

Aedes.PCM 2016: anteprima di alcune nuove funzionalità

(data di redazione del presente documento: 02.02.2016)

Con la versione 2016, PCM prosegue la sua evoluzione verso un ambiente completo in grado di supportare il Progettista nelle analisi dei fabbricati in muratura, mantenendo come sempre particolare attenzione verso gli edifici esistenti.

Come prima nuova funzionalità, presentiamo il **dominio di stabilità per elementi snelli**.

Il carico critico viene in genere ignorato oppure non sempre adeguatamente stimato, anche a causa di insufficienti contenuti Normativi. E' tuttavia ora possibile, con PCM, includere nell'analisi questo importante aspetto, in grado di condizionare talvolta notevolmente le verifiche di sicurezza.

Concetto-chiave:



ATTENZIONE ALLE ANALISI PUSHOVER SPAZIALI SENZA VERIFICHE FUORI PIANO

(PRESSOFLESSIONE ORTOGONALE): LE STIME DI CAPACITA' POSSONO ESSERE SOVRASTIMATE IN MODO SIGNIFICATIVO CON CONSEGUENTE INATTENDIBILITA' DEL PERCORSO PROGRESSIVO DI CRISI. PER ADERIRE MAGGIORMENTE AL COMPORTAMENTO REALE DELLA STRUTTURA, E' INOLTRE MOLTO IMPORTANTE **CONSIDERARE LA POSSIBILITA' DI CRISI PER INSTABILITA'**: SOPRATTUTTO NEL CASO DI PARETINE DI PICCOLO SPESSORE O NOTEVOLE ALTEZZA.

Successivamente, presentiamo la **Ricerca sulle Torri in muratura**, particolarmente interessante in quanto considera la parzializzazione progressiva in analisi statica non lineare, differenziando il comportamento lungo l'elevazione, con sezione trasversale variabile. Questa nuova funzionalità, inserita nel modulo opzionale ECS (Elementi Costruttivi Storici e monumentali) amplia le tipologie strutturali esistenti che possono essere analizzate con PCM, con particolare attenzione ai manufatti storici.

DOMINIO DI STABILITÀ PER ELEMENTI SNELLI

Le verifiche di resistenza a pressoflessione delle pareti in muratura richiedono la valutazione della massima tensione di compressione, sia per il comportamento nel piano, sia per quello fuori piano; anche per i pilastri murari è possibile costruire domini di resistenza ed effettuare verifiche a pressoflessione deviata.

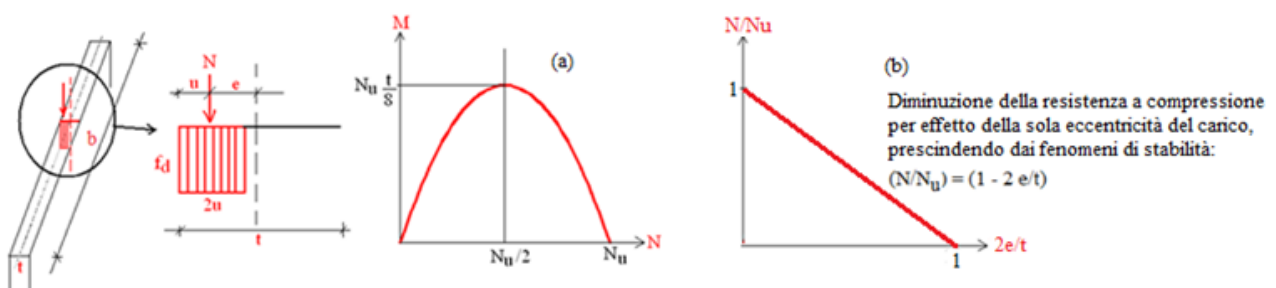


Fig. 1. Dominio di resistenza per pressoflessione ortogonale

Tuttavia, la resistenza a compressione non è l'unico aspetto da prendere in considerazione: la possibile instabilizzazione dell'elemento strutturale verticale può costituire un serio problema, in quanto il carico critico può abbattere notevolmente la capacità dell'elemento. Nel caso della parete, lo sbandamento avviene nel piano di minima inerzia, e quindi riguarda le verifiche a pressoflessione ortogonale.

