

La corretta progettazione degli ancoranti in zona sismica

Nuovi criteri di qualificazione e progettazione europei

Michele Di Sario, Engineering Manager, Hilti Italia S.p.A.

Jorge Gramaxo, BU Anchors, Hilti Corporation, Liechtenstein

Memoria tratta dagli Atti del WORKSHOP CONNECTIONS IN PRECAST STRUCTURES – Università di Bergamo, 5 ottobre 2012”, per gentile concessione degli autori, dell’Università di Bergamo e dell’ ACI ITALY CHAPTER

ABSTRACT

Under seismic loading, the performance of a connection in a structure is crucial either to its stability or in order to avoid casualties and major economic impacts, due to the collapse of non-structural elements. In the United States the anchor seismic resistance shall be evaluated in accordance with ACI 318 Appendix D. Created in accordance with the ACI 355.2 regulated testing procedures and acceptance criteria ICC-ES AC193 and AC308, pre-qualification reports provide sound data in a proper design format. With the release of the new ETAG Annex E at the beginning of 2013, the seismic pre-qualification of anchors became regulated in Europe. Anchors submitted to these new test procedures will now also incorporate in the ETA (European Technical Approval) all the required technical data for seismic design. Until the release of the EN 1992-4, planned for 2015, EOTA TR045 (Technical Report) sets the standard for the seismic design of steel to concrete connections. Therefore, the design framework for the seismic design of anchors is already available through both the U.S. and European regulations.

1. PREMESSA

In tutto il mondo, le metodologie di progettazione sismica, non solo per applicazioni strutturali, ma anche per macchinari, impianti ed altri elementi non strutturali, hanno acquisito negli ultimi anni sempre più importanza. Questo è vero non solo per quelle aree notoriamente ad elevata sismicità quali Stati Uniti (costa ovest), Giappone, ecc., ma anche per territori come quello Europeo, che a dispetto di quanto si possa immaginare, ha registrato negli ultimi 30 anni diversi terremoti di magnitudo superiore a 5 (figura 1).

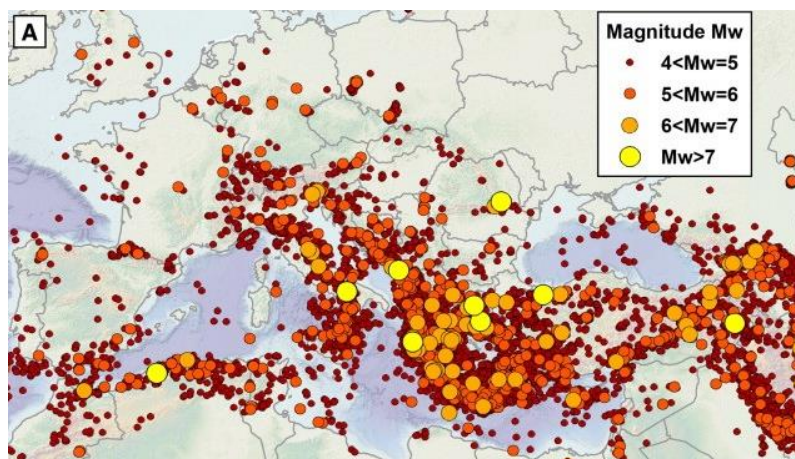


Figura 1. Distribuzione degli eventi sismici in Europa per il periodo 1976–2009 (Catalogo NEIC)

L'impatto sui costi economici e sociali connessi al collasso o interruzione di alcuni servizi e attrezzature quali sistemi di approvvigionamento idrico o linee per la telecomunicazione è di grandezza paragonabile ai costi associati ai cedimenti strutturali, se non maggiori. Secondo uno studio presentato alla Conferenza Nazionale sull'Ingegneria Antisismica a Boston nel 2002, per edifici strategici come ospedali, uffici e alberghi, i danni economici generalmente causati da un terremoto legati ad arredi e a parti non strutturali ammontano all'80% circa del totale.

1.1. L'influenza delle fessurazioni nel cls causate da un evento sismico

Un corretto approccio alla progettazione in condizioni sismiche, sia per elementi strutturali che non strutturali, non può prescindere dalle condizioni in cui il materiale base viene effettivamente a trovarsi durante il terremoto. La struttura in risposta al movimento del suolo subirà spostamenti e quindi deformazioni nei suoi elementi costitutivi. Queste deformazioni portano alla formazione e apertura di fessure negli elementi in calcestruzzo. Conseguentemente tutti gli ancoranti destinati a trasferire carichi sismici devono essere idonei per l'impiego in calcestruzzo fessurato e la loro progettazione deve essere basata sull'assunzione che le fessure nel materiale base abbiano cicli di apertura e chiusura per la durata del movimento del terreno.

