

PROVE DI CARICO



**INDAGINI
STRUTTURALI**



www.indaginistrutturali.it

Indagini Strutturali srl

Via Guido de Ruggiero, 5 - 00142 ROMA

Tel. 06 546 02 628

info@indaginistrutturali.it

info@pec.indaginistrutturali.eu

INDICE

Prove di carico	pag. 3
Prove di carico con carichi concentrati	pag. 6
Prove di carico con carichi distribuiti	pag. 8
Prove di carico sui ponti e viadotti	pag. 10

Prove di carico

Le prove di carico sono le indagini maggiormente accreditate ai fini di effettuare il collaudo di un'opera nuova. Nel caso di edifici esistenti è necessaria in varie circostanze, come ad esempio quando si prevede una riduzione della capacità resistente a causa di eventi eccezionali (evento sismico, incendi, esplosioni, etc...) o anche per cambi di destinazione d'uso. Secondo la Normativa vigente (D.M. del 14.01.2008) nel campo delle Costruzioni, le opere non possono essere messe in esercizio prima dell'effettuazione del collaudo statico.

Il Collaudatore, nell'ambito della propria discrezionalità, potrà richiedere di effettuare tutti gli accertamenti e indagini utili per decretare la sicurezza, durabilità e collaudabilità delle opere, tra cui in particolare le prove di carico. Nel caso di edifici esistenti, invece, la valutazione della sicurezza va effettuata quando ricorrano determinate condizioni, tra cui la riduzione della capacità resistente a causa di eventi eccezionali (sisma, incendi, esplosioni etc.), la presenza di comprovati errori di progetto, oppure cambi di destinazione d'uso. Indagini Strutturali srl effettua prove di carico statico su strutture di vario tipo ed, avvalendosi di varie tecnologie di prova, è in grado di analizzare ogni singola situazione fornendo la soluzione più appropriata a seguito di uno studio preliminare della struttura, finalizzato a determinare l'entità del carico da applicare e le modalità di applicazione.

Le prove di carico hanno il compito di testare il comportamento della struttura sottoposta ai carichi di esercizio e "devono essere, in generale, tali da indurre le sollecitazioni massime di esercizio per combinazioni caratteristiche (rare)" così come enunciato dello stesso D.M. del 14.01.2008. Le prove possono essere effettuate con carichi distribuiti, mediante serbatoi ad acqua e zavorre di vario tipo, oppure con carichi concentrati, mediante cilindri oleodinamici o serbatoi pensili.

La scelta di una particolare tipologia di prova, può dipendere oltre che dalle richieste del Committente, anche da altri fattori come l'entità e la natura del carico di prova, la conformazione della struttura da esaminare, il numero di cicli da effettuare, etc. Le prove effettuate con cilindri oleodinamici presentano dei pro e contro rispetto alle "classiche" prove effettuate con serbatoi idraulici.