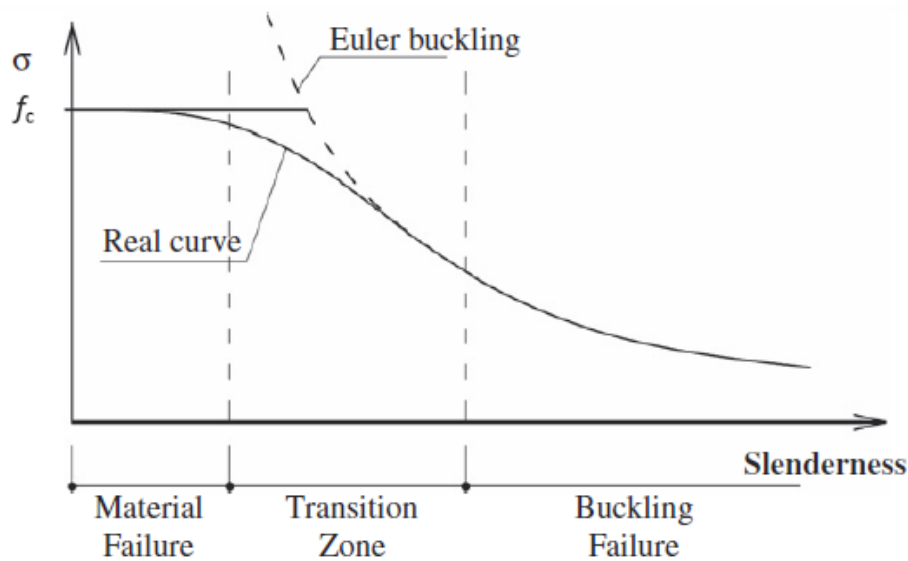


Fig. 2. Resistenza a compressione in funzione della snellezza

Un'analisi che prescinda dallo studio di stabilità può sovrastimare la capacità resistente di un edificio:

- in analisi statica possono essere trascurati fenomeni di crisi improvvisa per raggiungimento del carico critico, in particolare nel caso di muri snelli o pilastri fortemente caricati;
- in analisi sismica, possono non essere correttamente stimate le capacità di pareti e pilastri, ottenendo indicatori di rischio sismico più alti di quelli reali e sottostimando l'effetto fragile di collassi locali per instabilità, che nella realtà non consentono all'edificio lo sviluppo delle riserve globali di duttilità.

NOTA: Ricordiamo ancora una volta che occorre molta attenzione sulla modalità di esecuzione dell'analisi pushover su modelli 3D: se si considera soltanto il comportamento nel piano, trascurando le verifiche fuori-piano (e conseguentemente i problemi di stabilità ad esse connessi), si possono ottenere risultati inattendibili, con sovrastime della capacità anche molto rilevanti. ■

Nelle Normative italiana ed europea gli effetti del secondo ordine relativi alla stabilità sono trattati proponendo un metodo semplificato per la verifica a pressoflessione statica per carichi laterali, basato sul calcolo di un coefficiente Φ riduttivo della resistenza a compressione, definito in funzione della snellezza e dell'eccentricità e del carico.

Il metodo del coefficiente Φ lascia irrisolti alcuni aspetti non trascurabili.

Anzitutto, esso viene proposto dalle Normative solo in campo statico: nei contenuti relativi alle analisi sismiche, la verifica a pressoflessione fuori piano non prende in considerazione in alcun modo la stabilità. In secondo luogo, la formulazione del metodo appare coerente con gli edifici di nuova progettazione, per i quali peraltro le stesse Normative, in altre indicazioni specifiche, pongono limiti alla snellezza, riducendo così indirettamente i rischi di collassi per stabilità.