Parti della struttura possono tuttavia essere sottoposte a deformazioni anelastiche estreme, come mostrato nella figura 2: nelle zone con armatura lo snervamento delle stesse barre e la variazione dell'ampiezza delle fessure possono provocare fratture di alcuni millimetri, come nelle zone di formazione delle cerniere plastiche. Le procedure di certificazione degli ancoranti attualmente non prevedono fessurazioni di tale entità. Per questo motivo, l'impiego di ancoranti nelle regioni in cui si prevede la creazione di cerniere plastiche deve essere evitata a meno che vengano prese apposite misure in fase di progettazione.

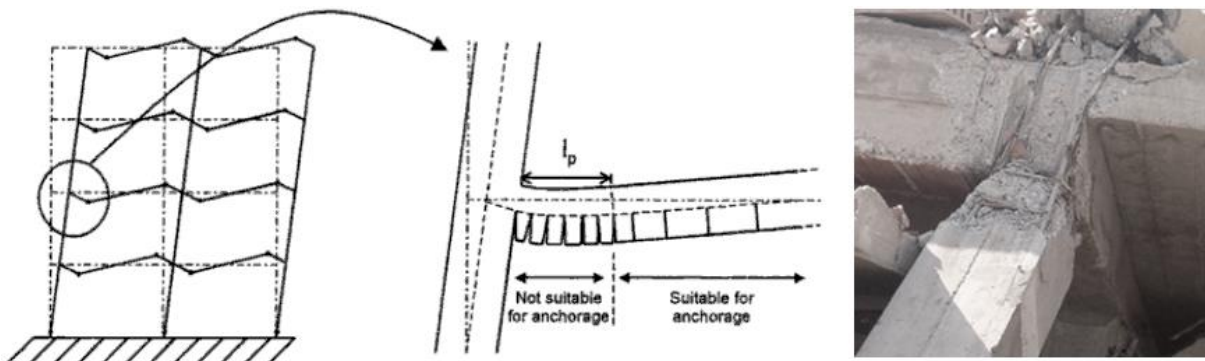


Figura 1.1. Fessurazione secondo il metodo della gerarchia delle resistenze (l_p = lunghezza della cerniera plastica)

1.2. Idoneità degli ancoranti per azioni di tipo sismico

Un ancorante adatto (certificato) per essere impiegato in un calcestruzzo comunemente definito fessurato, con fessure di 0,3 mm, non è conseguentemente idoneo a resistere ad azioni sismiche, ma rappresenta solo un punto di partenza.

Durante un evento sismico i carichi ciclici nella struttura e nell'ancoraggio avvengono simultaneamente. Ne consegue che l'ampiezza delle fessure varia tra un valore minimo e massimo ed i fissaggi saranno caricati ciclicamente. Test con procedure specifiche e criteri di verifica adeguati sono quindi necessari per valutare correttamente le prestazioni di un ancorante sottoposto ad azioni sismiche. Solo gli ancoranti certificati sulla base di tali requisiti saranno adatti per connessioni rilevanti per la sicurezza.

Ancoranti generalmente idonei per resistere ad azioni sismiche sono quelli a cui può essere data una coppia di serraggio controllata e mantenuta e sono in grado di ri-espandere quando si verifica la fessurazione. Sono altresì idonei gli ancoranti che hanno un meccanismo basato sulla tenuta attraverso ingranamento nel materiale base (meccanismo di resistenza “per forma”) come nel caso di ancoranti sottosquadro. Inoltre, in alcuni ancoranti chimici sono state riconosciute buone prestazioni per resistere alle azioni sismiche. Ancoranti ad espansione a controllo di spostamento dovrebbero essere evitati considerando che le loro prestazioni sotto azione sismica si sono dimostrate inadeguate.

La tabella 1 fornisce un quadro di massima dell'idoneità dei vari tipi di ancoranti a resistere alle azioni sismiche. Il livello di idoneità dipende in larga misura da quanto evidente sia la fessurazione nel calcestruzzo e dall'ampiezza delle fessure durante un terremoto. Le classificazioni mostrate si basano su una valutazione generale dei tipi di ancoranti non facendo riferimento ad un particolare prodotto o produttore.