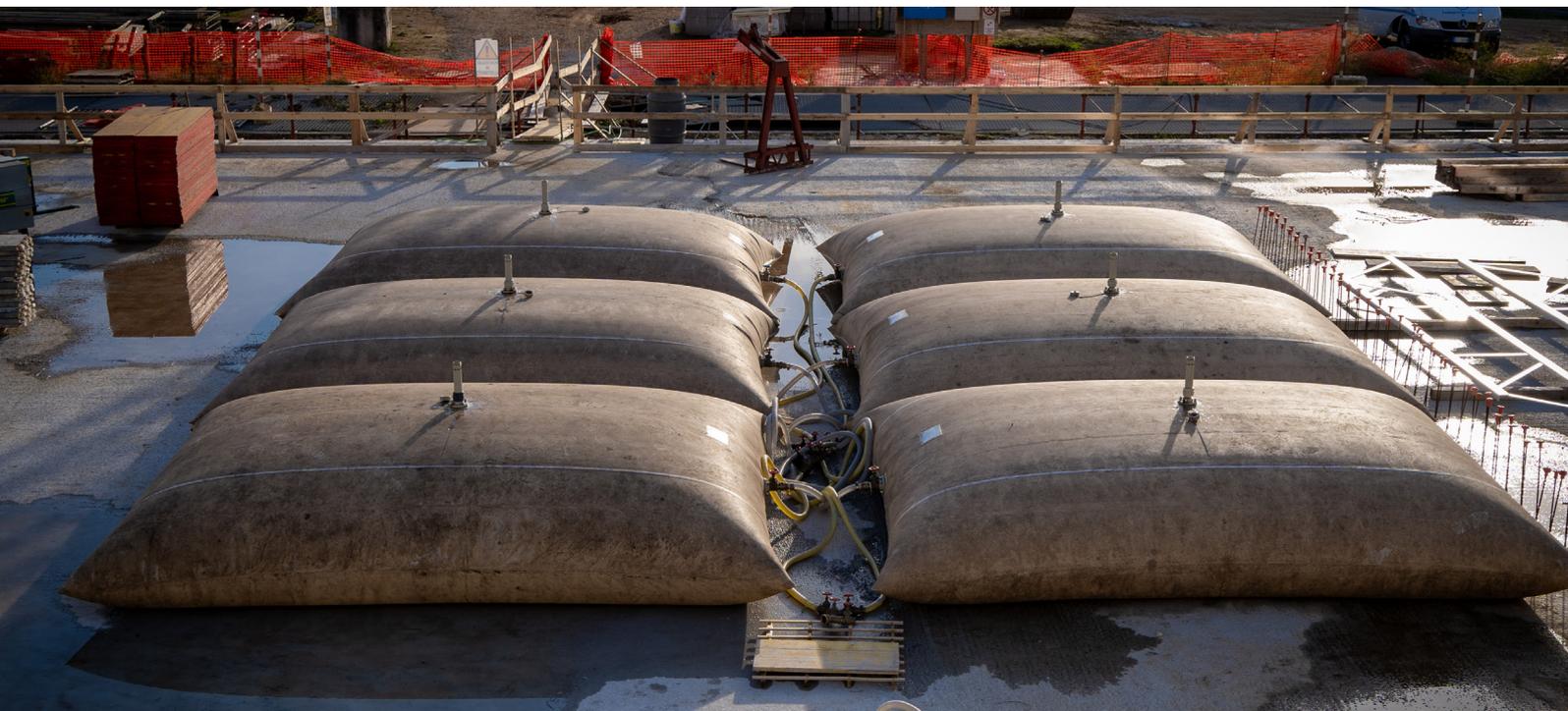
Un vantaggio delle prime consiste nel poter meglio gestire il carico da applicare; il che consente di graduare le sollecitazioni a seconda del comportamento della struttura e, inoltre, di poter eseguire più cicli di carico in tempi rapidi. Di contro, l'applicazione di tale metodologia è sottoposta a particolari requisiti oggettivi, quali la necessità di disporre di elementi di contrasto necessari per l'applicazione dei carichi. Indagini Strutturali srl integra le prove di carico statiche con le prove dinamiche, quando ciò è ritenuto necessario in relazione alle caratteristiche e alla rilevanza della struttura, così come specificato dal D.M. del 14.01.2008.



Indagini statiche su strutture. Applicazioni normative, metodologie e condizioni delle prove di carico.

Con la recente uscita delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni - NTC 2018 (DM 17/01/2018) le PROVE DI CARICO entrano in gioco soprattutto quando ci si trova davanti a situazioni costruttive transitorie; ad esempio quelle che si hanno durante le fasi di edificazione di un immobile nuovo (collaudo). Le prove di carico sono, quindi, fondamentali nel campo delle Costruzioni dal momento che le opere non possono essere messe in esercizio se prima non viene eseguito il collaudo statico; è uno dei test maggiormente accreditati ai fini della collaudabilità delle opere proprio per identificare la corrispondenza tra il comportamento teorico e quello reale della struttura.

Con la legge n. 107/2015 - "La Buona Scuola", tali verifiche statiche entrano anche negli istituti scolastici; nell'ambito del decreto le prove di carico sono finalizzate ad avere un riscontro certo e pratico sulle indagini diagnostiche dei solai. Le Normative vigenti non trattano le prove di carico soltanto durante le fasi di costruzione di un edificio nuovo ma anche a seguito di ogni intervento di miglioramento e di adeguamento sismico di edifici esistenti (NTC 2018 - § C8 Costruzioni esistenti); è obbligatorio in tal caso, ai fini del Collaudo Statico, sottoporre a prove di carico un certo numero di strutture.



Nel caso di edifici esistenti la valutazione di sicurezza va effettuata quando si riscontrano particolari condizioni di criticità. A seguito di terremoti, di incendi e di esplosioni, le prove di carico vengono eseguite su quelle strutture che possono aver subito eventuali deficit. Anche a fronte di comprovati errori di progetto, oppure a seguito di cambi di destinazione d'uso, tali verifiche statiche accertano lo stato di fatto e le capacità portanti degli elementi esaminati. Indagini Strutturali è in grado di analizzare ogni singola situazione fornendo la soluzione più appropriata a seguito di uno studio preliminare della struttura ed effettuando prove di carico su manufatti nelle più disparate condizioni d'esercizio. È pratica diffusa eseguire la maggior parte di prove di carico prevalentemente sui solai che, essendo le strutture più deformabili, possono essere interessati da spostamenti misurabili con carichi relativamente limitati; ciò non toglie che sia opportuno eseguire prove di carico anche sulle travi, sugli archi, sulle mensole o elementi strutturali inclinati come coperture a falde, scale, etc.