Negli edifici esistenti si possono riscontrare snellezze o eccentricità più sfavorevoli rispetto ai valori richiesti dalla nuova progettazione, con impossibilità di utilizzo della tabella normativa italiana dove l'estrapolazione non è in nessun caso ammessa. D'altra parte, **la crisi per perdita di equilibrio è particolarmente rischiosa proprio per le pareti esistenti più snelle.**

L'analisi sismica richiede inoltre la gestione di eccentricità notevoli, in quanto:

- nelle analisi lineari, le azioni sismiche possono indurre momenti rilevanti;
- in una analisi pushover dove si tenga conto anche della resistenza delle pareti nel piano ortogonale o in strutture dove sono presenti pilastri, sotto l'azione orizzontale progressivamente crescente, è sicuramente necessario gestire il raggiungimento del limite di resistenza per eccessiva eccentricità del carico.

Partendo dai risultati dei numerosi studi su quest'argomento, nella Ricerca sviluppata da Aedes si giunge a una **formulazione analitica applicabile alla generalità dei casi di compressione o pressoflessione, tenendo conto dell'eccentricità del carico e dei fenomeni di instabilità.**

Figure 1. Influence of lateral load on buckling of URM walls.

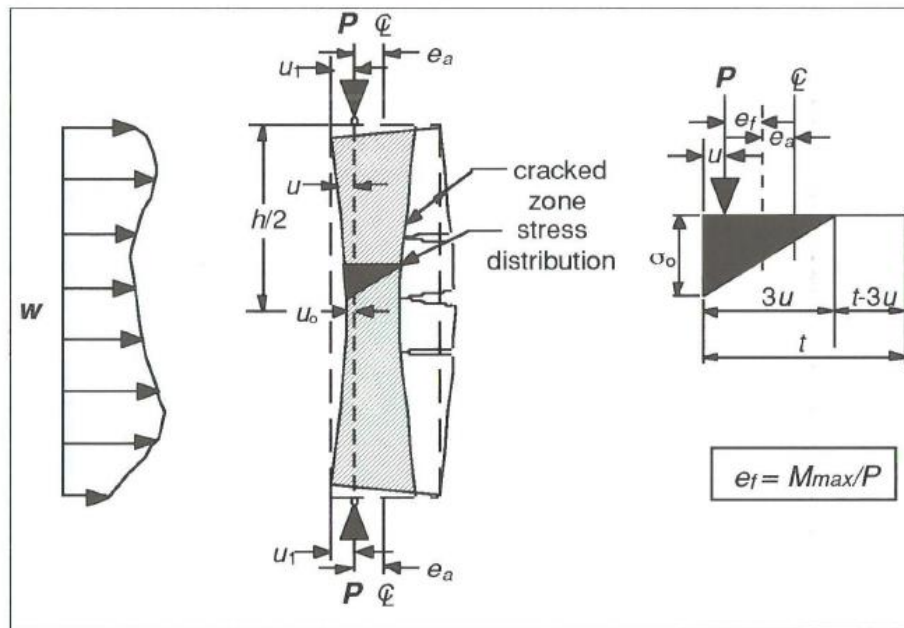


Fig. 3. Parzializzazione di parete compressa e soggetta a carico laterale, con studio del carico critico (dipendente da eccentricità e snellezza)

