

Il Decreto Ministeriale 14.09.2005

Norme tecniche sulle costruzioni: dal collaudo al monitoraggio

Massimo CHILLEMI, Luigi GIACOBBE¹

DRP Facoltà di Ingegneria Università di Messina, 0903977208, massimochillemi@tingegneria.unime.it,
studiogiacobbe@tiscali.it

Riassunto

Il Testo Unico delle Norme Tecniche per le Costruzioni di recente emanazione affronta per la prima volta in modo organico il tema del monitoraggio delle strutture, che, per definizione, procedure operative e finalità è un'operazione distinta dal collaudo.

Quest'ultimo è legato ad un particolare momento del processo costruttivo, di cui deve certificare il raggiungimento degli obiettivi prefissi e si esaurisce con il pronunciamento di un giudizio di stabilità, mentre il monitoraggio, inteso come una procedura di registrazione continua di parametri sensibili, può essere esteso anche all'intero arco di vita utile della struttura.

Con la presente nota si intende dare un contributo al corretto approccio alla tematica attraverso una proposta di definizione del grado di sicurezza, la precisazione dei termini "collaudo" e "monitoraggio" ed il commento dei punti salienti del Testo Unico, evidenziando come la predisposizione di un progetto del controllo rientri a pieno titolo nell'ambito d'eccellenza della Topografia di Alta Precisione.

Abstract

The Unified Body of Laws Technical Norms for the Constructions recently issued deals for the first time in organic way with the theme of the checking of the structures, that, for definition, operational procedures and finality is an operation distinguished by the testing.

This last one is tied up to a particular moment of the constructive trial, of which it has to certify the attainment of the appointed objectives and it exhausts him with the pronouncement of a judgment of stability, while the checking, understood as a procedure of continuous recording of sensitive parameters, can be also wide to the whole arc of useful life of the structure.

With the present note the Authors want to give a contribution to the correct approach to the thematic one through a proposal of definition of the safety degree, the precise statement of the terms "testing" and "checking" and the comment of the salient points of the Unified Body, underlining as the plan of the checking and testing operations falls to full title within the excellence of the Topography of Tall Precision.



Figura 1

1. Premessa

Il Decreto licenziato dal Consiglio dei LL.PP. nell'Assemblea Generale del 30.04.2005 rappresenta una grossa novità per il costruire in genere, ed una sorta di rivoluzione per quanto attiene il giudizio di stabilità di un'opera d'Ingegneria.

Infatti nell'introduzione il Ministro Ing. Pietro Lunardi chiarisce che "il sentimento della sicurezza nei riguardi della pubblica incolumità e la conservazione del patrimonio edilizio con particolare attenzione per quello storico-monumentale è diffuso in tutto il Paese e nei vari livelli della

¹ Il contributo dei due Autori alla stesura del presente articolo è da intendersi paritetico.

popolazione. Per tale motivo il Testo Unico ha dedicato particolare enfasi ai problemi della Sicurezza sia delle nuove costruzioni sia di quelle esistenti”.

Il concetto espresso dal Ministro trova puntuale riscontro nel corpo del decreto ed in particolare lega il grado di sicurezza al concetto di monitoraggio, che è ben diverso da quello di collaudo.



Figura 2



Figura 3

2. Il grado di sicurezza

Le principali grandezze che consentono di esprimere il grado di sicurezza di un'opera d'Ingegneria Civile sono le sollecitazioni **S** e le resistenze **R**.

Considerati i fattori casuali che generano le une e le altre, sia le **R** che le **S** vengono descritte come variabili aleatorie. Il grado di sicurezza si esprime attraverso due indici:

- a) il fattore di sicurezza $\gamma = \frac{R}{S}$
- b) il margine di sicurezza $\mu = R - S$

ed in particolare per $\gamma > 1$ e $\mu > \phi$ il giudizio di stabilità è positivo.

