

Angelo Longo

Calcolo fondazioni in c.a. con il software Found

**ANALISI, PROGETTAZIONE GEOTECNICA
E STRUTTURALE DI FONDAZIONI SUPERFICIALI
REALIZZATE IN CALCESTRUZZO ARMATO**

- Tipologie di fondazione
 - Criteri progettuali
 - Principi di modellazione
 - Verifiche geotecniche agli SLU e agli SLE
 - Verifiche strutturali agli SLU e agli SLE
 - Relazioni di calcolo conformi alle NTC 2018
 - Disegni esecutivi con la rappresentazione e il dettaglio delle armature
- Possibilità di stampa su qualsiasi stampante supportata da MS Windows
- **AGGIORNATO ALLE NTC 2018 (D.M. 17 GENNAIO 2018)
E ALLA CIRCOLARE APPLICATIVA N. 7 DEL 21 GENNAIO 2019**

**PRONTO
GRAFILL**
Clicca e richiedi di essere contattato
per informazioni e promozioni

SOFTWARE INCLUSO

FOUND – FONDAZIONI SUPERFICIALI (VERSIONE STANDARD)

ANALISI, PROGETTAZIONE GEOTECNICA E STRUTTURALE DI FONDAZIONI SUPERFICIALI REALIZZATE IN C.A.,
IN CONFORMITÀ ALLE NTC 2018 E ALLA CIRCOLARE APPLICATIVA N. 7/2019



Angelo Longo

CALCOLO FONDAZIONI IN C.A. CON IL SOFTWARE FOUND

Ed. I (07-2019)

ISBN 13 978-88-277-0078-5

EAN 9 788827 700785

Collana **Software** (122)

Longo, Angelo <1961->
Calcolo fondazioni in c.a. con il software Found / Angelo Longo.
– Palermo : Grafill, 2019.
(Software ; 122)
ISBN 978-88-277-0078-5
1. Fondazioni – Calcolo – Impiego [di] Programmi per computer.
624.151 CDD-23 SBN Pal0317355
CIP – Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

© **GRAFILL S.r.l.** Via Principe di Palagonia, 87/91 – 90145 Palermo
Telefono 091/6823069 – Fax 091/6823313 – Internet <http://www.grafill.it> – E-Mail grafill@grafill.it

**CONTATTI
IMMEDIATI**



Pronto GRAFILL
Tel. 091 226679



Chiamami
chiamami.grafill.it



Whatsapp
grafill.it/whatsapp



Messenger
grafill.it/messenger



Telegram
grafill.it/telegram

Finito di stampare nel mese di luglio 2019

presso **Officine Tipografiche Aiello & Provenzano S.r.l.** Via del Cavaliere, 93 – 90011 Bagheria (PA)

Tutti i diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica e di riproduzione sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta in alcuna forma, compresi i microfilm e le copie fotostatiche, né memorizzata tramite alcun mezzo, senza il permesso scritto dell'Editore. Ogni riproduzione non autorizzata sarà perseguita a norma di legge. Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.



**PRONTO
GRAFILL**

**CLICCA per maggiori informazioni
... e per te uno SCONTO SPECIALE**

SOMMARIO

PREFAZIONE	p.	7
PARTE PRIMA		
TEORIA DI CALCOLO	"	9
1. METODO AGLI STATI LIMITE	"	11
1.1. Introduzione	"	11
1.2. Sicurezza e prestazioni attese	"	12
1.3. Classi d'Uso e Vita Nominale.....	"	13
1.4. Criteri di verifica agli stati limite.....	"	15
1.5. Stati limite di esercizio	"	18
1.5.1. Stati limite di esercizio in presenza di sisma	"	20
1.6. Stati limite ultimi	"	20
1.6.1. Stati limite ultimi in presenza di sisma	"	22
1.7. Combinazioni azioni sismiche con altre azioni	"	23
1.8. Stati limite per le opere di geotecniche.....	"	23
1.8.1. Stati limite ultimi	"	23
1.8.2. Stati limite di esercizio.....	"	26
2. TIPOLOGIE DI FONDAZIONI	"	27
2.1. Premessa	"	27
2.2. Plinti.....	"	28
2.3. Trave di fondazione	"	35
2.4. Platee.....	"	37
3. REGOLE GENERALI DI PROGETTO DELLE FONDAZIONI	"	41
3.1. Criteri progettuali.....	"	41
3.2. Principi di modellazione	"	43
3.3. Aspetti normativi	"	46
4. PROGETTAZIONE GEOTECNICA DELLE FONDAZIONI	"	49
4.1. Premessa	"	49
4.2. Verifiche agli SLU geotecnici	"	49
4.2.1. Verifica al collasso per carico limite	"	51
4.2.2. Verifica allo scorrimento	"	54