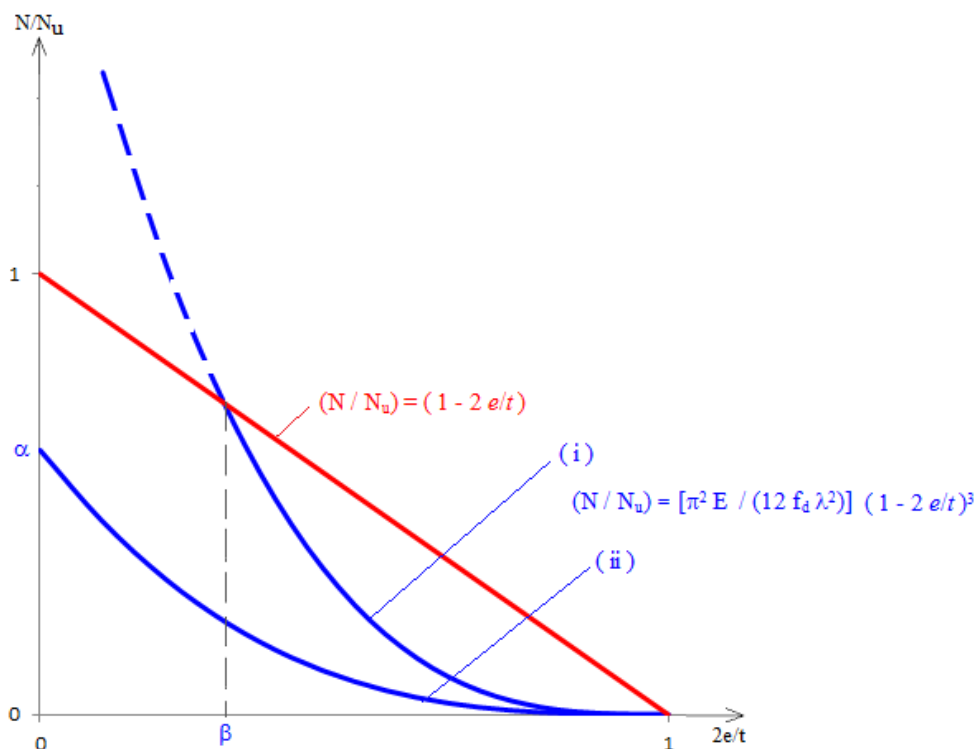


Fig. 4. Resistenza a compressione: influenza del carico critico

Viene inoltre analizzato il caso di **paramenti affiancati**, frequente in edifici esistenti.

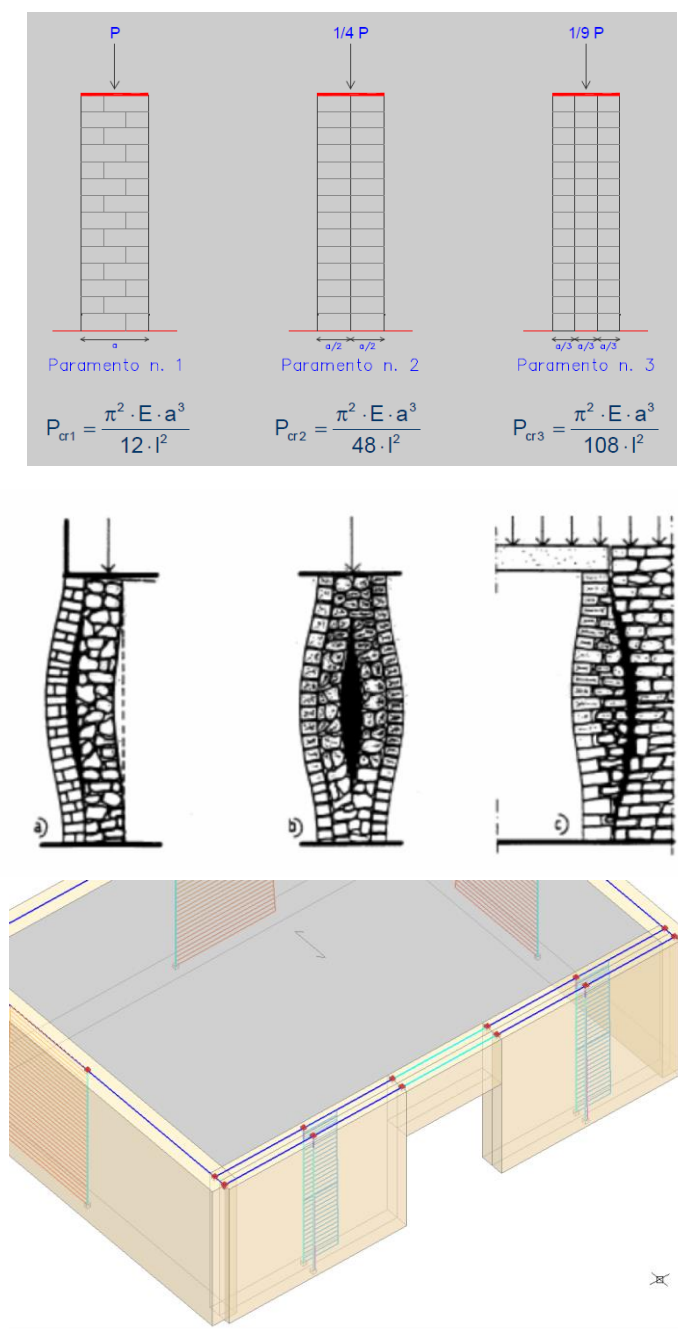


Fig. 5. Stabilità di pareti composte da paramenti affiancati; modellazione in PCM

Per ognuno dei due paramenti il carico di punta si riduce notevolmente rispetto alla parete omogenea; in generale, la verifica di stabilità fornirà un diverso coefficiente di sicurezza per i due paramenti, dal momento che lo sforzo normale agente assume valori diversi (maggiore per il paramento interno, caricato dal solaio).

