

# Sisma, come valutare la sicurezza delle condotte aerauliche

*Nella valutazione della sicurezza degli edifici in caso di sisma vanno considerati anche e soprattutto gli elementi non strutturali, tra i quali rientrano le condotte aerauliche, perché risultano più vulnerabili di quelli strutturali*

*di A. Temporin, P. Segala\**

**L**A VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA degli edifici in caso di sisma va fatta prendendo in considerazione tutti gli elementi del fabbricato e non solo quelli strutturali.

A testimonianza di ciò, in molti Paesi gli impianti di condizionamento e di ventilazione sono oggetto di normative tecniche e prassi progettuali e costruttive antisismiche.

Ovviamente, in un Paese caratterizzato da elevato rischio sismico come l'Italia non poteva non essere cogente una normativa specifica che

richiede un corretto calcolo delle azioni sismiche e la posa in opera di soluzioni operative che possano limitare la vulnerabilità anche dei cosiddetti Non Structural Element, tra i quali rientrano gli impianti HVAC, in particolare le condotte aerauliche.

Gli elementi non strutturali assumono particolare importanza soprattutto se si analizza, anche da un punto di vista statistico, il loro impatto sulla sicurezza. In linea generale, infatti, gli elementi non strutturali risultano più vulnerabili degli elementi strutturali alle azioni sismiche, anche a quelle di

lieve intensità. Questo comporta che la valutazione del rischio sia fatta non solo per far fronte agli eventi più catastrofici, fortunatamente più rari, ma anche a quelli di minore entità, purtroppo più frequenti.

L'impatto sulla sicurezza degli occupanti gli edifici è evidente ed è legato non solo al pericolo di crollo e all'impatto sulle persone, ma anche all'ostruzione delle vie di fuga e a



quelle di accesso dei soccorsi.

Va poi valutato anche il danno economico relativo all'inagibilità e alla necessità del ripristino delle strutture se non addirittura, nei casi più gravi, all'obbligo di demolizione.

Nonostante l'importanza della materia, come confermato dai numerosi fatti di cronaca rilevati su scala mondiale, la competenza dei professionisti in questo ambito è ancora abbastanza relativa. Sempre più le norme, in primis le NTC2008, prescrivono il calcolo e il dimensionamento degli elementi non strutturali anche in funzione dell'azione sismica, ma ancora troppo spesso le conoscenze tecnologiche nel settore impiantistico non collimano con le competenze di ingegneria sismica e viceversa.

## L'AZIONE SISMICA

Il movimento del terreno legato a un evento sismico è caratterizzato da spostamenti e accelerazioni e si trasmette al fabbricato tramite la fondazione e la struttura. Gli effetti primari sugli elementi non strutturali sono:

- effetti inerziali, causati da un'accelerazione diversa da quella al suolo perché "filtrata" dalla struttura che può amplificarla o ridurla e che, applicata alla massa dell'elemento non strutturale, determina una equivalente forza inerziale che agisce sull'elemento e sui suoi vincoli;
- distorsioni imposte agli elementi non strutturali vincolati a parti di struttura che, per effetto del sisma, si muovono tra loro in modo differente;
- separazioni o collisioni all'interfaccia tra elemento strutturale ed elemento non strutturale;
- interazione tra elementi non strutturali.

In Italia lo strumento normativo fondamentale per la valutazione del rischio sismico sono le Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC), emanate con decreto nel 2008. Per meglio comprendere questo impianto normativo bisogna prima di tutto definire il rischio, dato dalla seguente equazione:

$Rischio = Pericolosità\ sismica \times Esposizione \times Vulnerabilità\ sismica$   
dove:

- la pericolosità sismica indica l'attitudine del terreno sul quale insiste l'opera a essere soggetto a scuotimenti sismici. È data dall'accelerazione del suolo legata a un evento sismico che,

statisticamente, accade nel cosiddetto Periodo di Ritorno, che è espresso in anni e che è direttamente proporzionale alla violenza del sisma;

- l'esposizione indica l'influenza dell'opera a esporre al rischio persone o cose;
- la vulnerabilità sismica evidenzia l'attitudine dell'opera a danneggiarsi per effetto di uno scuotimento trasmesso dal terreno attraverso la struttura.