4.2.3.	Verifica di stabilità globale.....	p.	55
4.3.	Verifiche agli SLE.....	"	56
4.3.1.	Definizione di cedimento.....	"	57
4.3.2.	Calcolo dei cedimenti indotti dalle azioni.....	"	59
4.3.3.	Cedimenti limite.....	"	59
5.	PROGETTAZIONE STRUTTURALE DELLE FONDAZIONI	"	61
5.1.	Verifiche agli SLU strutturali.....	"	61
5.1.1.	Resistenze di progetto dei materiali.....	"	61
5.1.2.	Diagrammi di progetto costitutivi dei materiali.....	"	62
5.1.3.	Criteri di verifica di resistenza.....	"	68
5.2.	Verifiche agli SLE.....	"	70
5.2.1.	Verifiche alle tensioni di esercizio.....	"	71
5.2.2.	Verifica a fessurazione.....	"	71
	PARTE SECONDA		
	MANUALE SOFTWARE	"	77
6.	INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE FOUND	"	79
6.1.	Presentazione del software.....	"	79
6.2.	Requisiti hardware e software.....	"	80
6.3.	Download del software e richiesta della password di attivazione.....	"	80
6.4.	Installazione ed attivazione del software.....	"	80
6.5.	Aggiornamenti ed assistenza.....	"	82
7.	AMBIENTE DI LAVORO DEL SOFTWARE FOUND	"	83
7.1.	Interfaccia del software.....	"	83
7.2.	Avvio del software.....	"	84
7.2.1.	Creare un nuovo progetto.....	"	84
7.2.2.	Aprire un progetto esistente.....	"	85
7.3.	Gestione dei menu.....	"	85
7.3.1.	La barra dei menu.....	"	85
7.3.2.	Selezione di una voce dal menu.....	"	86
7.4.	La barra dei comandi frequenti.....	"	87
7.5.	Le componenti standard.....	"	88
7.5.1.	Le tabelle.....	"	88
7.5.2.	Input grafico-interattivo.....	"	89
7.6.	Configurazione stampanti.....	"	91
7.7.	Help in linea.....	"	92
8.	SINTESI DELLE FASI PRINCIPALI DEL SOFTWARE FOUND	"	93
8.1.	Fasi operative.....	"	93
8.2.	Gestione degli archivi.....	"	93

8.3.	Input progetto.....	p.	95
8.4.	Analisi progetto.....	"	96
8.5.	Visualizzazione risultati.....	"	97
8.6.	Output progetto.....	"	99
8.7.	Guida rapida dei comandi.....	"	101
PARTE TERZA			
	VALIDAZIONE SOFTWARE E STAMPE.....	"	105
9.	ESEMPIO E VALIDAZIONE SOFTWARE.....	"	107
9.1.	Generalità.....	"	107
9.2.	Esempio applicativo.....	"	108
9.3.	Stampe elaborati di calcolo.....	"	108
–	ESEMPIO APPLICATIVO.....	"	109
–	STAMPE DEGLI ELABORATI DI CALCOLO.....	"	131
	BIBLIOGRAFIA, SITOGRAFIA E NORME TECNICHE.....	"	193

PREFAZIONE

Il presente volume riporta contenuti teorici relativi alla progettazione delle opere di fondazione, alla luce delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018 e della Circolare del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21 gennaio 2019, n. 7, recante «*Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018*».

Parte integrante della pubblicazione è il software **Found**, specifico per l'analisi di fondazioni dirette ed indirette in c.a., secondo i metodi agli Stati Limite con disegno armature e relazione di calcolo, in conformità alle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17 gennaio 2018) e relativa Circolare applicativa n. 7/2019.