Tipo di ancorante		Ancoranti a controllo di espansione	Ancoranti chimici	Viti per calcestruzzo	Ancoranti a controllo di coppia	Ancoranti chimici ad espansione	Ancoranti incamiciati a controllo di espansione	Ancoranti sottosquadro
Calcestruzzo fessurato con ampiezza di fessura, w	piccola ($w < 0.5\text{mm}$)	-	++	++	++	++	++	++
	media ($0.5 \leq w \leq 1.0\text{mm}$)	-	+	+	+	+	++	++
	grande ($w > 1.0\text{mm}$)	-	-	-	-	-	+	++

Tabella 1. Idoneità degli ancoranti per carichi sismici (- non idoneo, + limitatamente idoneo, ++ idoneo)

Si noti che la corretta valutazione della resistenza di un ancorante in presenza di carichi sismici deve sempre essere verificata consultando le certificazioni dell'ancorante stesso, essendo la tabella 2 una semplice guida per la generica individuazione delle caratteristiche e limitazioni di differenti tipologie di tasselli.

1.3. Influenza del gioco foro piastra-ancorante sulla resistenza a taglio

In condizione di azioni di taglio, se il carico agente supera l'attrito tra il calcestruzzo e la piastra di ancoraggio, la conseguenza sarà lo slittamento dell'elemento fissato in misura pari al vuoto anulare presente all'interno del foro della piastra. Le forze sull'ancorante sono amplificate per un effetto martello risultante dall'improvviso arresto contro il bordo del foro della piastra (figura 1.3.a). Questo giustifica la raccomandazione della nuova linea guida europea di evitare nel caso di progettazione sismica il vuoto anulare tra il foro dell'elemento fissato e l'ancorante.

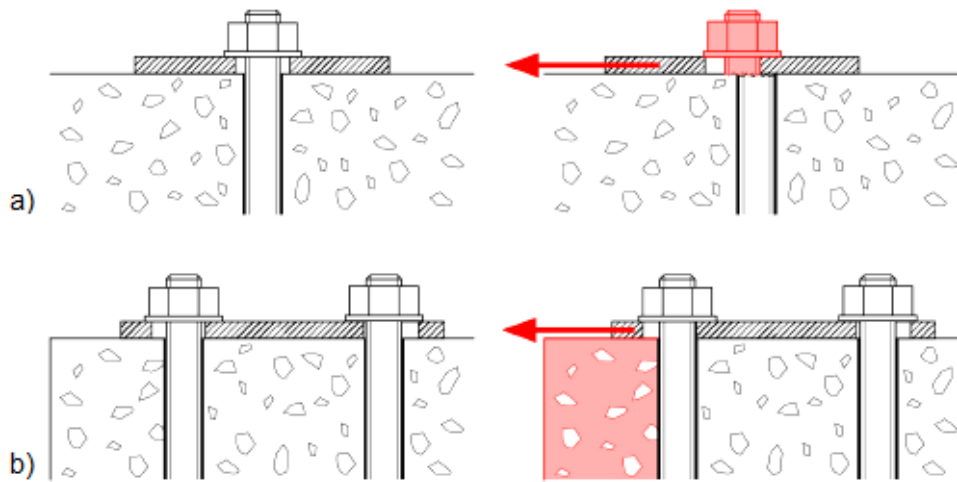


Figura 1.3. Principali possibili conseguenze in presenza di vuoto anulare

Inoltre, quando si esegue un fissaggio con più ancoranti, si deve assumere che, a causa del gioco lasciato all'interno dei fori della piastra d'acciaio, il carico di taglio potrebbe non essere distribuito equamente tra tutti gli ancoranti. In una situazione sfavorevole, quando gli ancoranti sono posizionati in prossimità di uno spigolo di un elemento strutturale, solo gli ancoranti più vicini al bordo dovrebbero essere considerati caricati e questo potrebbe portare alla rottura del bordo di calcestruzzo prima che gli ancoranti più lontani possano partecipare al trasferimento del carico (figura 1.3.b).

Eliminando il gioco foro piastra-ancorante, riempiendo ad esempio il vuoto all'interno del foro piastra con della resina, si controllano gli effetti sopra indicati con grande beneficio per le prestazioni dell' ancoraggio. L'utilizzo di dispositivi tipo Hilti Dynamic Set (figura 1.4) garantisce un riempimento controllato del vuoto anulare e previene l'allentamento del dado di serraggio comprendendo anche un dado di contrasto, conformemente alla chiara raccomandazione prevista dalla linea guida europea per la progettazione sismica (EOTA TR045). Sempre secondo la stessa linea guida, nel caso in cui si possa garantire l'assenza tra il vuoto tra il foro piastra e l'ancorante, la resistenza sismica dell'ancorante a taglio è raddoppiata rispetto alla condizione di fori piastra non riempiti.

