

Strutture di fondazione per edifici in muratura portante con riferimento al D.M. 14/01/2008

Flavio Mosele, Lorenzo Bari

L'entrata in vigore del D.M. 14/01/2008 (di seguito NTC) ha portato a rivalutare la struttura in muratura portante (ordinaria o armata) come sistema costruttivo impiegabile per diverse tipologie di edifici di medio-piccola dimensione in alternativa al telaio in c.a..

I vincoli imposti dalle NTC per le strutture in c.a. in termini geometrici, di armatura e l'esigenza di rispettare la cosiddetta "gerarchia delle resistenze" ha infatti reso assai più complessa ed onerosa la realizzazione di strutture intelaiate favorendo un ritorno di interesse e convenienza per il sistema costruttivo in muratura portante, soprattutto per quelle tipologie edilizie che tipicamente ben si prestano ad essere realizzate con struttura portante in muratura.

In relazione a diversi quesiti riguardo l'interpretazione delle regole inerenti le fondazioni di edifici in muratura portante, si ritiene opportuno fornire alcuni concetti di base da seguire per realizzare strutture di fondazione adeguate alla sovrastante struttura in muratura portante compatibili con le prescrizioni delle NTC.

Richiami delle NTC 2008 - Fondazioni

La fondazione o la **struttura di fondazione** è l'unità strutturale che funge da collegamento tra la costruzione in elevazione e il suolo.

Riveste il ruolo di trasferire a terra le azioni agenti sulla costruzione con assoluta sicurezza, garantendo la stabilità dell'opera edificata e la compatibilità con le prestazioni richieste alla costruzione stessa.

Le NTC richiedono, infatti, a livello generale che venga verificata *"la resistenza degli elementi strutturali che compongono la fondazione stessa"* (§ 6.4.2.1) e di *"calcolare i valori degli spostamenti e delle distorsioni per verificarne la compatibilità con i requisiti prestazionali della struttura in elevazione"* (§ 6.4.2.2).

I criteri generali di progettazione per azioni sismiche (§ 7.2.1) precisano inoltre che *"Il sistema di fondazione deve essere dotato di elevata rigidezza estensionale nel piano orizzontale e di adeguata rigidezza flessionale"*, che gli elementi strutturali delle fondazioni *"devono essere dimensionati sulla base delle sollecitazioni ad essi trasmesse dalla struttura sovrastante (v. § 7.2.5), devono avere un comportamento non dissipativo, indipendentemente dal comportamento strutturale attribuito alla struttura su di esse gravante"*, devono dunque avere comportamento elastico, perciò non richiedono l'impiego di *"armature specifiche per ottenere un comportamento duttile"* (§ 7.2.5).

Le azioni trasmesse dalla struttura in elevazione alle fondazioni vengono valutate considerando le **azioni statiche (verticali) e sismiche**: al § 7.2.5 le NTC indicano che *"il dimensionamento delle strutture di fondazione e la verifica di sicurezza del complesso fondazione-terreno devono essere eseguiti assumendo come azioni in fondazione le resistenze degli elementi strutturali soprastanti"*.

Questa affermazione viene poi ulteriormente chiarita allo stesso punto delle NTC 2008 e viene riportata in questa sede in forma schematica:

$$\{N, M, T\} = \{N_{sism}, M_{sism}, T_{sism}\} \leq \{N_{ampl}, M_{ampl}, T_{ampl}\} \\ \leq \{N_{el}, M_{el}, T_{el}\}$$

dove:

- N, M, T : rispettivamente Carico Assiale (forza in direzione verticale, cioè \perp al piano delle fondazioni), Momento Flettente e Taglio (forza in direzione orizzontale, cioè \parallel al piano delle fondazioni);
- $N_{sism}, M_{sism}, T_{sism}$: Carico Assiale sull'elemento strutturale valutato con la combinazione dell'azione sismica con le altre azioni (§ 3.2.4), Momento Resistente dell'elemento strutturale calcolato per il livello di sollecitazione assiale N_{sism} , e Taglio sull'elemento strutturale calcolato dal Momento Resistente M_{sism} ;
- $N_{ampl}, M_{ampl}, T_{ampl}$: Carico Assiale, Momento Flettente e Taglio trasferiti dagli elementi sovrastanti, amplificate con un $\gamma_{Rd} 1.1$, nel caso della muratura;
- N_{el}, M_{el}, T_{el} : Carico Assiale, Momento Flettente e Taglio trasferiti dagli elementi sovrastanti, e valutati tramite analisi elastica della struttura in elevazione con $q=1$.