Il testo è suddiviso in tre parti:

- Nella **prima parte (Teoria di calcolo)** si richiamano i concetti generali che stanno alla base dei metodi di verifica della sicurezza, con particolare attenzione per il metodo agli Stati Limite. Vengono poi esposte alcune regole generali di progetto delle fondazioni. In particolare vengono discussi i criteri progettuali, le consuete tecniche di modellazione numerica e gli aspetti normativi della progettazione delle opere di fondazione. Conseguentemente, viene trattato l'approccio alla progettazione geotecnica delle fondazioni dirette, sia per quanto concerne le verifiche agli SLU (al collasso per carico limite, allo scorrimento e alla stabilità globale) sia le verifiche agli SLE (verifica dei cedimenti). Successivamente viene affrontata la progettazione strutturale delle fondazioni sia agli SLU che agli SLE. Vengono richiamate le ipotesi sui materiali costituenti le strutture in calcestruzzo armato, nonché affrontate le problematiche relative alla verifica di sezioni in calcestruzzo armato, sia a flessione composta che a taglio. Infine vengono trattate le verifiche alle tensioni di esercizio e a fessurazione.
- Nella **seconda parte (Manuale software)** sono state fornite le indicazioni e le istruzioni sull'utilizzo del software **Found**, al fine di acquisirne dimestichezza nel minor tempo possibile. Dopo una dettagliata descrizione sulle modalità di installazione e registrazione, necessaria per acquisire la licenza all'utilizzo del software, si passa alla spiegazione delle principali funzionalità, partendo dalla gestione dei comandi, fino alla descrizione delle fasi di lavoro necessarie per la modellazione, l'analisi, l'elaborazione e la stampa dei risultati. Il software **Found**, sviluppato dalla *S.I.S. Software Ingegneria Strutturale*, è concepito e realizzato specificatamente per effettuare l'analisi strutturale, il progetto e la verifica delle armature degli elementi strutturali in cemento armato di fondazioni in zona sismica. L'insieme degli sforzi agenti, definiti in relazione a personalizzate combinazioni di carico, può essere affidato a diverse tipologie di fondazione: su travi, su piastre e su plinti con o senza pali. Dall'input, semplice ed intuitivo, alla stampa delle relazioni com-

plete ed impaginate automaticamente in un pratico formato, conforme a quanto disposto dalle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17 gennaio 2018) e relativa Circolare applicativa n. 7/2019, fino all'output automatico dei disegni esecutivi, con la rappresentazione e il dettaglio delle armature.

- Nella **terza parte** (*Validazione software e stampe*) viene dato ampio spazio alla validazione e affidabilità del software, la cui documentazione è fornita, a corredo dello stesso, in ottemperanza a quanto prescritto dal Capitolo 10 del D.M. 17 gennaio 2018 e relativa Circolare applicativa n. 7/2019, relativo alla *Redazione dei progetti strutturali esecutivi e delle relazioni di calcolo*.

Detta documentazione contiene, oltre una esauriente descrizione delle basi teoriche e del metodo di calcolo impiegato, anche l'individuazione dei possibili campi di impiego del software e l'elaborazione di casi prova, interamente svolti e commentati, a cui è possibile fare riferimento, per accertare l'attendibilità dei calcoli svolti. Si ricorda, infatti, che le Norme vigenti prescrivono che è obbligo del progettista esaminare preliminarmente la documentazione a corredo del software, per valutare l'affidabilità e soprattutto l'idoneità al caso specifico di applicazione, tenendo conto delle ipotesi che stanno alla base della modellazione.

Infine sono anche riportate, a titolo di esempio, alcune stampe degli elaborati forniti in output dal software, una volta eseguito il calcolo strutturale.

Concludendo, si vogliono ringraziare per la cordiale collaborazione e l'impegno profuso, il Dott. Ing. Stefano Russo nell'organizzazione e la stesura del presente testo e il Dott. Mario Messina nello sviluppo del software allegato.

Angelo Longo

METODO AGLI STATI LIMITE

1.1. Introduzione

I progressi tecnologici, cui abbiamo assistito nell'ultimo ventennio, hanno profondamente modificato anche la progettazione strutturale. Infatti, grazie anche al notevole contributo fornito da enti e organizzazioni internazionali di studio e di ricerca, i concetti fondamentali sulla sicurezza delle strutture, hanno compiuto sensibili progressi, fornendo un sostanziale contributo nel promuovere il processo di unificazione delle fondamentali regole per il calcolo strutturale nell'ingegneria civile.