Dal momento che R ed S sono variabili casuali anche γ e μ saranno dello stesso tipo ed è possibile dire che il grado di sicurezza di una struttura è quella particolare “grandezza di stato” la cui misura è esprimibile attraverso la probabilità di rovina della stessa:

$$P_R = P(\gamma < 1)$$

$$P_R = P(\mu < \phi)$$

mediante la comparazione dei dati sperimentali con i valori teorici, che competono alla struttura nella particolare condizione del confronto. L'operazione potrebbe essere condotta attraverso l'analisi dello stato tensionale o lo studio delle deformazioni; nel primo caso si confronterà lo stato di sollecitazione di esercizio con quello teorico, nel secondo il confronto avverrà tra le deformazioni reali e quelle teoriche.

Considerato però che la misura delle tensioni non è tra le più facili e che risente moltissimo le disomogeneità locali, si preferisce ricorrere al confronto mediante la misura delle deformazioni, la cui analisi peraltro consente di avere una visione globale del comportamento dell'opera. Avendo identificato il grado di sicurezza di un'opera con la sua Probabilità di Rovina, bisogna prendere coscienza che si è valicato il confine oltre il quale non esistono risposte certe e l'incertezza assume dignità di grandezza divenendo il principale qualificatore della misura.

3. Collaudi, controlli e monitoraggi: definizione delle operazioni

Prima di passare ad un commento dettagliato della nuova normativa, è bene soffermarsi sulle espressioni di collaudo, controllo e monitoraggio che data la loro similitudine operativa, vengono frequentemente utilizzati in modo improprio.

In particolare con il termine di Collaudo Statico di un'opera si definiscono quel complesso di operazioni tecniche atte ad esprimere un giudizio di stabilità tenuto conto della qualità dei materiali utilizzati, delle dimensioni dell'opera e delle deformazioni che si verificano sotto i carichi di controllo.

Il collaudo, come il progetto e l'esecuzione, è una fase della realizzazione di un'opera, in particolare è quella fase dal cui esito ne dipende l'immissione in esercizio.

Nell'ambito del collaudo si esplicano le operazioni di confronto dei dati sperimentali con i valori teorici; il rilevamento dei dati sperimentali, siano essi tensionali ovvero di posizione, può avvenire attraverso un controllo ovvero mediante monitoraggio.

In particolare, il controllo è una raccolta di dati sperimentali la cui caratteristica è quella di essere limitata al tempo necessario per esprimere un giudizio di stabilità. Il progetto delle misure di un controllo non è in genere connesso al progetto dell'opera, in quanto l'operazione avviene ad opera strutturalmente ultimata o per collaudarla ex novo, ovvero per un comportamento improvvisamente anomalo.

E' importante precisare che, mentre nel primo caso il cantiere delle misure è quasi sempre facilmente organizzabile, nel secondo è necessario adattarlo alla situazione dei luoghi e alla nevrastenia derivante da un'opera che perde stabilità.

Il termine di Monitoraggio definisce un'operazione di misura la cui caratteristica principale è quella di registrare dati sperimentali (spostamenti, tensioni, pressioni o altro) durante tutta la vita utile dell'opera.

Si comprende sin d'ora che il monitoraggio è un vero e proprio progetto che nasce con l'opera stessa in quanto ne è parte integrante e fisiologica che determina naturalmente sia il giudizio di stabilità al momento del collaudo, sia il mantenimento di esso durante l'esercizio.