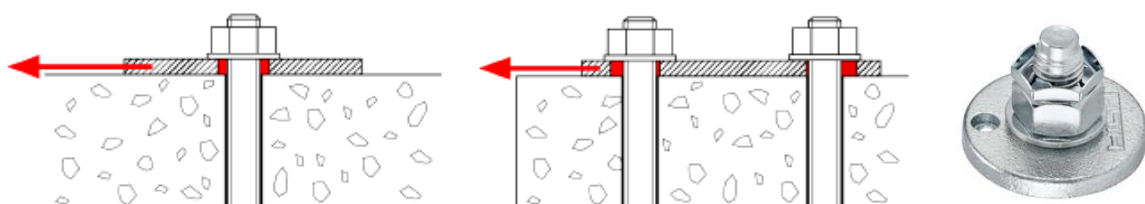


Figura 1.4. Benefici del riempimento dei fori piastra e Hilti Dynamic Set

2. Normativa sismica Statunitense ed Europea

Per l'adeguata progettazione sismica di un ancorante post-installato il primo passo inizia con la corretta definizione dei carichi agenti. Negli Stati Uniti l'ASCE 7 stabilisce i metodi per la definizione dell'azione sismica, mentre le prestazioni di un ancorante devono essere valutate in accordo con l'ACI318 Appendix D e l' AC308 nel caso di ancoranti chimici. I documenti di pre-qualifica, redatti in conformità alle procedure di test e criteri di accettazione pubblicati (ACI 355.2

con ICC-ES AC193 e AC308), forniscono dati validi ed organizzati appositamente per la progettazione.

Seguendo lo stesso procedimento di progettazione, in Europa, la definizione delle azioni è valutabile attraverso la EN 1998:2004 (Eurocodice 8). Fino al rilascio della EN 1992-4, in programma per il 2015, il Technical Report 045 (TR045) redatto dall'EOTA fissa lo standard per la verifica sismica di una connessione acciaio calcestruzzo. Questo documento è allineato all' ETAG 001 Annesso E, la nuova linea guida europea per la definizione dei test di pre-qualifica sismica di ancoranti. Ne consegue che il quadro europeo è oggi finalmente armonizzato e consente la progettazione di un ancorante post-installato in condizioni sismiche.

La Tabella 2 dà una visione dei campi di applicazione delle diverse linee guida o norme sopra citate. I metodi di progettazione presentati rappresentano lo stato dell'arte per la sperimentazione dei fissaggi e progettazione di ancoranti per calcestruzzo a livello mondiale. Si noti che anche se non tutti, la maggior parte dei paesi del mondo fanno riferimento ad uno di questi metodi per la progettazione di ancoranti.

	Stati Uniti	Europa
Definizione dei carichi	ASCE 7	EN 1998-1:2004
Resistenza di progetto	ACI 318 Appendix D AC308	EOTA TR045
Dati tecnici	ICC-ESR	ETA
Criteri di pre-qualifica	ACI 355.2 con ICC-ES AC193/AC308	ETAG 001, Annex E

Tabella 2. Inquadramento normative per la progettazione sismica degli ancoranti

2.1. Definizione dell'azione sismica

Il punto di partenza per la definizione delle azioni sismiche è lo spettro sismico di progetto. Nel caso degli Stati Uniti si fa riferimento ad una categoria sismica di progetto (SDC) e lo spettro sismico di progetto si ottiene mappando l'accelerazione massima (breve periodo, 0.2s) e quella per periodo di 1,0s, mentre in Europa la pericolosità sismica è definita dall'accelerazione di picco al suolo (PGA) e nessuna SDC è stabilita. Vi è tuttavia una chiara definizione di sismicità bassa e molto bassa, basata sull'accelerazione di progetto al suolo, e nel caso si rientri nella sismicità molto bassa non occorre considerare alcun particolare criterio di verifica.

L'influenza della tipologia di suolo è considerata in entrambi i metodi mediante un coefficiente basato sulla correlazione tra le classificazioni del suolo considerando i limiti di velocità di propagazione delle onde di taglio e la descrizione del suolo. Basato sul rischio associato ad una impropria prestazione sismica, la classificazione degli edifici è definita nello stesso modo da entrambi le normative, ed i corrispondenti coefficienti di importanza sono assegnati con valori simili (anche se in fasi differenti del metodo di progettazione).