L'insieme di queste regole costituisce il punto di partenza per raggiungere quello che oggi è considerato il principale obiettivo che si prefigge la progettazione strutturale, ovvero quello di garantire un adeguato livello di sicurezza di qualunque opera di ingegneria.

A voler ribadire questa nuova concezione di sicurezza, in uno scenario di apprezzabile consenso da parte degli addetti ai lavori e radicalmente cambiato rispetto al passato, le Nuove Norme Tecniche delle Costruzioni¹ (d'ora in poi NTC 2018) con relativa Circolare applicativa² (d'ora in poi Circolare applicativa n. 7/2019) e gli Eurocodici trovano nel metodo agli Stati Limite lo strumento più adatto per raggiungere la sicurezza strutturale mediante l'applicazione pratica di metodi di verifica semplificati.

L'approccio del metodo agli Stati Limite è di tipo semiprobabilistico, ovvero consente di effettuare una verifica che abbia una valenza probabilistica ma sia eseguita seguendo la stessa metodologia utilizzata in situazioni *deterministiche*. Un'altra sua importante caratteristica è quella di verificare la struttura, sia rispetto alla crisi strutturale (Stato Limite Ultimo – SLU), che ha carattere irreversibile, sia rispetto al superamento di certi requisiti di sicurezza, che la costruzione deve garantire in esercizio, che può avere carattere di tipo reversibile o irreversibile (per cui si parla di Stato Limite di Esercizio – SLE). In particolare, tale modalità di approccio, per la verifica e/o il progetto delle sezioni, prevede che vengano amplificati i carichi e definite le resistenze dei materiali come valori di progetto, ridotti rispetto ai valori caratteristici, mediante opportuni coefficienti parziali di sicurezza.

La verifica della sicurezza con il metodo agli Stati Limite si attua confrontando tra loro due grandezze omogenee, siano esse sollecitazioni o deformazioni:

- la prima grandezza rappresenta la domanda di prestazione rivolta alla struttura da parte delle azioni esterne cui è sottoposta e si indica generalmente con E_d ;

¹ D.M. 17 gennaio 2018 (*Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»*), pubblicato in *Gazzetta Ufficiale* n. 42 del 20 febbraio 2018, *Supplemento Ordinario* n. 8.

² C.M. 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. (*Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018*), pubblicato in *Gazzetta Ufficiale* n. 35 dell'11 febbraio 2019, *Supplemento Ordinario* n. 5.

- la seconda grandezza rappresenta la capacità di prestazione che la struttura è in grado di fornire e si indica con R_d .
- In particolare, misurare la sicurezza vuol dire verificare che sia soddisfatta la relazione $E_d \leq R_d$.

1.2. Sicurezza e prestazioni attese

La sicurezza strutturale di una costruzione, in funzione della sua utilizzabilità e del fine per il quale viene pensata e progettata, è intesa come probabilità che ha la struttura di sopportare certe azioni, da valutarsi per via probabilistica, considerato che sia le resistenze dei materiali, che le azioni agenti sono quantità aleatorie e pertanto non definibili con certezza. Inoltre, la stessa concezione di sicurezza strutturale non è solo funzione della resistenza ultima della struttura, ma anche – e soprattutto – della sua funzionalità in condizioni di normale utilizzo e della sua durabilità nel tempo. Le strutture e gli elementi strutturali, difatti, devono essere progettati, eseguiti, collaudati e soggetti a manutenzione in modo da consentire la prevista utilizzazione, per tutta la vita utile di progetto ed in forma economicamente sostenibile, in base al livello di sicurezza previsto dalle norme.

Alla luce dei suddetti criteri, la sicurezza di un'opera e le sue prestazioni devono essere valutate in relazione agli Stati Limite che si possono verificare durante la vita di progetto (definita Vita Nominale). Per Stato Limite si intende, in generale, quella determinata situazione, superata la quale, l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata.

Le NTC 2018 stabiliscono i requisiti di sicurezza che le costruzioni devono garantire nei confronti degli Stati Limite Ultimi (SLU), quali crolli e dissesti gravi (che possano cioè compromettere l'incolumità delle persone o comportare la perdita di beni e provocare gravi danni ambientali e sociali), oltre a porre l'attenzione sui livelli di accettabilità che una struttura deve garantire, in termini di azioni alle quali dovrà essere sottoposta, sia in fase di realizzazione che di normale esercizio, nonché sui costi e sulle procedure di manutenzione in funzione della sua vita utile. Si parla, dunque, di condizioni che dovranno essere soddisfatte per scongiurare la crisi ultima (sicurezza nei confronti degli Stati Limite Ultimi) ed anche di condizioni, legate all'uso quotidiano della struttura, per «rimanere adatta all'uso» (sicurezza nei confronti degli Stati Limite di Esercizio).