La progettazione degli impianti soggetti alle azioni sismiche deve riguardare:

- la verifica degli elementi strutturali che sostengono e collegano tra loro e alla struttura principale i diversi elementi funzionali costituenti l'impianto;
- la verifica dei sistemi di ancoraggio dell'impianto;
- gli elementi che costituiscono l'impianto.

L'azione sismica da considerare nella progettazione degli impianti di distribuzione dell'aria dipende dalla massa sismica dell'impianto e dall'accelerazione sismica prodotta sull'impianto da un sisma con intensità dipendente dal suo periodo di ritorno.

## La massa sismica

La cosiddetta "massa sismica" è l'insieme dei pesi dei componenti dell'impianto di cui si vuole determinare l'azione sismica, quali il peso proprio dei componenti della rete, del materiale coibente e degli staffaggi. A ciascun componente oggetto di verifica sismica compete la massa sismica che esso trasferisce a un elemento superiore della gerarchia di resistenza.

## L'accelerazione

Uno dei parametri principali che descrive l'azione sismica è l'accelerazione al suolo prodotta da un evento sismico con una determinata probabilità di ritorno, che si ottiene sulla base della "classificazione sismica" del territorio, rappresentata in Figura 1. Con l'Ordinanza OPCM 3274 del 20 Marzo 2003 e con la successiva Ordinanza OPCM 3519 del 28 Aprile 2006, il territorio italiano è stato classificato in 4 zone, dalla Zona 1 con massima sismicità alla Zona 4 con sismicità meno pericolosa, specificando per ogni area geografica il valore di accelerazione al suolo.

## Gli stati limite

Le Norme Tecniche sulle Costruzioni, le NTC 2008, definiscono le prestazioni richieste agli elementi rispetto all'azione sismica, che identificano gli stati limite nei confronti dei quali gli elementi devono soddisfare i seguenti requisiti (Par.2.1, NTC 2008):

- sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (SLU): capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone ovvero comportare la perdita di beni, ovvero provocare gravi danni ambientali e sociali, ovvero mettere fuori servizio l'opera;
- sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE): capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio.





Per ciascuno stato limite sono poi identificate due sottocategorie:

- per gli stati limite di esercizio, in riferimento alla costruzione nel suo complesso, compresi quindi gli elementi strutturali e quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti alla sua funzione:
  - stato limite di operatività (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso non deve subire danni e interruzioni d'uso significativi;
  - stato limite di danno (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali e orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.
- per gli stati limite ultimi:
  - stato limite di salvaguardia della vita (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali e impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali, cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali, conservando una parte della resistenza e della rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
  - stato limite di prevenzione del collasso (SLC): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali e impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali, conservando un margine di sicurezza per azioni verticali e un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

La Norma richiede che al crescere dello stato limite, da SLO fino a SLC, si utilizzi per la verifica una intensità sismica crescente, caratterizzata quindi da un sisma con periodo di ritorno  $T_R$  crescente. Per ciascuno stato limite quindi si devono definire:

- i componenti da verificare e le prestazioni da loro attese;
- il periodo di ritorno  $T_R$ , quindi l'intensità dell'azione sismica, con la quale verificare i componenti, che dipenderà anche dalla località geografica.

## GLI STATI LIMITE DEGLI IMPIANTI

Nel verificare gli impianti e in particolare le condotte aerauliche la NTC 2008 interviene su due livelli:

- controllo del livello di danno alle strutture, verificando lo stato limite di danno (SLD);
- controllo di tutti gli elementi costruttivi senza funzione strutturale, il cui danneggiamento può provocare danni a persone, e verifica dell'azione sismica, considerando anche le connessioni alla struttura, attraverso il concetto di stato limite di salvaguardia della vita (SLV).