Relativamente alle azioni sulle fondazioni, va considerata anche la possibilità di **spostamenti relativi del terreno di fondazione** sul piano orizzontale (NTC, § 7.2.5.1) che rientra nell'ottica di creare un sistema di fondazione dotato di elevata rigidezza estensionale nel piano orizzontale (§ 7.2.1), ma non rappresenta un caso critico per gli edifici in muratura, visto che abitualmente questi sono caratterizzati da fondazioni collegate tra di loro le quali sono in grado di

sviluppare resistenze assiali maggiori della richiesta indicata in § 7.2.5.1.

Il § 7.11.5 delle NTC, dedicato alle fondazioni, richiama in sostanza i concetti precedentemente introdotti in § 6 ed in § 7.2.5, affrontando le problematiche specifiche nell'ambito della geotecnica e non interessa l'argomento trattato in questa sede.

Richiami delle NTC 2008 - Fondazioni nelle Costruzioni in Muratura

L'organizzazione strutturale della muratura prevede che la fondazione (§ 4.5.4), possa essere costituita da un "cordolo in calcestruzzo armato disposto alla base di tutte le murature verticali resistenti". Inoltre viene data la possibilità di "realizzare la prima elevazione con pareti di calcestruzzo armato", previo "adeguato centraggio dei carichi trasmessi alle pareti della prima elevazione ed alla fondazione". Dunque è possibile realizzare un primo piano in pareti di c.a. garantendo però la continuità verticale della trasmissione delle azioni.

Nell'ambito della progettazione per azioni sismiche, vengono introdotti due concetti fondamentali per le fondazioni delle costruzioni in muratura (§ 7.8.1.8): "Le strutture di fondazione devono essere realizzate in cemento armato, secondo quanto indicato al § 7.2.5, continue, senza interruzioni in corrispondenza di aperture nelle pareti soprastanti.

Qualora sia presente un piano cantinato o seminterrato in pareti di cemento armato esso può essere considerato quale struttura di fondazione dei sovrastanti piani in muratura portante, nel rispetto dei requisiti di continuità delle fondazioni, e non è computato nel numero dei piani complessivi in muratura".

Il primo concetto è di immediata comprensione, ossia **le fondazioni devono essere continue** nella loro estensione orizzontale, indipendentemente dalla presenza di aperture sulle pareti soprastanti. Il secondo concetto, invece, è più articolato ed evidenzia l'obiettivo del normatore di creare un **comportamento scatolare** della struttura di fondazione in c.a. di elevata rigidezza alle azioni orizzontali, per quanto riguarda la risposta globale; garantendo alla base di ciascuna parete portante in muratura soprastante, indipendentemente dalle aperture nelle stesse, un elemento strutturale che riesca a fornire una rigidezza flessionale adeguata e uniforme, lungo tutta la sua estensione, per quanto riguarda la risposta locale.

Nelle NTC non viene operata alcuna distinzione tra strutture di fondazione per muratura ordinaria o per muratura armata. È opportuno tuttavia che il tecnico tenga conto del diverso livello di sollecitazione che la **muratura armata** può trasferire sulla struttura di fondazione, come verrà evidenziato anche nelle conclusioni.

Si segnala infine l'approccio semplificato previsto nel caso di **costruzioni semplici** (NTC, § 7.8.1.9) per le quali "Il dimensionamento delle fondazioni può essere effettuato in modo semplificato tenendo conto delle tensioni normali medie e delle sollecitazioni sismiche globali determinate con l'analisi statica lineare".

In questo caso si tratta di verificare a livello globale la struttura, dunque che la tensione media sul piano di fondazione, a cui si deve sovrapporre la distribuzione di tensioni dovute al momento alla base della struttura causato dall'azione sismica agente sull'edificio, risulti non superiore alla tensione sopportata dal terreno.

Tale metodo è applicabile nell'ipotesi di monoliticità della sezione di fondazione e richiede una verifica della qualità del risultato finale.

Una spiegazione dettagliata in tal senso è riportata nel volume "L'edificio in muratura", G. Righetti, L. Bari, 2ª Edizione, punto 4.12.1.4, promosso dal Consorzio POROTON® Italia.