Le NTC 2018 ribadiscono, inoltre, tre requisiti che devono possedere le opere strutturali:

- 1) la sicurezza antincendio;
- 2) la durabilità;
- 3) la robustezza.

La sicurezza antincendio

La sicurezza antincendio è raggiunta progettando e realizzando le costruzioni in modo da garantire la resistenza e la stabilità degli elementi portanti, nonché limitando con opportuni accorgimenti la propagazione del fuoco e dei fumi.

La durabilità

La durabilità viene garantita progettando la costruzione in modo tale che il degrado della struttura che si dovesse verificare durante la sua vita nominale di progetto non riduca le prestazioni della costruzione al di sotto del livello previsto. Tale requisito dipende da diversi fattori, tra

TIPOLOGIE DI FONDAZIONI

2.1. Premessa

Si definisce fondazione la struttura resistente, interposta tra il terreno e la sovrastruttura, che ha il compito di trasferire i carichi derivanti dal peso proprio e dalle azioni applicate alla sovrastruttura al terreno, con la finalità di ripartirli opportunamente in modo da evitare la rottura del complesso struttura-terreno e di contenere entro limiti accettabili i cedimenti assoluti e differenziali.

Considerando il meccanismo del trasferimento del carico della fondazione al terreno d'appoggio si distinguono i seguenti tipi di fondazioni:

- *Fondazioni dirette o superficiali*: il limitato approfondimento fa sì che il contributo delle tensioni tangenziali di contatto tra terreno e superficie laterale della fondazione sia sostanzialmente nullo. La resistenza si attiva direttamente e solo sul piano di appoggio.
- *Fondazioni indirette o profonde*: il contributo di resistenza tangenziale che si esplica lungo la superficie laterale interrata è significativo e si somma a quello alla base. Questa è una delle motivazioni per le quali si ricorre alle fondazioni profonde: oltre che per ricercare in profondità stati di terreno di migliori caratteristiche meccaniche, si sfrutta anche il contributo di quelli attraversati.

Un modo alternativo di classificare le fondazioni si basa sul rapporto fra la profondità del piano di posa D e la larghezza in pianta B (cfr. figura 2.1).

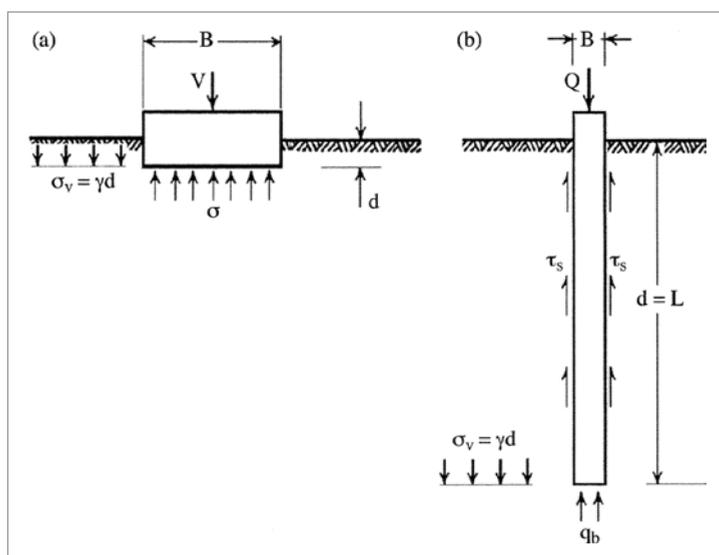


Figura 2.1. Fondazioni (a) superficiali e (b) profonde

Le *fondazioni superficiali* hanno, convenzionalmente e come indicato in alcune normative tecniche, un rapporto limite $D/B < 1$; per le *fondazioni profonde* il rapporto è variabile: $2 < D/B < 4$ nelle fondazioni a pozzo; $D/B > 4$ nei diaframmi o setti di fondazione; $D/B > 10$ nei pali di fondazione.