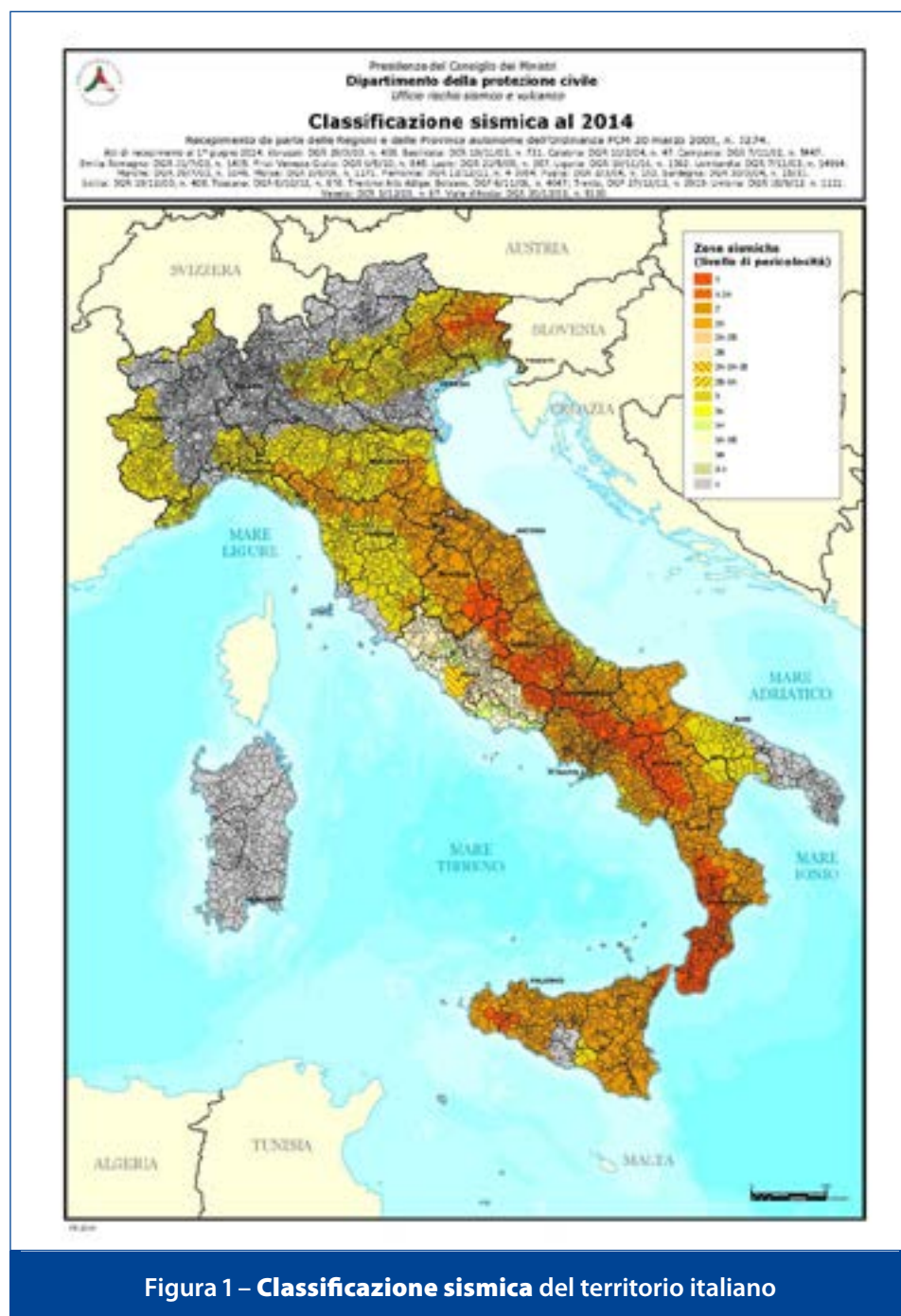


Figura 1 – Classificazione sismica del territorio italiano

Nei casi in cui sia necessario preservare la piena operatività dell'impianto è obbligatoria la verifica allo SLO. Una verifica dello SLV coinvolge la capacità portante di sostegni, ancoraggi e staffaggi delle reti di distribuzione dell'aria. Una verifica dello Stato Limite di Danno, SLD, quando si ammettano danneggiamenti reversibili, cioè non permanenti, coinvolge le flangiature tra sezioni di condotta, gli attacchi agli impianti fissi, l'integrità stessa dei pannelli costituenti la condotta, al fine di un pronto ripristino dell'impianto per proseguire l'esercizio. Infine la verifica allo SLO non ammette alcun danno ai componenti.