I modi di applicazione del carico più frequenti sono:

- mediante CARICHI CONCENTRATI con cilindri oleodinamici contrastati sulle strutture sovrastanti o sottostanti.

In tal caso è necessario verificare preventivamente che le strutture di contrasto affinché non vengano danneggiate dalle spinte esercitate dai martinetti:

- mediante CARICHI DISTRIBUITI con serbatoi riempiti d'acqua;
- mediante l'utilizzo di zavorre varie per le strutture inclinate;
- mediante l'utilizzo di camion per le strutture come ponti e viadotti.

In questo caso si controlla il comportamento elastoplastico delle strutture, in termini di deformazione massima sotto carico e di percentuale di deformazione residua dopo rimozione del carico:

- mediante l'utilizzo di martinetti oleodinamici, con accurata struttura di contrasto, per le prove di carico su pali di fondazione. Prova pilota o di collaudo per verificarne la capacità portante.

La scelta di una particolare tipologia di prova dipende da diversi fattori: la posizione e la tipologia dell'elemento strutturale da indagare, l'entità del

carico, il posizionamento della strumentazione di misura. Gli step ed i cicli di carico e scarico sono elementi fondamentali da scegliere con oculatezza affinché venga garantita una corretta esecuzione ed interpretazione della prova.

L'applicazione e la scelta degli strumenti di misura adottati per determinare lo spostamento durante la fase di carico vengono progettati e predisposti a seconda delle condizioni di indagine. Indagini Strutturali utilizza, usualmente come strumenti di misura, sensori elettronici montati su aste telescopiche all'intradosso della struttura e collegati ad un'unità d'acquisizione dati interfacciati tramite software a PC. Inoltre, la completa dotazione di diverse tipologie di strumentazione di misura (sensori digitali posti su aste di varie lunghezze, sensori a filo, sensori posti su aste che permettono di misurare lo spostamento orizzontale) consente di essere all'altezza della situazione in ogni condizione di prova.

Nel caso in cui l'intradosso di un elemento strutturale soggetto a prova di carico non possa essere strumentato, gli abbassamenti vengono misurati grazie all'utilizzo di altri sistemi di misura che superano tale inconveniente. Indagini Strutturali, sempre più di frequente, integra le prove di carico statiche con indagini dinamiche, in funzione delle necessità d'approfondimento d'indagine e delle caratteristiche delle strutture testate, così come specificato dal D.M. del 17.01.2018 NTC 2018.

Prove di carico con carichi concentrati

Indagini statiche su strutture orizzontali tramite carichi concentrati

La prova di carico mediante carichi concentrati consiste nell'applicazione di una o più forze verticali agenti su impronte di area limitata; il carico di prova viene desunto dagli elaborati di progetto o dalla normativa vigente in funzione della destinazione d'uso, tenendo sempre conto di eventuali sovraccarichi permanenti non in opera al momento della verifica. È di diffuso ordine l'utilizzo di due tipologie di prove mediante carichi concentrati.

- A contrasto "a spinta" – eseguita mediante l'applicazione di carichi concentrati utilizzando un sistema costituito da basi di ripartizione e da cilindri oleodinamici.

Mediante tale tecnica di prova, all'estradosso di un orizzontamento vengono applicati carichi concentrati che utilizzano la struttura superiore per contrastare il carico applicato. È possibile ricorrere a questa tipologia di carico soltanto quando il contrasto superiore è resistente alla forza applicata; in caso contrario si può ulteriormente irrigidire l'orizzontamento superiore che funge da contrasto o valutare la possibilità di ricorrere al metodo a trazione.

- A contrasto "a trazione" – si ricorre a tale tecnica quando non è possibile utilizzare il metodo precedente per l'applicazione del carico; vengono ancorate le strumentazioni per l'applicazione delle sollecitazioni dell'orizzontamento generando una trazione verso il basso. Sono valide le stesse considerazioni teoriche della prova "a spinta".