Nell'ambito delle fondazioni superficiali si realizzano schemi puntuali, definiti *plinti*, quando si può fare affidamento su terreni (ammassi rocciosi, sabbie e ghiaie molto addensate, argille dure) aventi caratteristiche meccaniche tali da non far temere significativi cedimenti differenziali. Negli altri casi, si adottano schemi continui (*graticci e platee*) sia per minimizzare i cedimenti differenziali della sovrastruttura sia per garantire adeguati margini di sicurezza nei confronti del collasso del sistema strutturale, distribuendo i carichi su superfici di contatto maggiori. Se tali obiettivi non possono essere raggiunti utilizzando fondazioni superficiali, si ricorre a fondazioni profonde (*fondazioni su pali o fondazioni a pozzo*).

La scelta delle tipologie di fondazioni da adottare deve pertanto basarsi sulla verifica che si abbia un adeguato coefficiente di sicurezza nei confronti di possibili meccanismi di collasso del complesso fondazione-terreno (verifiche di stato limite ultimo) e che i cedimenti assoluti e differenziali non superino i limiti accettabili per la funzionalità della struttura (verifiche allo stato limite di servizio).

Poiché l'argomento è estremamente vasto, si consiglia al lettore, per approfondimenti su aspetti particolari non affrontati, la consultazione di testi dedicati nello specifico alle fondazioni. Parimenti, non si affrontano dettagliate descrizioni sulle tipologie di fondazione e sulle loro tecniche esecutive: argomento estremamente importante, soprattutto nel caso delle fondazioni profonde, la cui risposta ai carichi applicati è dettata proprio da come esse sono state realizzate.

Per tale ragione le fondazioni profonde sono affrontate solo in termini generali, in quanto il loro dimensionamento, in relazione a capacità di trasmettere i carichi al terreno in sicurezza e garantendo funzionalità, è fortemente condizionato da scelte tecnologiche e da modalità esecutive che mal si prestano ad essere descritte, nel dettaglio che meriterebbero, in un testo di base quale il presente. A tali argomenti sono dedicati interi libri specialistici ai quali si rimanda.

Maggior enfasi, invece, è data alle fondazioni superficiali. Per tale tipologia di opera di fondazione si trattano sia il calcolo dei cedimenti sia il calcolo del carico limite.

2.2. Plinti

I *plinti* sono una tipologia di fondazione superficiale puntuale e vengono generalmente utilizzati quando le strutture in elevazione sono del tipo a telaio (ma anche nel caso di pile da ponte, pale eoliche, serbatoi, etc.). Essi vengono collocati, se possibile, in asse con il baricentro sulla risultante verticale delle forze trasmesse dai pilastri per consentire la uniforme ripartizione dei carichi dell'edificio trasmessi al piano di posa. La funzione del plinto è quella di distribuire il carico su un'impronta maggiore onde evitare lo sprofondamento nel terreno dei pilastri di elevazione. Normalmente il plinto è un elemento rigido a forma di dado, un tempo veniva fatto in muratura o a pozzo con collegamento ad arcata rovescia. Attualmente si realizza in calcestruzzo armato o non armato a seconda che sia fatto lavorare a flessione o meno.

Il plinto ha generalmente forma in pianta quadrata o rettangolare, a seconda della geometria del pilastro sovrastante (*cf.* figura 2.2) e delle condizioni di scavo. Forme circolari, anche se in teoria migliori, sono raramente adottate.

REGOLE GENERALI DI PROGETTO DELLE FONDAZIONI

3.1. Criteri progettuali

In passato, la progettazione e la realizzazione delle strutture di fondazione sono state spesso oggetto di non adeguata considerazione da parte del progettista e del costruttore. Esse sono la porzione dell'edificio non visibile e pertanto la loro concezione veniva lasciata alla mera attenzione del calcolatore strutturale.

Invece, oggi, per la scelta della corretta tipologia del sistema fondale, per il suo dimensionamento e per la progettazione degli elementi tecnici principali e di protezione viene richiesta una maggiore interazione tra le diverse competenze tecniche. Questo poiché tali aspetti si riflettono nelle prestazioni non solo di carattere statico, ma anche di comfort e di durabilità nel tempo.