Figura 4: collaudo statico di un solaio con serbatoio flessibile per simulazione carico ripartito

Le fasi attraverso cui si articola un progetto di monitoraggio sono le seguenti:

- 1) Conoscenza generale del problema strutturale: è necessaria una definizione generale di cosa si vuole monitorare e l'ambito in cui verrà insediata la rete di controllo. Senza scendere nel dettaglio, si comprende bene che monitorare una struttura edile è cosa ben diversa del monitorare un fronte di frana.
- 2) Individuazione dei punti significativi in cui determinare le letture dei valori: considerato che è impossibile eseguire misure su tutti i punti dell'opera, di norma si eseguono misure su quelli più rappresentativi al fine di leggere meglio il comportamento globale. La scelta di questi punti dipende in genere da:
 - facilità del riscontro del segnale
 - accessibilità per installazione
 - dimensione dell'opera
 - entità dei movimenti prevedibili
 - strumentazione utilizzataIn ogni caso l'assemblaggio generale rientra in un problema generale di rapporto Benefici-Costi, da cui non si può mai prescindere.
- 3) Conoscenza delle caratteristiche di deformazione e delle direzioni significative di movimento; in termini di posizionamento va simulata la rete di controllo affinché le ellissi standard dei punti controllati siano compatibili con le effettive dimensioni e direzioni degli spostamenti.

- 4) Scelta del Sistema di riferimento globale: i valori delle grandezze oggetto di controllo, ed in particolare i valori degli spostamenti devono essere riferiti ad un unico sistema di riferimento, la cui caratteristica deve essere quella della stabilità. Si tratta di una condizione non sempre facilmente raggiungibile, ma va ricercata anche informando più sistemi di riferimento fissi ed esterni all'opera.
- 5) Scelta della strumentazione, valutazione della minima condizione di rischio e programmazione del sistema di allarme: dalla simulazione della rete di controllo derivano le ellissi standard di ogni singolo punto e conseguentemente la scelta della strumentazione adatta. La soglia di rischio verrà individuata con un multiplo del semidiametro della ellissi più significativa e ad essa verrà riferito l'innescò di un sistema di allarme. La procedura descritta per il monitoraggio è valida anche per i controlli con tutte le limitazioni derivanti dalla natura di questi ultimi.



Figura 5: prova di carico su ponte

4. Il decreto ministeriale 14.09.2005: Norme tecniche per le costruzioni

L'attuazione posta dal Decreto Lunardi nei problemi di sicurezza di costruzioni nuove o esistenti comporta una grossa novità nelle modalità del giudizio di stabilità e quindi nel Collaudo strutturale. Il Testo Unico contenuto nel Decreto si articola su 12 capitoli, dei quali prenderemo in esame i seguenti:

- Cap. 7 : Norme per le opere interagenti con i terreni e le rocce, per gli interventi nei terreni e la sicurezza dei pendii.
- Cap. 8 : Collaudo statico.

Prima di analizzare il contenuto dei suddetti capitoli, è importante precisare che la normativa preesistente presenta una sorta di cesura per la procedura di collaudo di strutture in genere (fabbricati, ponti, viadotti, etc. etc.) e quella per le opere a sostegno di terra.

Infatti nelle prime la ricerca del grado di sicurezza è connesso ai confronti tra le deformazioni reali e quelle teoriche ottenute tramite operazioni di controllo, nelle seconde non viene richiesta alcuna misura di deformazione (con esclusione di Gallerie e manufatti sotterranei).

Si configura così per le opere a sostegno di terra, una rinuncia esplicita al confronto tra previsione progettuale e dato sperimentale, un confronto reso più necessario dal fatto che per queste opere il divario tra ipotesi e realtà è notevole perché notevole è l'incertezza dei parametri geotecnici.

Il Testo Unico di cui al D.M. 30.04.2005, improntato secondo un indirizzo di norma prestazionale piuttosto che descrittiva, cambia in meglio la filosofia del Collaudo delle strutture in genere ed in particolare di quelle a sostegno di terra.

- a) Collaudo per le opere interagenti con terreni o rocce, per gli interventi nei terreni e sicurezza dei pendii.

Il dispositivo di legge affronta subito il problema del monitoraggio infatti al punto 7.2 (Articolazione del progetto) richiede all'ultimo comma "un piano di controllo e monitoraggio delle principali grandezze consistente nella misura di spostamenti assoluti e relativi dell'opera interagente con il terreno e della struttura e nella misura di altre caratteristiche quali i carichi piezometrici e le pressioni neutre".