Considerando quanto sopra menzionato, ci si aspetterebbe che le equazioni per ricavare lo spettro sismico di progetto siano diverse tra le due metodi ma, considerando una classe di importanza dell'edificio ed un tipo di terreno equivalenti, la forma risultante e l'accelerazione spettrale sono molto simili. Semplificando, si può dire che matematicamente i due modelli puntano a differenti coordinate dello spettro di progetto (Fig. 2.1.). Si noti che lo spettro di risposta di progetto secondo l'ASCE7 non contempla l'influenza dell'importanza dell'edificio (considerata successivamente nella

progettazione) e pertanto il confronto è effettuato considerando lo spettro risultante volutamente scalato di questo coefficiente.

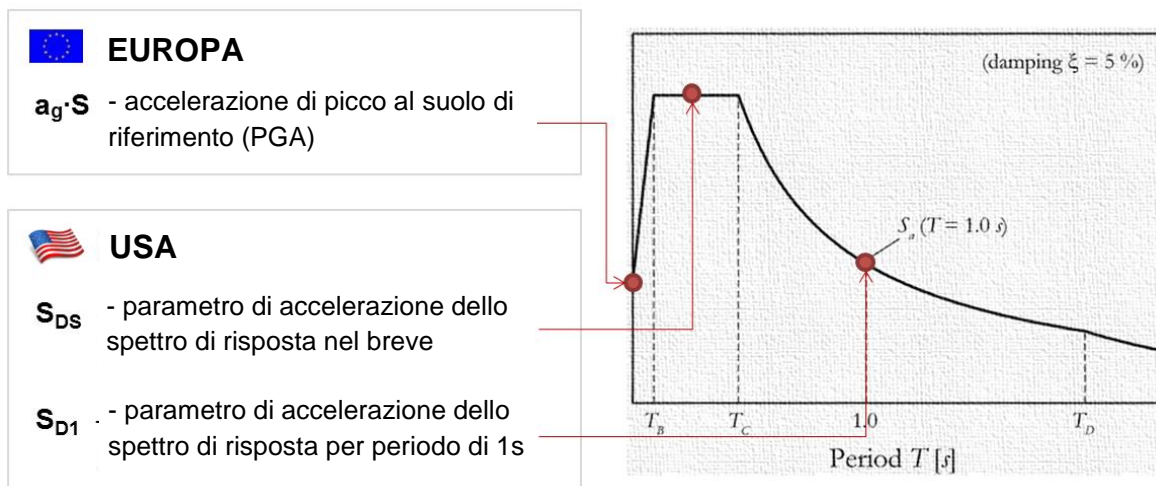


Figura 2.1. Spettro di risposta di progetto secondo Eurocodice 8 ed ASCE 7

Un ulteriore confronto è stato effettuato tra la forza di taglio sismica di base calcolata usando la EN1998-1: 2004 e la ASCE7. Valutando le diverse espressioni per alcune applicazioni pratiche delle due norme si può affermare che i valori sono decisamente coincidenti. Dalla forza di taglio sismica di base possono essere utilizzati diversi metodi ben noti per determinare il carico agente ad ogni quota della struttura.

Inoltre, confrontando gli spettri sismici di progetto risultanti per classi di importanza e tipologie di suolo equivalenti (con S il coefficiente del tipo di suolo), è possibile correlare il grado di sismicità europea con la categoria sismica di progetto americana, come espresso nella Tabella 3.

EN 1998-1:2004 (Eurocodice 8)		ASCE7	
Grado di sismicità	Conseguenze sulla progettazione	SDC	Conseguenze sulla progettazione
Molto bassa $a_g \cdot S \leq 0.05 \cdot g$	Non occorre osservare particolari prescrizioni sismiche	A	Non occorre osservare particolari prescrizioni sismiche
Bassa $a_g \cdot S \leq 0.1 \cdot g$	Uso di procedure di progetto ridotte o semplificate	B	
$a_g \cdot S > 0.1 \cdot g$	Progettazione sismica obbligatoria per tutti gli elementi	C a F	Progettazione sismica obbligatoria per tutti gli elementi

Tabella 3. Confronto tra grado di sismicità europeo e categoria sismica di progetto (SDC) per classi di importanza I, II, III

Come unica importante eccezione alla Tabella 3.1, in caso di un edificio di classe di importanza IV e un grado di sismicità bassa o superiore la corrispondente categoria sismica di progetto è C o superiore. Ciò significa che per edifici che, nel caso di collasso potrebbero rappresentare un sostanziale pericolo per l'ambiente o la comunità (ad esempio ospedali, caserme dei pompieri, centrali energetiche), il progetto deve prevedere tutte le particolari prescrizioni sismiche.