Affinché una fondazione possa assolvere alle funzioni per le quali è stata concepita, ossia garantire la stabilità ed evitare il danneggiamento della sovrastruttura durante l'intero ciclo di vita della stessa, è necessario che siano rispettati tre importanti requisiti:

- il primo è quello di assicurare che i carichi agenti sulla struttura in elevazione siano trasferiti al terreno senza che questo raggiunga le condizioni limite di rottura;
- il secondo è quello di evitare l'insorgere di cedimenti totali e differenziali incompatibili con la statica e/o funzionalità della sovrastruttura, che altrimenti sarebbero causa della formazione di lesioni negli elementi strutturali (*cf.* figura 3.1);
- il terzo e ultimo requisito è quello di verificare che le sollecitazioni indotte nella struttura di fondazione dai carichi esterni applicati e dalle pressioni di contatto trasmesse dal terreno (determinate queste ultime in base a un'analisi di interazione struttura-terreno che tenga conto della presenza della sovrastruttura) siano compatibili con le caratteristiche di resistenza dei materiali impiegati.

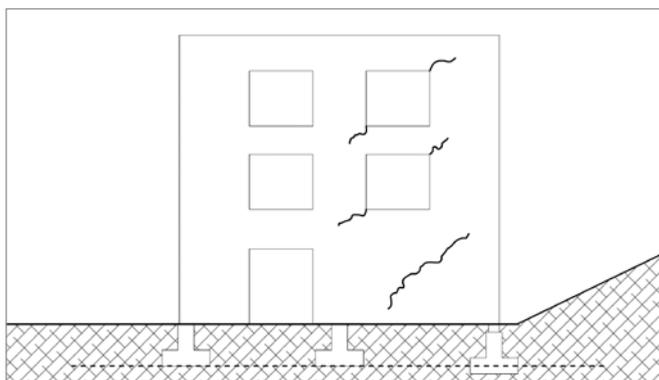


Figura 3.1. Danneggiamento della struttura dovuto al cedimento in fondazione

Le scelte progettuali per le opere di fondazione devono essere effettuate contestualmente e congruamente con quelle delle strutture in elevazione. Questo implica che le azioni trasmesse in fondazione derivano dall'analisi del comportamento dell'intera opera. L'analisi è generalmente condotta esaminando la sola struttura in elevazione alla quale sono applicate le pertinenti combinazioni delle azioni.

Spesso, però, tali azioni rappresentano la soluzione del problema all'interazione terreno-fondazione-struttura, che può essere studiato con diversi modelli di complessità, in relazione all'importanza dell'opera e alla pericolosità sismica del sito (*cf.* paragrafo successivo).

La scelta della tipologia di fondazione da utilizzare ed i criteri di progetto seguiti per il dimensionamento sono condizionati da numerosi fattori e fra questi occorre almeno considerare:

- la *tipologia del terreno di fondazione*:
 - profondità del volume significativo (*cf.* figura 3.2);
 - stratigrafia, regime delle pressioni interstiziali e grandezze fisiche e meccaniche e idrauliche dei terreni nel volume significativo;
- le *caratteristiche dell'opera in progetto*:
 - dimensioni dell'opera;
 - caratteristiche della sovrastruttura;
 - fasi costruttive;
 - distribuzione, intensità e variazione nel tempo dei carichi trasmessi in fondazione;
- i *fattori ambientali tipici del sito*:
 - caratteri morfologici del sito;
 - deflusso delle acque superficiali;
 - presenza o caratteristiche di altri manufatti esistenti nelle vicinanze o dei quali è prevista la costruzione.

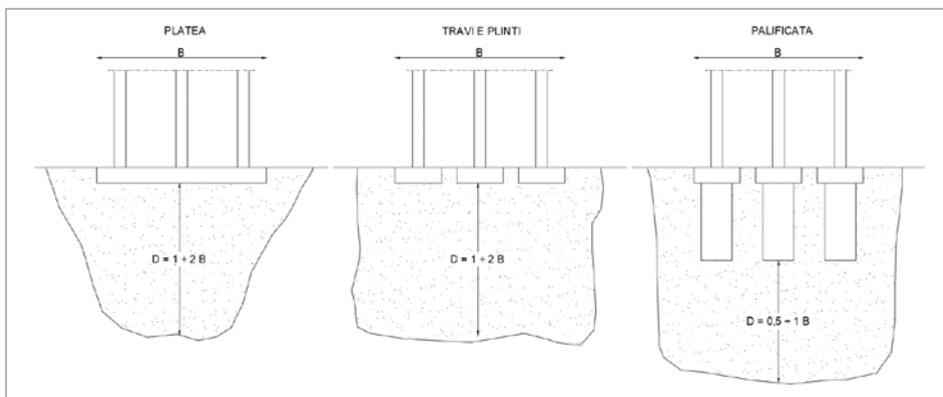


Figura 3.2. *Volume significativo*

Si può quindi constatare quanto complessa sia la progettazione delle fondazioni, in quanto coinvolge materiali a comportamento generalmente molto differente, condizioni di carico spesso non completamente note, fenomeni dipendenti dal tempo, scelte tecnologiche ed altri aspetti.