La richiesta di un piano di controllo e monitoraggio come articolazione necessaria del progetto comporta che sin dalla fase progettuale è necessario dimensionare una rete o un sistema di misura

costante nel tempo in grado di fornire soprattutto gli spostamenti, elemento fondamentale per il confronto tra il calcolo e il dato sperimentale.

Si comprende facilmente come il legislatore abbia radicalmente mutato il concetto di sicurezza dell'opera, passando da quella che era una situazione di controllo limitata alla fase di collaudo ad una espressione continua della sicurezza dell'opera durante la sua vita utile.

A rafforzare questo concetto concorre infatti il punto 7.2.6, che stabilisce:

“Il monitoraggio del complesso opera-terreno consiste nella installazione di un'apposita strumentazione e nella misura di grandezze fisiche significative, quali ad esempio spostamenti, pressioni neutre etc.... prima, durante e dopo la costruzione del manufatto”.

Il monitoraggio deve consentire di verificare la corrispondenza tra le ipotesi progettuali e i comportamenti osservati e di controllare il comportamento dell'opera nel tempo.

La norma comincia ad entrare nel dettaglio al punto 7.3.1.2.4 (Prove di carico sui pali) dove ovviamente si richiede il tracciamento di un diagramma utile carico-spostamento al fine della determinazione del carico utile.

In particolare poi al punto 7.3.2 (Opere di sostegno) si specifica che per muri, paratie e strutture miste dovrà essere predisposto un dettagliato piano di controllo e monitoraggio, nei casi in cui la loro perdita di efficacia configuri un rischio per la pubblica comunità.

Analoga richiesta viene fatta al punto 7.3.3.1 nei criteri di progetto degli ancoraggi affinché sia possibile controllare la loro efficacia nel tempo.

La richiesta di piani di controllo e monitoraggio, opportunamente adeguata alla circostanza viene richiesta dalla norma ai seguenti punti:

7.3.4 – Opere in sotterraneo (gallerie, caverne, pozzi, etc.)

7.3.5 – Opere e manufatti di materiali sciolti (rilevati, argini, canali e litorali, etc.)

7.3.6 – Stabilità dei pendii (pendii naturali, fronti di scavo e scarpate di manufatti di materiali sciolti, etc.)

In questo punto si specifica che il monitoraggio va esteso alla gestione delle opere di stabilizzazione con l'evidente significato di un controllo durante la vita utile di eventuali perdita di efficacia.

7.3.7 – Miglioramento e consolidamento dei terreni e rocce (rinforzo di terre e rocce realizzati per diverse finalità applicative).

7.3.8 – Consolidamento di opere esistenti (migliorazione di difetti di comportamento per opere esistenti).

7.3.9 – Discariche controllate di rifiuti e depositi inerti.

Da quanto sin qui esposto si evince chiaramente che il giudizio di stabilità per un'opera a sostegno di terra è interamente affidato a dati sperimentali e fra essi ovviamente al controllo degli spostamenti.

Questo controllo deve essere progettato affinché assuma la dignità di monitoraggio e fornisca quello che la norma richiede con chiarezza: “Il controllo nel tempo della sicurezza”.



Figura 6: sensore inclinometrico biassiale e centralina per acquisizione dati

b) Collaudo delle strutture in genere

Nelle prescrizioni generali leggiamo che:

“Il collaudo statico è una parte del collaudo tecnico amministrativo dell’opera e riguarda il giudizio e le prestazioni delle parti dell’opera che svolgono funzione portante”.

Quanto riportato inoltre riguarda e chiarisce ciò che contenuto nell’art.7 della Legge 05.11.1971 ed i successivi decreti, introducendo nella discrezionalità del Collaudatore anche “Il monitoraggio programmato di grandezze significative del comportamento dell’opera, da proseguire anche dopo il collaudo dell’opera stessa”.