## LA CLASSIFICAZIONE DEGLI ELEMENTI NON STRUTTURALI

Le Norme internazionali e alcune Linee Guida nazionali hanno definito una classificazione degli elementi non strutturali. In particolare, come mostrato in Figura 2, la norma FEMA E-74 identifica:

- elementi architettonici, quali gli elementi non strutturali costruiti nella struttura dell'edificio e

facenti parte dell'edificio, le partizioni e i soffitti, le finestre i corpi illuminanti, i parapetti;

- sistemi impiantistici a servizio dell'edificio, ad esempio gli elementi non strutturali costruiti nella struttura dell'edificio facenti parte dell'edificio e gli equipaggiamenti meccanici ed elettrici e i relativi sistemi di distribuzione per ventilazione e condizionamento (HVAC), acqua, gas, elettricità;
- contenuti dell'edificio, quali gli elementi non strutturali appartenenti agli occupanti del fabbricato, computers e sistemi IT, cabinets e scaffalature di archivio o di magazzino scorte, librerie, cucine e qualsiasi altro oggetto che possa identificare problematiche e criticità in edifici a destinazione particolare.

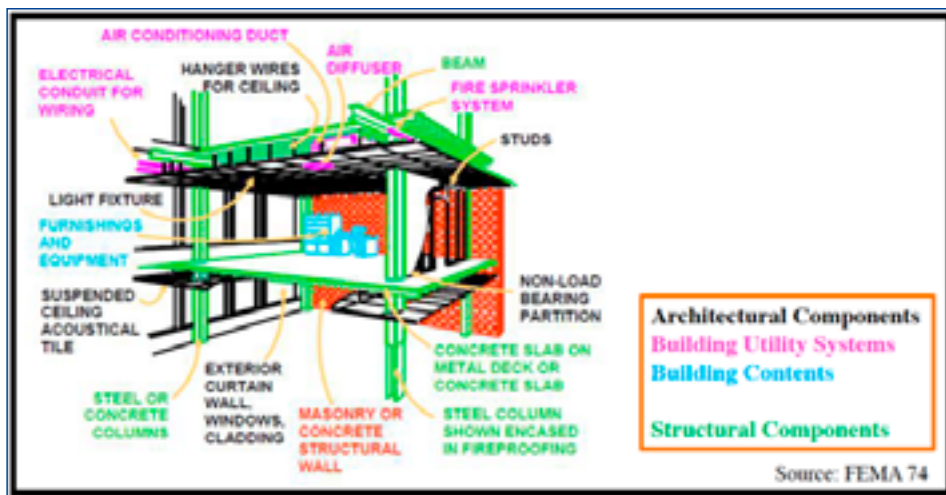


Figura 2 – Identificazione degli elementi non strutturali (FEMA E-74)

## IL COMPORTAMENTO DELLE CONDOTTE PREISOLATE

Durante un terremoto, la risposta dell'edificio induce forze e deformazioni nei componenti non strutturali, per cui questi componenti vanno protetti con ancoraggi, controventi e altri tipi di dispositivi atti a sopportare le forze orizzontali sismiche e le deformazioni imposte. In particolare, ancoraggi e controventi sono di solito fissati alle pareti o all'involucro protettivo esterno del componente.