2.2. Resistenza sismica di progetto degli ancoranti

Le prescrizioni di progetto per il dimensionamento degli ancoranti a sisma sono definite dall'ACI 318 Appendix D o dal recente EOTA TR045. Entrambi i regolamenti per la progettazione prevedono il metodo Concrete Capacity (metodo della capacità del calcestruzzo) per calcolare le resistenze caratteristiche degli ancoranti. Le differenze tra le due norme si evincono nelle assunzioni alla base delle equazioni di progetto che in parte danno luogo a diversi coefficienti. Secondo il metodo CC le resistenze di progetto sono calcolate per carico di trazione e taglio considerando tutte le possibili modalità di rottura.

Tutti i concetti di sicurezza discussi calcolano le resistenza e le sollecitazioni basandosi su coefficienti di sicurezza parziali. Il principale requisito per la progettazione con le normative discusse è che la sollecitazione fattorizzata E sia minore o uguale alla resistenza R fattorizzata (Eqn. 2.1.). Entrambe i metodi fattorizzano la sollecitazione caratteristica E_k con il coefficiente parziale di sicurezza γ (Eqn. 2.2.).

$$E_d \leq R_d \quad (\text{Eqn. 2.1})$$

$$E_d = E_k \cdot \gamma \quad (\text{Eqn. 2.2})$$

Per la resistenza caratteristica vi è una differenza concettuale poiché la norma europea divide la resistenza caratteristica R_k con un coefficiente parziale di sicurezza γ (Eqn. 2.3.) mentre quella americana moltiplica la resistenza caratteristica R_k con un coefficiente riduttivo della resistenza ϕ (Eqn. 2.4.). L'effetto di questi coefficienti è comunque lo stesso riducendo il valore caratteristico al livello di quello di progetto. La resistenza di progetto R_d è generalmente molto simile per tutte le modalità di rottura indipendentemente dalla normativa adottata.

$$R_d = R_k / \gamma \quad (\text{Eqn. 2.3})$$

$$R_d = \phi \cdot R_k \quad (\text{Eqn. 2.4})$$

Come per la nuova linea guida di progettazione europea, EOTA TR045, la progettazione incorpora tre approcci progettuali di seguito descritti. Si noti che tutti e tre gli approcci sono accettabili nell'ambito della relativa condizione di applicazione. La tabella 4 fornisce una panoramica di queste diverse opzioni di progetto.

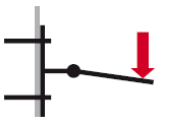
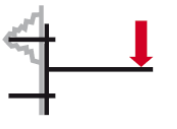
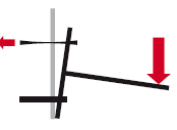
	<p>a1) Progetto al limite della capacità</p> <p>L'ancoraggio è progettato per la forza corrispondente allo snervamento del component duttile o, se inferiore, alla massima forza che può essere trasferita dalla piastra o dall'elemento fissato.</p>
	<p>a2) Progetto al limite elastico</p> <p>L'ancoraggio è progettato per il massimo carico assumendo una comportamento elastico del fissaggio e della struttura.</p>
	<p>b) Progetto con requisiti di duttilità dell'ancorante</p> <p>Questa progettazione per rottura duttile dell'acciaio richiede un ancorante classificato come duttile. Applicabile solo per la componente di trazione necessita l'osservanza di diverse prescrizioni al fine di garantire che la modalità di rottura sia il cedimento dell'acciaio.</p>

Tabella 4. Approcci di progetto sismici previsti dalla linea guida europea TR045

Si noti che l'ACI 318 considera anch'esso i tre approcci progettuali che sono concettualmente identici a quelli presentati dalla EOTA TR045. La differenza principale, che tuttavia ha le stesse intenzioni di base, deriva dal fatto che "la progettazione elastica", definita secondo linea guida europea ha un approccio differente nella normativa americana. Nell'ACI 318 questo approccio di progetto considera i carichi derivanti da una normale progettazione sismica (non elastica) e introduce un coefficiente riduttivo (consigliato pari a 0,4) applicato direttamente su tutte le modalità di rottura del calcestruzzo. È opinione degli autori che le nuove norme europee hanno reso gli approcci di progetto più chiari rispetto all'interpretazione dell'ACI 318.

