di acciaio equivalenti così calcolate che vengono evidenziate in relazione.

Le verifiche delle membrature in acciaio (solo per utenti SISMICAD acciaio) possono essere condotte secondo CNR 10011 (stato limite o tensioni ammissibili), CNR 10022, Eurocodice 3 o secondo la normativa AISC (ASD o RLFD). Sono previste verifiche di resistenza e di instabilità. Queste ultime possono interessare superelementi cioè membrature composte di più aste.

Le verifiche tengono conto della distinzione delle condizioni di carico in normali o eccezionali (I e II) previste dalle normative adottate.

Per le murature è prevista la verifica a schiacciamento eccentrico secondo il metodo delle tensioni ammissibili o agli stati limite ai sensi del D.M. LL.PP. 20-11-87 in caso di assenza di sisma. In presenza di sisma le verifiche sono condotte sulla base della Circ. LL. PP. 30 luglio 1981 n.21745 e le direttive tecniche dei D.G.R. Umbria 5180/98 e D.G.R. 2153/98 in attuazione L.61/98.

In particolare vengono svolte le verifiche a taglio, a ribaltamento ed a pressoflessione sia nel piano ortogonale che nel piano del maschio.

Vengono inoltre evidenziati a richiesta i coefficienti richiesti dalla L.61/98.

La verifica a taglio viene condotta utilizzando un solutore POR per i maschi compresi tra due piani orizzontali dichiarati infinitamente rigidi in sede in input dei livelli. I carichi verticali si pensano centrati e le variazioni di sforzo normale dovute alle azioni sismiche sono prese in conto a scelta dell'utente. Nel caso si utilizzi un modello non lineare (ad esempio per la presenza di tiranti o di fondazioni non reagenti al sollevamento) i carichi verticali comprendono sempre anche il contributo delle azioni sismiche. Le azioni orizzontali prese in conto sono per ogni piano la somma delle forze sismiche agenti al di sopra del piano.

Ai fini della verifica POR la analisi del modello agli elementi finiti ha il solo scopo di determinare lo sforzo normale nei maschi murari. Gli effetti delle azioni orizzontali infatti vanno valutati con diverso solutore (POR).

Ai maschi che non sono compresi tra piani rigidi e quindi anche ai maschi che sostengono le falde non può essere applicato un solutore POR. Per questi maschi le verifiche a taglio vengono eseguite, trascurando a favore di sicurezza il contributo della duttilità, a partire dai risultati della analisi elastica forniti dal modello ad elementi finiti. I carichi verticali sono pensati centrati. Sia nel caso lineare che nel non lineare lo sforzo normale ed i tagli si ottengono per ogni combinazione sommando i contributi di tutte le condizioni di carico.

Le verifiche delle aste in legno possono essere condotte con il metodo alle tensioni ammissibili nello spirito delle DIN 1052 o con il metodo agli stati limiti e secondo Eurocodice 5.

## **RISULTATI**

Le informazioni che accompagnano il calcolo automatico e la presentazione dei risultati è tale da riassumere, in una sintesi completa ed efficace, il comportamento della struttura per quel particolare tipo di analisi sviluppata, con la possibilità di restituzione di disegni e schemi grafici contenenti le configurazioni deformate, le caratteristiche di sollecitazione e degli sforzi, i diagrammi di involuppo associati alle combinazioni, gli schemi grafici e la rappresentazione dei carichi applicati e delle corrispondenti reazioni vincolari.

Di tutte le grandezze vengono evidenziati i segni, le unità di misura ed i valori numerici necessari ai fini delle verifiche e di misura della sicurezza, nei punti o nelle sezioni.

## **CONTROLLO E VERIFICA DEI CODICI**

Per controllare l'affidabilità dei codici utilizzati, l'idoneità al caso specifico, e verificare l'attendibilità dei risultati dell'analisi strutturale e delle verifiche condotte con l'ausilio di codici di calcolo automatico è stata preliminarmente esaminata la documentazione fornita dalla Concrete S.r.l. a corredo del software.

Tale documentazione contiene una esauriente descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi impiegati, con l'individuazione dei campi d'impiego.

I casi semplici di prova analizzati per la verifica e la validazione del software di calcolo, risolti, commentati e corredati dei file di input necessari a riprodurre l'elaborazione, sono i seguenti:

- struttura semplice in c.a. in zona non sismica
- esempio di analisi statica equivalente secondo DM 16.01.1996
- esempio analisi statica equivalente secondo OPCM 3431
- esempio di applicazione dello spettro di risposta secondo DM 16.01.1996
- esempio di applicazione dello spettro di risposta secondo OPCM 3431
- esempio di telaio multipiano
- verifica di un plinto superficiale
- struttura semplice in acciaio in zona non sismica
- lastra rettangolare appoggiata al contorno
- modellazione non lineare di un portale in c.a.
- esempio di determinazione di  $A_g$ ,  $F_o$  e  $T_c$  secondo DM 14.01.2008
- esempio di calcolo di taglio alla base con applicazione dello spettro

Dei suddetti casi semplici di analisi vengono fornite le seguenti informazioni:

- scopo dell'esempio
- file associati all'esempio
- descrizione della struttura e degli elementi strutturali
- descrizione del tipo di analisi
- descrizione delle combinazioni di carico
- valutazione delle azioni sismiche
- valutazione della risposta di spettro
- valutazione delle caratteristiche di sollecitazione nei nodi e negli elementi strutturali
- valutazione dello spostamento dei nodi
- valutazione della deformazione degli elementi strutturali
- verifica degli elementi strutturali
- riepilogo dei risultati

## **ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI**

I risultati dell'analisi strutturale condotta sono stati esaminati e controllati al fine di verificare il corretto comportamento del modello e l'attendibilità dei risultati.

L'attendibilità dei calcoli e delle scelte operate in sede di modellazione della struttura e delle azioni è stata confermata a seguito di comparazioni dei risultati dell'analisi svolta con quelli di valutazioni semplificate ottenuti attraverso semplici calcoli di larga massima, eseguiti con metodi tradizionali e sulla base di considerazioni riguardanti verifiche di equilibrio tra reazioni vincolari e carichi applicati e stati tensionali e deformativi.