Questa disposizione per la prima volta introduce nella normativa del collaudo il concetto di monitoraggio, che è assolutamente innovativo rispetto alle norme precedenti.

In questo contesto prende corpo il fatto che il controllo sperimentale degli spostamenti è la via naturale per il giudizio costante nel tempo della stabilità delle opere e che ovviamente per fare tutto ciò è necessario conoscere i necessari procedimenti di misura e della valutazione critica degli stessi.

Il monitoraggio programmato dovrà essere un vero e proprio progetto della misura di spostamenti capaci di individuare lo stato di salute dell’opera e tutto ciò richiede conoscenza degli strumenti e degli algoritmi stocastici capaci di criticare una misura.

E a proposito della natura stocastica del problema, essa viene rafforzata laddove in chiusura la norma richiede al collaudatore di stabilire una congrua numerosità statistica di prove, che ovviamente dovrà tener conto del problema delle incertezze di misura e delle loro conseguenze sul giudizio di stabilità.

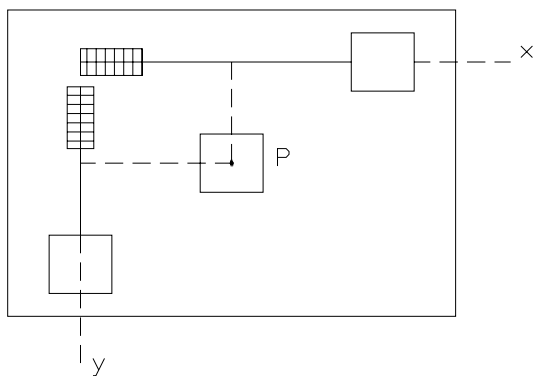
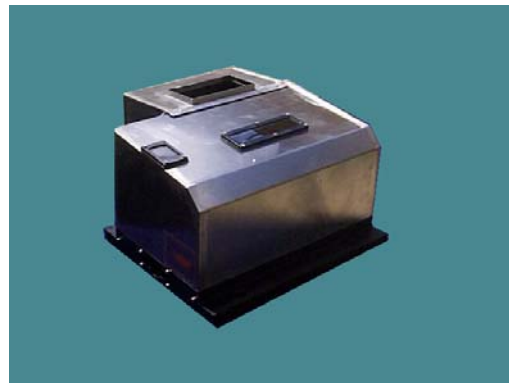


Figura 7: coordinatometro automatico

5. Conclusioni

Le norme relative al Collaudo contenute nel Testo Unico D.M. 30.04.2005 richiedono espressamente al Collaudatore di pronunciarsi attraverso monitoraggi di parametri significativi e piani di controllo generali dell’opera, affidando il giudizio di stabilità alla concretezza del dato sperimentale richiedendone il controllo nel tempo.

Risulta subito evidente che nella quasi totalità dei casi il dato sperimentale sarà fornito da misure di spostamento, la cui analisi consentirà di esprimere il giudizio.

L’operazione di Collaudo e prima ancora la predisposizione del piano di controllo ed il progetto del monitoraggio rientrano a pieno titolo nell’ambito d’eccellenza in cui opera la Topografia di Alta Precisione, in cui si correlano tecniche di posizionamento, tecnologia strumentale, algoritmi di calcolo e analisi delle misure al fine di determinare nel tempo la posizione di un punto con un’incertezza compatibile per la definizione del grado di sicurezza della struttura.

Bibliografia:

Sansò F., 1990: “Il trattamento statistico dei dati” – Edizioni CLUP

Barbarella, 1989: “Controllo di deformazioni” – Edizioni CISM

Gnedenko B.V., 1985: “Teoria della probabilità” – Editori Riuniti

Colombo L., 1983: “Metodi topografici per il controllo statico” - Edizioni CLUP

Inghilleri G., 1974: “Topografia Generale” – Edizioni UTET