Lo studio condotto per PCM è completato da alcuni significativi **confronti con risultati sperimentali**, nell'ambito dei quali sono eseguiti comparazioni anche con la metodologia del coefficiente riduttivo Φ dell'EuroCodice 6. Si evidenzia come è possibile ottenere dalla formulazione di PCM risultati più vicini ai test sperimentale rispetto all'EuroCodice.

In sintesi, **il vantaggio dell'applicazione della formulazione adottata in PCM consiste nella possibilità di trattare la generalità dei casi, con particolare riferimento alla muratura esistente.**

ANALISI E VERIFICA DI TORRI IN MURATURA

PCM 2016 propone, nell'ambito del modulo ECS, torri in muratura studiate con una metodologia innovativa, caratterizzata dai seguenti aspetti principali:

- Modellazione della reale geometria in sezione e in elevazione,
- Parzializzazione progressiva e analisi adattiva in pushover,
- Interazione con strutture adiacenti (es.: campanile e chiesa),
- Effetti di campane oscillanti,
- Verifica di stabilità in fondazione.

Più in dettaglio, ECS 2016 consente lo studio di **torri e campanili** in muratura, ed in generale di qualsiasi elemento snello. E' possibile modellare la reale geometria della struttura sia in pianta che in elevazione, sempre operando all'interno dell'interfaccia di PCM.

E' possibile studiare la torre o il **campanile** isolato oppure all'interno del **complesso strutturale**: particolare attenzione è stata posta nella soluzione del problema d'**interazione della due strutture**.

ECS

Modulo di Analisi per Torri e Campanili

Analisi Strutturale di torri e campanili, isolati o situati all'interno di un complesso strutturale.

Analisi Push Over con degrado della sezione causata dal materiale non resistente a trazione.