2.3. Valutazione della prestazione sismica dell'ancorante

Per testare gli ancoranti nel calcestruzzo devono essere considerate tre diverse linee guida. Negli Stati Uniti l'ACI 355.2 comprende le prove di ancoranti meccanici post-installati sotto carico statico e sismico e prescrive il programma di test ed i requisiti per la valutazione degli ancoranti meccanici post-installati destinati all'utilizzo in calcestruzzo e seguendo le prescrizioni di progetto dell'ACI 318. Questa linea guida è la base per i criteri di accettazione AC193 e AC308 dalla International Code Council (ICC). Mentre l'AC193 comprende le prove di ancoranti meccanici, l'AC308 comprende i test e la progettazione di ancoranti chimici.

Facendo riferimento alle principali procedure di prova, gli ancoranti vengono installati in una fessura chiusa che poi viene aperta fino a 0,5 mm. Gli ancoranti testati sono quindi soggetti ad una specifica variazione di carico sinusoidale, utilizzando una frequenza di carico compresa tra 0.1 e 2Hz, come esposto in Fig. 2.2. La massima sollecitazione di trazione e taglio testata è pari al 50% della capacità media in calcestruzzo fessurato ottenuta da prove di riferimento.

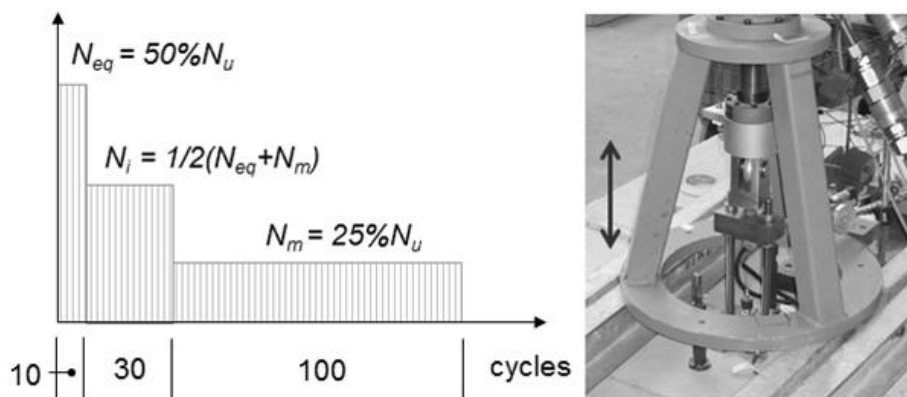


Figura 2.2. Schema di carico per simulare un test sismico a trazione in accordo all'ACI355.2

Dopo aver eseguito i cicli di simulazione sismica a trazione e a taglio, gli ancoranti sono testati a rottura per trazione e taglio statici. La tensione residua media e la capacità di taglio sono valutate secondo i limiti definiti dalla linee guida.

In Europa l'ETAG 001 è valida per le prove di ancoranti meccanici post-installati (da Parte 1 a Parte 4) e ancoranti chimici (Parte 3). Con la pubblicazione della ETAG 001 Allegato E, la prequalifica sismica degli ancoranti è stata regolamentata anche in ambito europeo. L'idoneità di un ancorante per azioni di tipo sismico viene valutata secondo due differenti categorie sismiche (C1 e C2) in funzione della gravosità dei test:

- **Categoria sismica C1:** simile alla procedura di prequalifica sismica americana e adatta solo per applicazioni non strutturali.

- **Categoria sismica C2:** test sismici con variazioni di ampiezza delle fessure e adatta per applicazioni strutturali e/o non strutturali.

Mentre la categoria sismica C1 è analoga alla procedura di prequalifica sismica americana, la categoria sismica C2 comporta una serie di prove in cui, oltre alla ciclicità del carico, è presa in considerazione anche la variabilità di apertura della fessura fino ad una ampiezza massima di 0,8 mm.

Il risultato dei nuovi test secondo linee guida europee consentono di ottenere nuove certificazioni ETA attraverso le quali condurre correttamente la progettazione. Il TR045, in uscita quest'anno, rappresenta attualmente l'unico strumento in ambito europeo che consente al progettista di eseguire la verifica sismica di un ancorante.

