

## VALIDAZIONE DEI CALCOLI SECONDO IL PARAGRAFO 10.2 DELLE NTC 2008

ingegnere Luigi Ruggeri e geologo Romolo Di Francesco  
[studioruggeri2003@tiscali.it](mailto:studioruggeri2003@tiscali.it) ; [www.romolodifrancesco.it](http://www.romolodifrancesco.it) -

Il Dm 14.01.2008 (meglio conosciuto come NTC 2008) ha introdotto i concetti di Stato Limite Ultimo (SLU) e di Esercizio (SLE) che, di fatto e salvo rari casi semplici, rendono la progettazione subordinata all'uso dei software i cui codici sono ovviamente segreti nelle sancta sanctorum delle ditte produttrici; nel contempo, quale ulteriore elemento distintivo rispetto al precedente Dm 11.03.1988 (con il quale imperavano le tensioni ammissibili), le stesse hanno anche introdotto l'obbligo della validazione dei calcoli eseguiti con i suddetti software affermando che (paragrafo 10.2):

*“Quando l'analisi strutturale e le relative verifiche siano condotte con l'ausilio di codici di calcolo automatico, il progettista dovrà controllare l'affidabilità dei codici utilizzati e verificare l'attendibilità dei risultati ottenuti, ... omissis ... Il progettista dovrà esaminare preliminarmente la documentazione a corredo del software per valutarne l'affidabilità e soprattutto l'idoneità al caso specifico.*

*La documentazione, che sarà fornita dal produttore o dal distributore del software, dovrà contenere una esauriente descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi impiegati, l'individuazione dei campi d'impiego, nonché casi prova interamente risolti e commentati, per i quali dovranno essere forniti i file di input necessari a riprodurre l'elaborazione”.*

È chiaro che quanto richiesto dalla normativa rappresenta una sorta di cane che si morde la coda, in quanto la validazione dei calcoli - sotto la sola responsabilità del progettista che ignora i reali codici di calcolo utilizzati nella programmazione (da non confondere con la teoria di calcolo esplicita nel manuale del programma) - dovrebbe essere effettuata analizzando casi prova risolti e commentati dagli stessi produttori del software!

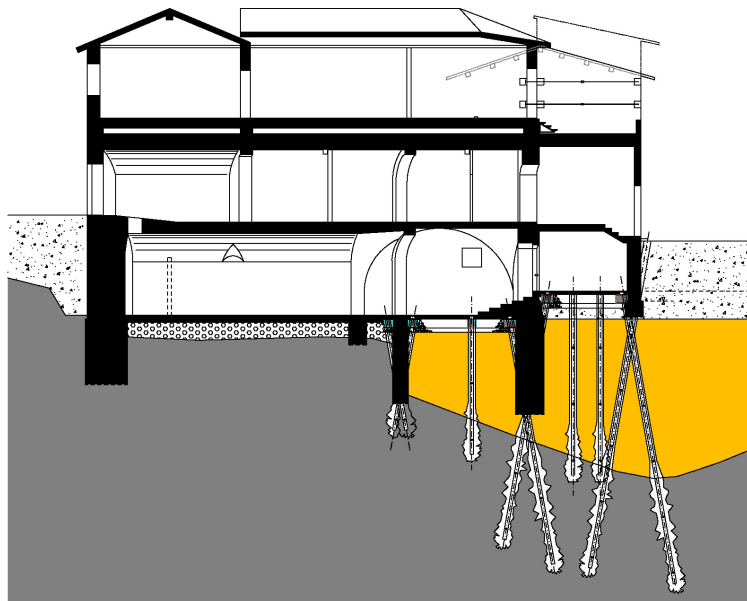


Figura 1. Sezione di progetto dell'intervento di consolidamento delle fondazioni di un antico edificio, di origine trecentesca, e dei successivi ampliamenti.

Al fine di superare tale impasse, nel corso della progettazione di un intervento di consolidamento delle fondazioni di un edificio antico - mediante la tecnica dei micropali (figura 1) - è stato utilizzato un noto software di calcolo geotecnico; preliminarmente è stato effettuato un pre-dimensionamento utilizzando i metodi di calcolo descritti in “Analisi geotecniche di fondazioni superficiali e pali”, mentre la validazione dei risultati ottenuti con il programma di calcolo è stata cercata attraverso

l'impiego dei codici sviluppati in originale da uno degli scriventi ed esplicitati in "Introduzione al metodo degli elementi finiti".

Si noti che sia il pre-dimensionamento che la validazione attraverso codici agli elementi finiti sono stati effettuati tramite Excel utilizzando le procedure illustrate nei testi citati.