Criticità riguardanti la struttura di fondazione di edifici in muratura

Il posizionamento di una parete portante in muratura su di una trave della struttura in c.a. del piano interrato o seminterrato "di fondazione" è una soluzione da adottare laddove non si possano prevedere soluzioni alternative, ma risolvibile nel rispetto dei requisiti imposti dalle NTC precedentemente descritti.

Uno dei casi più ricorrenti sono le **aperture per i garage** sulle pareti perimetrali [Fig. 1], che creano in sostanza nel piano interrato o seminterrato una parete perimetrale in c.a. forata, la quale, nel suo insieme, deve fornire una risposta tale da non compromettere il comportamento scatolare rigido della struttura di fondazione [Fig. 2] e tale da garantire deformazioni compatibili con i requisiti prestazionali della struttura in elevazione, come richiesto dalle NTC nel § 6.4.2.2.



Fig. 1 - Esempio di edificio con piano interrato in c.a. avente aperture dei garage e struttura in muratura portante soprastante.

A livello locale perciò, si deve prestare attenzione alle pareti che trasmettono momento flettente alla trave dell'apertura dei garage, garantendo che questa abbia una elevata rigidezza (proprietà che favorisce anche una resistenza adeguata dato che le strutture di fondazione devono rimanere in campo elastico) per ridurre le deformazioni che implicano la rotazione della base della parete in muratura soprastante, che conduce ad uno spostamento in sommità della parete stessa, aggiuntivo rispetto a quello previsto in fase di analisi della struttura in elevazione in muratura [Fig. 3].

Gli elementi verticali che reggono detta trave devono essere dimensionati conseguentemente per garantire le prestazioni richieste alla trave sorretta.

Una situazione analoga è rappresentata dal caso di **muratura portante soprastante una trave del primo impalcato** della struttura di fondazione, come rappresentata dalla coppia taglio/momento in Fig. 2(b).

Tale soluzione non costituisce un problema a livello globale: il comportamento scatolare della fondazione non è compromesso, in quanto le azioni orizzontali agenti sul primo impalcato della struttura di fondazione (derivanti dalle murature portanti) vengono distribuite dall'impalcato stesso alle pareti perimetrali.

A livello locale invece, come nel caso precedente, si deve prestare attenzione agli effetti indotti dal momento flettente sulla trave. Si deve dunque, anche in questo caso realizzare una trave alta per fornire una rigidità elevata alla base della muratura soprastante e gli elementi verticali che reggono detta trave devono essere dimensionati conseguentemente.

Si avrà dunque che la struttura di trave e pilastri così creata, avrà una rigidità tale da partecipare all'assorbimento delle azioni orizzontali contribuendo al comportamento scatolare dell'interrato.

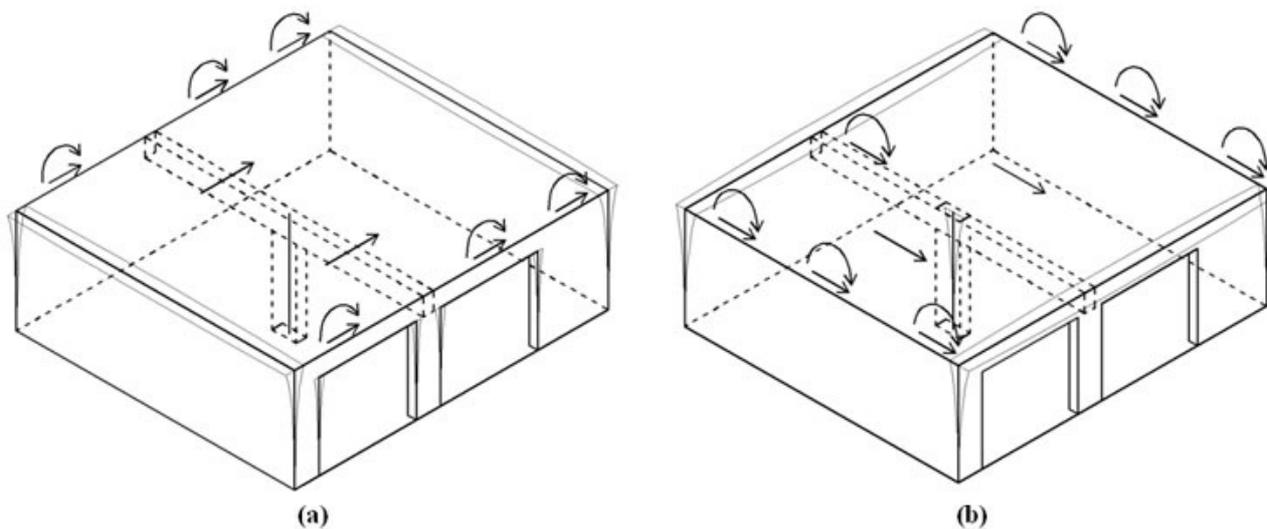


Fig. 2 - Schema della risposta sismica globale del piano interrato in c.a. di "di fondazione", nelle due direzioni principali, con riportata la deformata qualitativa dovuta alle azioni orizzontali del solaio ed alle coppie di taglio e momento delle ipotetiche pareti in muratura soprastanti.