Durante queste verifiche statiche il carico, definito concentrato equivalente, è applicato in corrispondenza della mezzeria della struttura orizzontale, trasversalmente alle nervature della stessa. Nel caso di un solaio in latero-cemento, le basi di ripartizione andranno posizionate ortogonalmente all'orditura del solaio, che sia esso oggetto di prova di carico o che funga da contrasto.

Tale carico applicato in mezzeria è capace di indurre lo stesso momento massimo prodotto da un carico uniformemente distribuito (q); ciò avviene quando particolari caratteristiche della struttura, esigenze operative o altro, non permettono di disporre un carico uniformemente distribuito.

La corrispondenza tra uno o più carichi concentrati applicati e carico distribuito di riferimento, viene calcolata eguagliando i momenti in mezzeria generati dalle due tipologie di prove di carico





tramite determinati coefficienti che eguagliano i due momenti.

I coefficienti utilizzati per la trasformazione da carico concentrato a carico distribuito sono i seguenti:

- **Coefficiente di collaborazione trasversale:** che considera la deformata trasversale del solaio nella sezione di mezzeria, cioè tiene conto della linea dell'applicazione del carico concentrato;
- **Coefficiente di vincolo:** che prende in considerazione i vincoli che un orizzontamento può avere agli appoggi.

Nel caso di un solaio il coefficiente di vincolo sarà diverso se l'orizzontamento lavora a semplice appoggio piuttosto che a semincastro o a incastro. Il carico viene applicato ad intervalli regolari e gradualmente sino a raggiungere i valori massimi di sollecitazione calcolati in fase di progetto.

Gli spostamenti verranno acquisiti nei punti significativi della struttura da trasduttori lineari che mettono in relazione le variazioni della resistenza elettrica alla variazione della grandezza fisica. Indagini Strutturali è presente da molti anni nel settore delle "indagini in situ" sviluppando attrezzature ad hoc per le prove mediante carichi concentrati e avvalendosi delle esperienze e delle specializzazioni maturate.

La tecnica "a spinta" è la meno invasiva e restituisce in tempo reale i risultati delle deformazioni a seguito delle sollecitazioni indotte, non necessita di ulteriori materiali.

Il kit per l'esecuzione di tali prove prevede le seguenti strumentazioni:

- Cilindri oleodinamici: generano la spinta e quindi simulano il carico da applicare alla struttura
- Basi di ripartizione: che permettono di distribuire la forza nella direzione ortogonale alla tessitura
- Celle di carico digitali che misurano la forza applicata su ogni singolo cilindro
- Centraline oleodinamiche ad alta portata che alimentano i cilindri ad esse collegati

Uno dei vantaggi è quello di poter gestire accuratamente la forza da applicare e, quindi, di poter eseguire in tempi brevi anche diversi cicli di carico e scarico. Indagini Strutturali utilizza tali tecniche di prova in accordo alle richieste della Committenza.



Prove di carico con carichi distribuiti

Prove statiche su strutture orizzontali tramite carichi distribuiti

Le prove a carichi distribuiti consistono nell'applicazione di un sistema di forze la cui distribuzione varia a seconda della tecnica utilizzata. Quando, ad esempio, nei solai non è possibile caricare l'intera campata, è necessario valutare la migliore tecnica di applicazione del carico necessario per la prova in maniera da avere una distribuzione di forze in grado di sollecitare al meglio la zona in esame.

Un carico è definito da Normativa "uniformemente distribuito" quando è applicato sull'intera superficie da testare; quindi, a differenza delle prove a carico concentrato, in quelle a carico distribuito l'intera struttura orizzontale viene sollecitata in maniera uniforme. Il carico distribuito è generalmente applicato tramite serbatoi flessibili riempiti d'acqua ma, in funzione alle disponibilità del cantiere ed alle esigenze delle prove, si possono applicare anche altri tipi di carico come pallet, blocchi, etc.



Per l'utilizzo di quest'ultimi è obbligatorio procedere alla distribuzione del carico in maniera simmetrica per evitare che si trasferisca direttamente (tutto o in parte) agli appoggi, inficiando così i risultati. Utilizzando, invece, i serbatoi flessibili riempiti d'acqua ed un contalitri digitale è possibile quantificare con esattezza il carico applicato fino al raggiungimento dei valori stabiliti in accordo con il Collaudatore; allo stesso modo lo scarico avviene per step e permette di verificare, passo dopo passo, la deformazione residua, che deve essere adeguatamente contenuta.

La struttura viene mantenuta al carico massimo di prova fino alla completa stabilizzazione della configurazione deformata; solo successivamente si può procedere allo scarico. Particolare attenzione si deve porre nell'installazione dei trasduttori potenziometrici utilizzati per misurare gli spostamenti al variare del carico applicato; la strumentazione monitorerà tali grandezze nelle zone in cui è posizionata.