Quindi, per la seguente geometria tipo:

$D_1 = 150$  millimetri (diametro di perforazione)

$D_2 = 88.9$  millimetri (diametro tubo di armatura)

$S = 8.4$  millimetri (spessore tubo armatura)

$L = 12$  metri (lunghezza di perforazione)

$N = 74$  kN (carico normale di progetto)

$M = -14$  kNm (momento flettente di progetto)

sono stati ottenuti capacità portanti agli SLU confrontabili tra loro (150.4 kN con il programma e 169.8 kN con Excel, con scarto dell'11%) ed i risultati di figura 2.

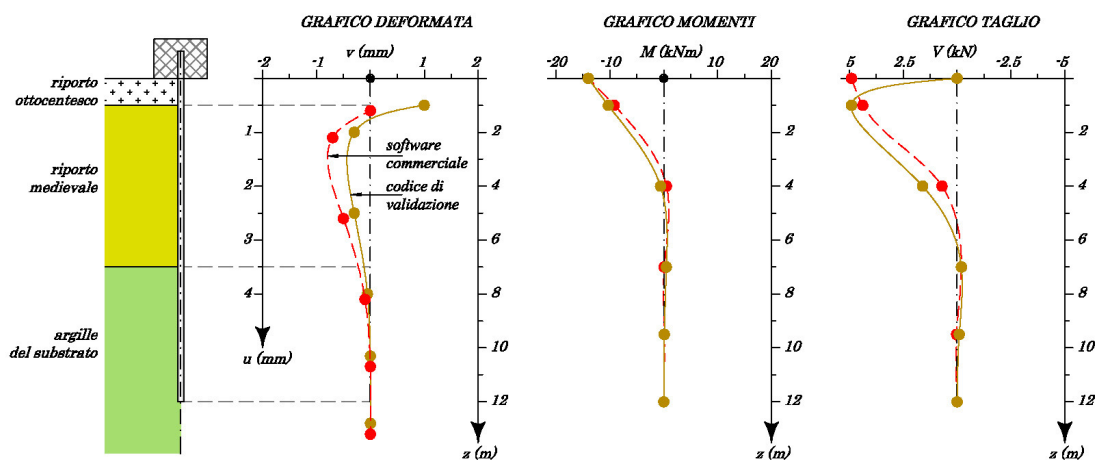


Figura 2. Confronto dei risultati ottenuti con il software geotecnico e i codici estratti da "Introduzione al metodo degli elementi finiti" ed implementati in Excel.

Nell'analisi dei grafici di figura 2 occorre considerare che:

- nel modello analizzato con il software commerciale è stato adottato un vincolo ad incastro, quale unica alternativa alla cerniera o alla testa libera; al contrario, nel modello implementato in Excel il vincolo è stato simulato con una doppia molla a rigidità variabile al fine di tenere conto della deformabilità complessiva del sistema terreno-micropalo-fondazione;
- il software è capace di calcolare gli spostamenti orizzontali ( $v$ ), i momenti ed il taglio, mentre la definizione dei cedimenti verticali ( $u$ , bloccati dall'incastro) è affidata a differenti teorie (cedimenti elastici di Davis-Poulos, stima con il Metodo Iperbolico o con la teoria semplificata di Fleming) disaccoppiando l'analisi; al contrario, nel modello implementato in Excel tutti i parametri ( $u$ ,  $v$ ,  $M$  e  $V$ ) sono calcolati con teoria accoppiata, essendo dipendenti da un modello ad elementi finiti che accoppia la "trave di Eulero-Bernoulli" con il modello di "suolo alla Winkler" di Di Francesco a sua volta derivato dal modello di Di Francesco-Gherzi;
- i momenti flettenti sono del tutto comparabili tra loro;
- l'andamento del taglio risente del differente vincolo adottato, tanto da assumere il valore massimo all'incastro nel software e nel primo passaggio stratigrafico nel modello implementato in Excel.

In definitiva, la validazione dei calcoli può essere eseguita con modelli complessi (essendo sviluppati con il metodo degli elementi finiti) ma nel contempo di facile utilizzo ed immediata manipolazione (essendo implementabili in Excel), potendo in tal modo superare il limite di doversi affidare in toto ai risultati offerti dai produttori del software utilizzato.

Allo stesso tempo, proprio grazie alla manipolazione dei dati offerta da Excel, si riesce ad acquisire la necessaria sensibilità per poter giudicare i progetti affidati ai programmi di calcolo commerciali.