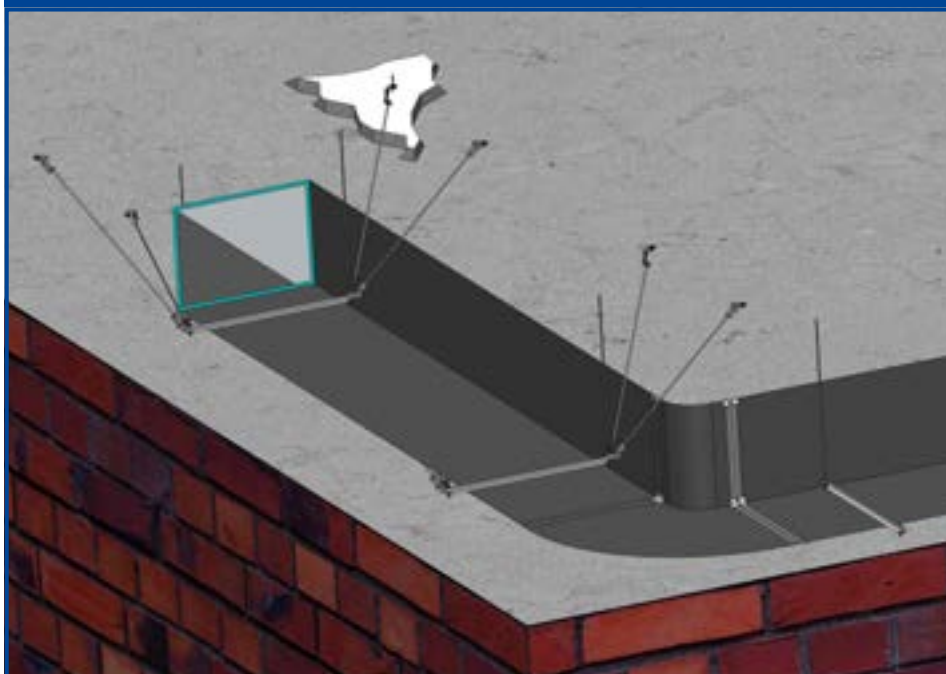
Il progetto sismico deve verificare che l'ancoraggio sia idoneo a resistere alle forze gravitazionali, ovviamente sempre presenti, e a quelle sismiche orizzontali e verticali e che la struttura di supporto, di solito la soletta di piano o il solaio di copertura oppure una parete, sia adeguata al supporto

dell'ancoraggio e sia in grado di resistere alle forze sismiche, che devono essere considerate lungo due direzioni ortogonali, generalmente lungo l'asse della condotta e trasversalmente a essa.

Il progetto sismico dei componenti deve considerare, oltre alle forze sismiche inerziali, anche le deformazioni indotte che possono essere causate da un movimento differenziale tra componenti connessi tra loro.

Il controventamento e l'ancoraggio per la protezione sismica non devono interferire né con altri requisiti delle normative di progettazione della struttura né con i requisiti di funzionamento del componente. Le condotte in alluminio preisolato sono particolarmente efficaci all'azione sismica e agli spostamenti differenziali grazie alla loro massa ridotta, pari da  $\frac{1}{5}$  fino a  $\frac{1}{10}$  della equivalente massa di condotte in lamiera; la leggerezza, unita alla maggior rigidità, determina una ridotta necessità di controventatura che può comunque essere risolta con il posizionamento di controventature diagonali e longitudinali.

Figura 3 – Vista di controventature per condotte aerauliche



## LE CONTROVENTATURE

L'adeguato controventamento previene il danneggiamento delle condotte sospese e quello delle connessioni tra le loro diverse sezioni e tra condotte e componente, oltre che il danno a componenti adiacenti, che può essere provocato da oscillazioni eccessive della condotta.

In linea generale si possono usare due tipi di controventature:

- con diagonali reagenti a trazione, da installare a coppie;
- con controventature rigide, che resistono anche a forze di compressione per le quali è sufficiente un elemento rigido diagonale in alternativa ad un telaio rigido.

In entrambi i casi la barra verticale che sostiene la condotta deve essere in grado di assorbire le forze di compressione che derivano dalle componenti verticali delle forze tensionali nei controventi. Se le forze sismiche non sono eccessive, la struttura orizzontale di supporto delle condotte può essere la stessa intelaiatura rigida costituita da staffe e montanti. La spaziatura tra due controventi laterali consecutivi deve considerare la resistenza della condotta e delle sue connessioni e quella dei controventi all'azione sismica derivante dalla massa controventata.

La controventatura delle condotte, mostrata in Figura 3, specialmente in direzione longitudinale, deve permettere gli eventuali spostamenti dovuti all'espansione e alla contrazione termica della condotta ed essere in grado di assorbirne le forze indotte.