Studio semplificato secondo DIR.P.C.M. 09/02/2011

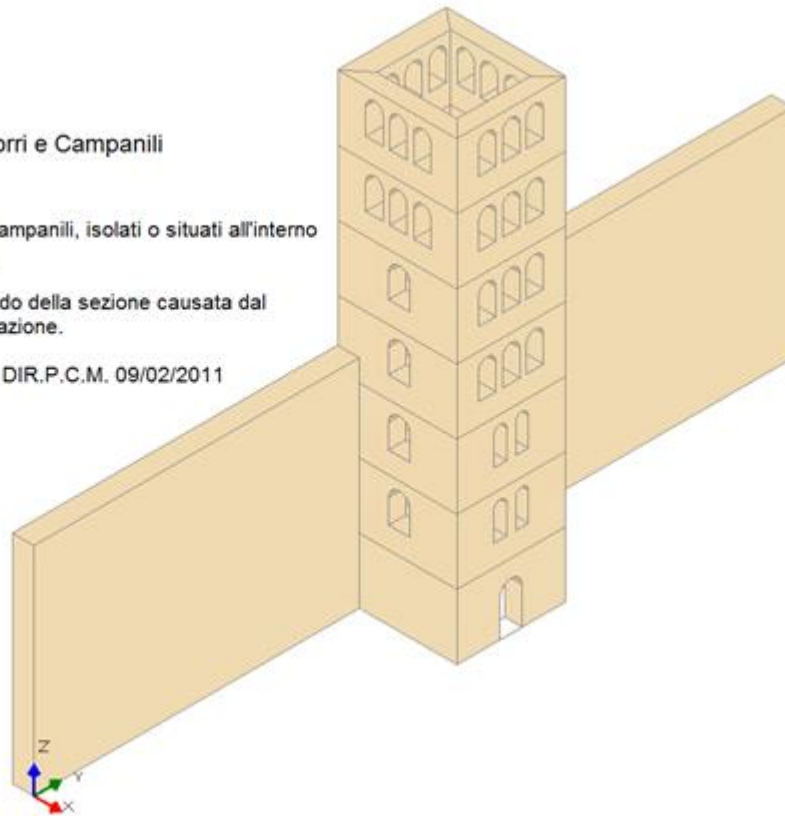


Fig. 6. Studio di torri e campanili isolati o connessi a strutture adiacenti

Il modello strutturale è composto da una serie di aste con sezione variabile in modo da rappresentare la reale geometria della struttura. La scelta di un modello a "mensola" rimane giustificata dal comportamento di tali tipologie di strutture, la cui geometria garantisce la conservazione della sezione piana.

Tuttavia per quelle porzioni della struttura particolarmente deformabili, come la cella campanaria, sarà possibile effettuare la modellazione distinguendo i vari elementi dell'apparecchio murario.

Le verifiche verranno quindi svolte a pressoflessione e a taglio per il corpo del campanile in ciascuna sezione, a pressoflessione nel piano, pressoflessione fuori piano e taglio per gli elementi della cella campanaria.

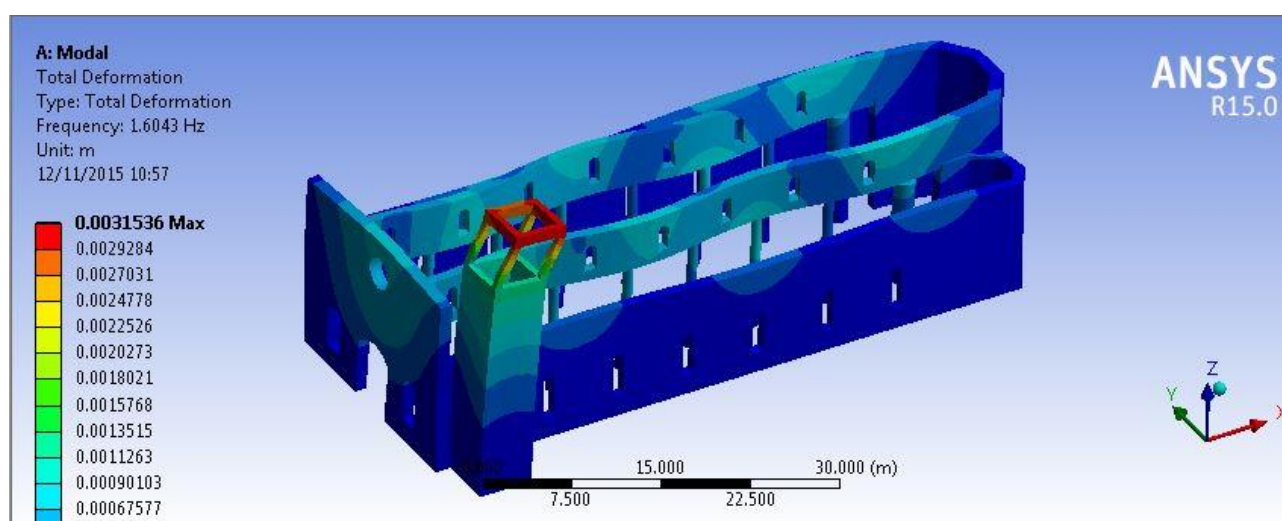
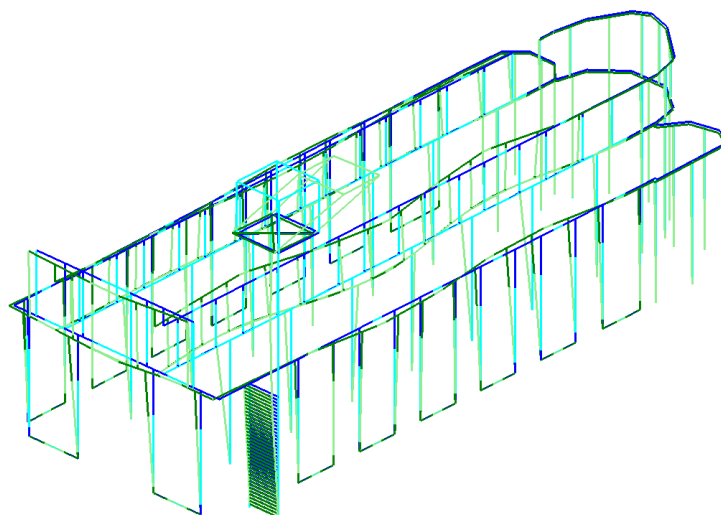