Generalmente le stazioni di rilevamento sono:

- Lineari: trasduttori in grado di rilevare deformazioni nell'ordine del centesimo di millimetro
- Inclino metriche: trasduttori in grado di rilevare rotazioni nell'ordine del centesimo di grado
- Termiche: sensori di temperatura in grado di rilevare variazioni nell'ordine del decimo di grado centigrado

In ogni prova a carico distribuito, normalmente, un sensore di spostamento viene posizionato in una zona non influenzata dal carico affinché gli spostamenti misurati, dovuti a soli effetti termici, possano essere successivamente depurati da deformazioni effettive. I dispositivi di misura, grazie a cavi collegati direttamente ai sensori, comunicano con apposite centraline di acquisizione che immagazzinano il segnale ricevuto.

Inoltre, interfacciandosi a PC ed a sistemi hardware implementati e progettati da Indagini Strutturali, si elaborano e si valutano i dati in tempo reale, ponendo sempre attenzione alla deformata che subisce la struttura orizzontale. Queste prove di carico hanno il vantaggio di restituire in tempo reale il comportamento di una struttura orizzontale soggetta a carichi uniformemente distribuiti, ma di contro presentano tempi di esecuzione più elevati rispetto ad una prova con carico concentrato.

Riferimenti normativi

- D.M. 17 gennaio 2018 (NTC 2018)
- Legge 5 novembre 1971 n. 1086
- UNI EN 380:1994
- D.M. 11 marzo 1988



Prove di carico sui ponti e viadotti

Le prove di carico sui ponti e viadotti sono finalizzate al controllo delle caratteristiche elastoplastiche delle strutture; queste prove determinano la deformazione massima (sotto carico) e la percentuale di deformazione residua (dopo la rimozione del carico). La struttura deve essere sottoposta ad un carico equivalente a quello massimo di progetto (compresa la quota dovuta all'effetto dinamico), in questo modo saranno riproducibili le combinazioni di carico arrecanti le più gravose sollecitazioni.

L'applicazione del carico viene, di solito, eseguita tramite: stese di automezzi pesanti, autocarri o locomotori (a seconda che si tratti di ponte stradale o ferroviario), che verranno ulteriormente muniti di targhette di pesa distribuiti lungo le varie campate.

Le frecce vengono rilevate in tempo reale per mezzo di: trasduttori elettronici di spostamento a rilevazione digitale (fissati mediante supporti su aste telescopiche all'intradosso dell'impalcato); trasduttori inclinometrici (fissati mediante supporti all'estradosso dell'impalcato) che, misurando la rotazione della sezione cui sono applicati, consentiranno di risalire alla deformata dell'impalcato e, quindi, agli spostamenti lungo tutta la luce; capisaldi e livelli ottici di precisione.

Nel caso di ponti e viadotti a più campate, la vigente normativa tecnica per le costruzioni DM del 14/01/2008 (NTC) e annesso aggiornamento D.M. del 17 gennaio 2018 prescrive di eseguire la prova almeno su un quinto delle campate; invece per opere di una certa rilevanza richiede in aggiunta la prova dinamica, attraverso la quale si definirà la corrispondenza tra il comportamento dinamico reale e quello di progetto.





La prova di carico su ponti e viadotti ha lo scopo di verificare il comportamento sperimentale per confrontarlo con quello teorico, oppure di appurare l'elasticità per carichi prefissati o crescenti. L'obiettivo è quello di verificare che: le deformazioni crescano proporzionalmente ai carichi applicati; durante la prova non si verificano dissesti, lesioni, deformazioni; la deformazione residua non superi una quota parte di quella totale; la deformazione elastica non risulti maggiore di quella calcolata.

Gli elementi strutturali da sottoporre a prove di carico sono ponti, viadotti, passerelle di qualsiasi dimensione e tipologia (calcestruzzo armato, metallici, muratura, misti, etc).

I tempi di esecuzione di una prova di carico su ponti e viadotti non risultano stimabili poiché dipendono dalla tipologia di zavorra utilizzata e dall'approntamento dei sistemi di misura.

Riferimenti normativi

- D.M. 17 gennaio 2018 (NTC 2018)
- UNI EN 1993-2:2007 Parte 2: Ponti di acciaio (a pagamento)
- UNI EN 1994-2:2006 Parte 2: Regole generali e regole per i ponti (a pagamento)
- UNI EN 1998-2:2011 Parte 2: Ponti (a pagamento)





www.indaginstrutturali.it