## I REQUISITI MINIMI PER IL LAYOUT DELLE CONTROVENTATURE

Gli staffaggi delle condotte vengono determinati in funzione delle dimensioni della condotta, del suo peso e delle forze su essa agenti; alcuni staffaggi dovranno essere controventati al fine di sopportare le azioni sismiche orizzontali.

Dal punto di vista pratico, ciascun ramo rettilineo della condotta deve essere vincolato lungo la direzione longitudinale alla condotta e lungo la direzione trasversale alla direzione di quest'ultima; inoltre, dovrà essere garantita la resistenza del tratto di condotta tra un vincolo e il successivo.

Le norme FEMA P-414 2004 stabiliscono i requisiti minimi dei controventi:

- individuazione dei singoli tratti di condotta (run): la condotta viene suddivisa idealmente in tratti rettilinei tra un cambio di direzione e il successivo. In caso di piccoli disassamenti del tratto rettilineo, offset, si può considerare il tratto come unico se i disassamenti sono complessivamente minori di  $\frac{1}{16}$  dell'interasse tra le staffe;
- controventatura trasversale minima: la minima controventatura trasversale deve prevedere un controvento a ciascuna estremità del singolo tratto;
- controventatura trasversale necessaria: la controventatura trasversale deve essere in grado di

## ESEMPIO DI PREDIMENSIONAMENTO DELL'AZIONE SISMICA

Per un veloce predimensionamento degli ancoraggi dei controventi e degli interassi tra i controventi, sono disponibili Tabelle elaborate dal produttore con le seguenti assunzioni:

- verifica dello stato limite di salvaguardia della Vita (SLV) ai sensi delle NTC 2008;
- $T_a/T_1 = 1$ , caso più sfavorevole ai fini del dimensionamento;
- $Z = H/2$  condotta posta a metà altezza dell'edificio;
- $H = B$ .

Per  $S$  viene assunto il valore corrispondente a quello della categoria di suolo più sfavorevole.

Dette  $V_v$  e  $V_h$ , rispettivamente le forze di trazione e taglio, in daN o in kg, che vanno ad agire sul tassello come mostrato in Figura 4, nelle Figure 5 e 6 sono riportati a titolo di esempio due diagrammi relativi rispettivamente a un edificio ospedaliero e a un centro commerciale, ambedue in zona 1, che mostrano

l'andamento di  $V_h$  e  $V_v$ , in funzione dell'interasse tra i controventi, espresso in cm. Con tali valori si procede alla verifica del sistema di staffaggio appositamente studiato, composto da barra di sostegno, staffa orientabile, barra diagonale filettata e tasselli antisismici fissati a soffitto

Una volta note le azioni sismiche e gli interassi tra i controventi, si procede alle seguenti verifiche:

- Per le verifiche allo stato limite SLO, qualora siano richieste, si procede alla verifica della condotta tra due controventi soggetta ad una forza orizzontale equivalente a quella del vento, secondo le Tabelle di predimensionamento al vento fornite dal costruttore.
- Con le azioni sismiche SLV, in virtù della destinazione funzionale del fabbricato e della Zona Sismica, si procede al dimensionamento del controvento e degli ancoraggi soggetti a forza normale di trazione e taglio secondo i Manuali del costruttore.