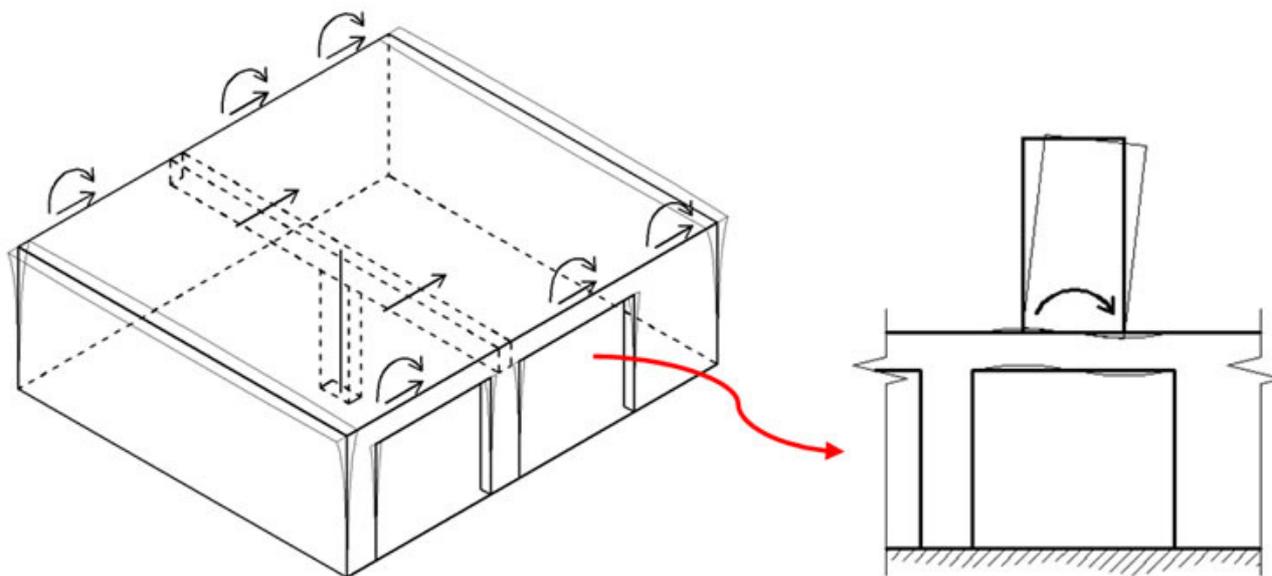


Fig. 3 - Dettaglio dello spostamento in sommità della parete in muratura, dovuto alla deformazione flettente della trave dell'apertura dei garage alla base della parete stessa.

Conclusioni

In generale emergono due aspetti a cui prestare attenzione nell'ambito del dimensionamento della struttura di fondazione di edifici in muratura portante: **il comportamento globale**, ossia il comportamento scatolare della fondazione; ed **il comportamento locale**, quindi la deformazione flettente della trave (o più in generale della parete forata) che regge il muro portante.

Sia nel caso di parete portante soprastante all'apertura dei garage, che in quello di parete portante poggiante su una trave del primo impalcato della struttura di fondazione, l'adeguato comportamento globale e locale richiesto, viene soddisfatto mediante la realizzazione di una trave alta retta da adeguati elementi verticali, a formare una parete forata sufficientemente rigida.

Si precisa che nelle NTC non viene operata distinzione tra strutture di fondazione per muratura ordinaria o per muratura

armata. Quest'ultima tuttavia, sviluppando maggiori resistenze ed in particolare momenti flettenti maggiori e con maggiore rigidità, richiede la dovuta attenzione nella realizzazione e dimensionamento degli elementi in c.a. con funzione di fondazione, che devono essere rigidi e resistenti alla luce delle considerazioni precedentemente esposte.