Elementi non strutturali			Elementi strutturali		
Accelerazione sismica	Classe di importanza II o III	Classe di importanza IV	Accelerazione sismica	Classe di importanza II o III	Classe di importanza IV
< 0.05g	Non rilevante		< 0.05g	Non rilevante	
0.05g - 0.1g	C1	C2	0.05g - 0.1g	C2	
> 0.1g	C2		> 0.1g	C2	

Costruzioni di classe I > 0.05g richiedono C1 | Gli stati membri possono scegliere di adottare differenti raccomandazioni

Classe di importanza II o III

Costruzioni ordinarie e costruzioni di importanza legata alle conseguenze del crollo (scuole, cinema, musei, etc.)

Classe di importanza IV

Costruzioni la cui integrità è di vitale importanza per la protezione (ospedali, caserme vigili del fuoco, centrali nucleari, etc.)

Tabella 4 – Definizione delle categorie sismiche C1 e C2 secondo il TR045

In termini pratici, secondo l'EOTA TR045, per $a_g \cdot S$ maggiore a 0.05g, gli ancoranti destinati a connessioni tra elementi strutturali principali o membrature sismiche secondarie devono sempre avere categoria sismica C2. Per ancoranti utilizzati nel fissaggio di elementi non strutturali, se l'accelerazione $a_g \cdot S$ è compresa tra 0.05g e 0.10g allora si può utilizzare una categoria sismica C1. Si prega di notare che queste sono raccomandazioni generali che gli stati membri possono modificare a livello locale.

3. Conclusioni

Le pubblicazioni dell'ETAG001 Annesso E e del TR045 colmano un importante gap di natura tecnica a livello europeo e aiutano i professionisti a seguire un approccio unico partendo dalla definizione dei carichi (Eurocodice 8 e/o normative nazionali), passando per la scelta di prodotti certificati (ETA con categoria C1/C2), fino all'applicazione del metodo di calcolo (TR045), il tutto nell'ottica di ridurre quei fattori di pericolosità all'interno di una struttura (ospedali, uffici, teatri, etc.)

che durante un terremoto rappresentano spesso la reale causa di danni in termini economici e di vite umane.

E' ora responsabilità dei produttori di ancoranti fornire ai progettisti i dati per la progettazione sismica secondo le nuove procedure di prova europee. L'essere sempre all'avanguardia da parte di Hilti, è confermato con l'ottenimento delle prime certificazioni ETA per la categoria sismica C2, ottenute lo scorso marzo per il sistema ad iniezione Hilti HIT-HY 200-A (ETA-12/0006) e lo scorso giugno per l'ancorante meccanico HST (ETA-98/0001).

Bibliografia

- American Concrete Institute (2008). ACI 318-08 Appendix D, Building Code Requirements for Structural Concrete - Anchoring to Concrete. United States of America.
- American Concrete Institute (2007). ACI 355.2, Qualification of Post-Installed Mechanical Anchors in Concrete. United States of America.
- American Society of Civil Engineers (2005). ASCE 7-05, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. United States of America.
- Applied Technology Council (2008). ATC-69, Reducing the risks of nonstructural earthquake damage. California. United States of America.
- Eligehausen R., Mallee, R. and Silva, J.F. (2006). Anchorage in Concrete construction. Ernst & Sohn. Berlin.
- European Committee for Standardisation (2004). EN 1998:2004, Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance. Brussels. Belgium.
- European Organization for Technical Approvals (2013). EOTA TR, Design of Metal Anchors Under Seismic Actions. Brussels. Belgium.
- European Organization for Technical Approvals (2013). ETAG 001 Annex E, Assessment of metal anchors under seismic actions. Brussels. Belgium.
- Gramaxo, J. (2012). Engineering judgement on the use of American's anchor performance provisions along with the European seismic action definition. 15th World Conference Earthquake Engineering. Portugal.
- Hilti Corporation (2013). Build a future safer from earthquakes: New EU guidelines. Schaan. Liechtenstein.
- Hilti Corporation (2011). Build a future safer from earthquakes. Schaan. Liechtenstein.
- Hilti Corporation (2004). Guideline for earthquake resistant design of installations and non-structural elements. Schaan. Liechtenstein.
- Höhler, M, S. (2006). Behavior and testing of fastenings to concrete for use in seismic applications. Doctor Thesis. University of Stuttgart.
- ICC Evaluation Service, Inc. (2011). AC 193, Acceptance Criteria for Mechanical Anchors in Concrete Elements. United States of America.
- ICC Evaluation Service, Inc. (2011). AC 308, Acceptance Criteria for Post-Installed Adhesive Anchors in Concrete Elements. United States of America.
- Tonning, K. (2009). Design of High-rise Onshore Steel and Reinforced Concrete Structures for Earthquake Resistance. University of Stavanger. Norway.