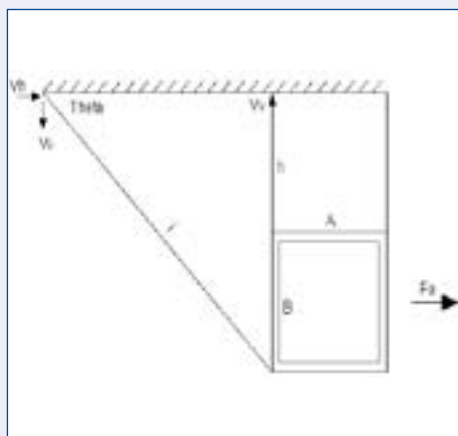


Figura 4 – Rappresentazioni delle forze di trazione  $V_v$  e taglio  $V_h$

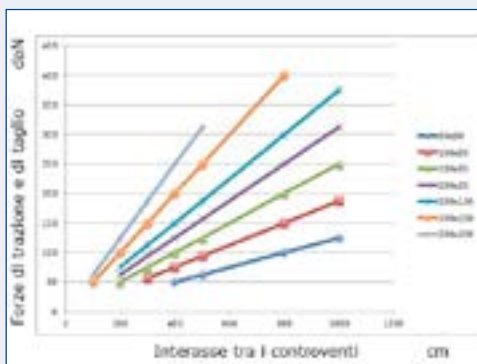


Figura 5 – Azioni di taglio e sforzo normale in funzione dell'interasse tra i controventi per Ospedale in Zona Sismica 1

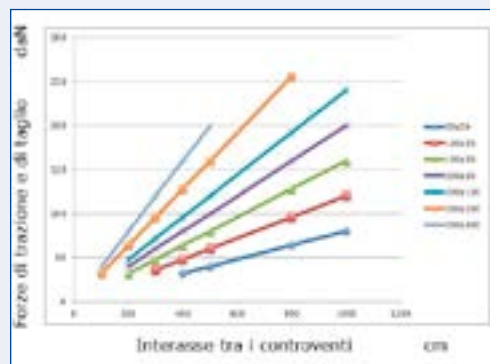


Figura 6 – Azioni di taglio e sforzo normale in funzione dell'interasse tra i controventi per Centro Commerciale in Zona Sismica 1

trasmettere ai punti di fissaggio le forze sismiche calcolate per la massa sismica tra due controventi; inoltre, il tratto di condotta deve essere in grado di trasferire le forze trasversali ai due controventi, valutando una pressione sulla condotta equivalente alla forza sismica;

- controventatura longitudinale minima: in ciascun tratto rettilineo deve essere presente almeno una controventatura longitudinale, dimensionata per l'azione sismica data dalla massa di tutto il tratto rettilineo di condotta. La controventatura trasversale al termine del tratto precedente può essere utilizzata anche come controventatura longitudinale del tratto successivo, avendo cura di dimensionarla correttamente per la somma delle forze sismiche; in generale, viene richiesto che la controventatura longitudinale sia presente almeno ogni due controventature trasversali del medesimo tratto, considerando una forza sismica relativa alla massa di condotta compresa tra l'interasse tra due controventi.

### IL CALCOLO DELL'AZIONE SISMICA SUGLI ANCORAGGI SECONDO le NTC 2008

Secondo le norme tecniche NTC 2008, la forza sismica da applicare agli impianti per la verifica dello Stato Limite SLV dei sistemi di controvento è valutata come descritto nel seguito.

Gli effetti dell'azione sismica sugli elementi dell'impianto possono essere determinati considerando una forza orizzontale  $F_a$ , definita come segue:

$$F_a = \frac{S_a \cdot W_a}{q_a}$$

dove  $W_a$  è il peso dell'elemento tra due controventi, il valore di  $q_a$  è in genere preso pari a 1 e  $S_a$  è dato dalla formula seguente:

$$S_a = \alpha \cdot S \cdot \left[ \frac{3 \cdot (1 + Z/H)}{1 + (1 - T_a/T_1)^2} - 0,5 \right]$$

in cui:

$\alpha$  = accelerazione sismica ottenuta in funzione della zona sismica e della funzione dell'edificio;

$Z$  = la quota dell'impianto dalla fondazione della costruzione;

$H$  = altezza della costruzione dalla fondazione;

$T_a$  = periodo fondamentale di vibrazione dell'elemento considerato dell'impianto;

$T_1$  = periodo fondamentale di vibrazione del fabbricato;

$S$  = termine che tiene conto del sottosuolo e della topografia del terreno.

Il progettista strutturale della costruzione potrà fornire agevolmente il valore di  $S$  e quello di  $T_1$ .

Si procede quindi alla verifica della ferramenta di controvento mediante le azioni calcolate. ■

\* Antonio Temporin, Direttore Tecnico P3 srl – Socio AiCARR  
Paolo Segala, CSPFea Ingegneria