Fig. 7. Comportamento dinamico: confronto fra PCM e ANSYS

La Ricerca per ECS 2016 ha previsto la validazione attraverso un confronto con i risultati della modellazione a elementi finiti solidi (brick), condotta con ANSYS. Il comportamento dinamico risulta coerente con quanto ottenuto attraverso la modellazione proposta per PCM, che quindi può essere utilizzata in modo vantaggioso a fini professionali.

Per torri e campanili possono essere effettuate tutte le classiche analisi proposte da PCM:

- Analisi Modale;
- Analisi Statica Lineare Non Sismica;
- Analisi Sismica con Forze Statiche Equivalenti;
- Analisi Sismica Dinamica Lineare;
- Analisi Sismica Statica Non Lineare.

Tra gli aspetti più particolari ed innovativi sottolineiamo la possibilità di svolgere l'analisi statica non lineare considerando la **non resistenza a trazione del materiale**. Ad ogni passo dell'analisi viene determinata la zona parzializzata, così che può essere resa non reagente. Questo comporta un degrado nella rigidità della struttura e quindi un'evoluzione del suo comportamento dinamico. Per questi motivi l'analisi viene svolta in modo **adattivo**, andando ad aggiornare passo passo la distribuzione delle azioni in funzione della variazione del modo di vibrare della struttura.

E' possibile inoltre considerare gli effetti dinamici delle campane sulla costruzione. A partire dalla geometria delle campane e dal loro utilizzo viene determinata un'azione statica equivalente all'effetto dinamico che esse hanno sulla struttura.

Infine è stata implementata la possibilità di svolgere una **verifica di stabilità delle fondazioni** di torri e campanili. È storicamente noto che le maggiori problematiche di queste strutture sono relative all'interazione con il terreno, principalmente per due motivi: la forte concentrazioni di tensioni e l'elevata altezza, la quale fa sì che un piccolo fuori piombo della struttura porti una notevole eccentricità. Per questi motivi è stato implementato in PCM 2016 un criterio di verifica per instabilità progressiva del sistema fondazione-terreno.

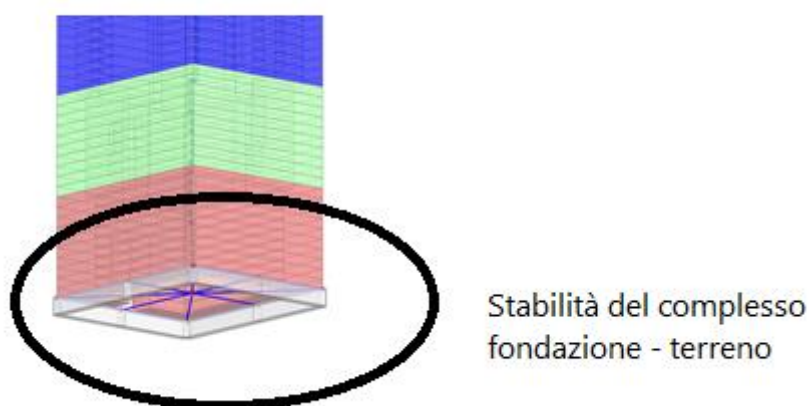


Fig. 8. Interazione fondazione della torre - terreno

A completamento delle funzionalità implementate in ECS 2016, è possibile eseguire le verifiche semplificate secondo la Direttiva per i beni monumentali della Normativa Italiana vigente, ma è evidente che un metodo sufficientemente semplice e allo stesso tempo attendibile costituisce per il Progettista una importante alternativa.

Per la bibliografia di riferimento si rimanda al documento completo, disponibile in occasione del rilascio ufficiale della versione 2016.