Un modo agevole di affrontare il progetto di un sistema di fondazione è riferirsi a sequenze progettuali ben precise.

PROGETTAZIONE GEOTECNICA DELLE FONDAZIONI

4.1. Premessa

Nella progettazione geotecnica delle fondazioni, la scelta della tipologia di fondazione da utilizzare ed i criteri di progetto seguiti per il dimensionamento sono condizionati da numerosi fattori, quali ad esempio, la tipologia del terreno di fondazione, le caratteristiche dell'opera in progetto ed i fattori ambientali tipici del sito.

Come è noto, difatti, le opere in fondazione si possono distinguere in base alle modalità con cui esse trasferiscono i carichi della sovrastruttura al terreno sottostante. In generale distinguiamo le fondazioni superficiali o dirette (plinti, travi, platee) da quelle profonde o indirette (pali, pozzi, cassoni).

Nel caso specifico di fondazioni per edifici si analizza solamente il caso particolare di fondazioni superficiali, che costituisce la tipologia più comunemente utilizzata nella pratica progettuale per le fondazioni della predetta tipologia strutturale.

Per procedere alla progettazione geotecnica, note le terne delle sollecitazioni agenti in corrispondenza di ogni pilastrata della struttura in elevazione, si determinano le azioni di progetto agenti sulla fondazione.

Seguendo i criteri generali agli stati limite, già esposti, tali sollecitazioni sono ottenute combinando le azioni agenti sulla sovrastruttura mediante l'utilizzo dei rispettivi coefficienti parziali che, in assenza di sisma, assumono i valori riportati nelle righe (A1) e (A2) della tabella 1.7 sui coefficienti parziali delle azioni, mentre in presenza di sisma, sono posti pari ad uno.

Nel caso specifico di fondazioni di edificio, come già affermato in precedenza, per gli Stati Limite Ultimi si considerano stati limite di tipo strutturale (STR) e stati limite di tipo geotecnico (GEO). Restano esclusi gli stati limite che riguardano l'equilibrio come corpo rigido (EQU). Per quanto riguarda gli Stati Limite di Esercizio, invece, le norme attuali non distinguono specifiche classi di stati limite da considerare, bensì prescrivono di verificare che gli spostamenti del terreno, assoluti o differenziali, immediati e differiti nel tempo, siano compatibili con la costruzione in progetto.

Le verifiche di tipo strettamente geotecnico, oggetto del presente capitolo, considerano condizioni di collasso del complesso terreno-fondazione dovute al raggiungimento della resistenza ultima per carico limite e per scorrimento sul piano di posa.

Un breve cenno sarà fatto nel caso di fondazioni posizionate su o in prossimità di pendii naturali o artificiali. In tali casi deve essere effettuata la verifica anche con riferimento alle condizioni di stabilità globale del pendio, includendo nelle verifiche le azioni trasmesse dalle fondazioni.

4.2. Verifiche agli SLU geotecnici

Si distinguono dunque i seguenti Stati Limite Ultimi di tipo geotecnico:

- Collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno;
- Collasso per scorrimento sul piano di posa;
- Stabilità globale.

Con riferimento agli approcci progettuali definiti in precedenza e secondo quanto stabilito dalle NTC 2018, che eliminano gli approcci alternativi alla progettazione, per le verifiche allo scorrimento e al carico limite dell'insieme fondazione-terreno, occorre adottare unicamente l'Approccio 2, a cui corrisponde la seguente combinazione:

Approccio 2 – Combinazione: (A1+M1+R3)

Quindi, per il dimensionamento geotecnico nei confronti delle azioni statiche, i coefficienti (A1) e (M1), rispettivamente per le azioni e i parametri geotecnici, vengono “combinati” con quelli (R3) per le resistenze del sistema. A tal proposito, è opportuno precisare che, nella precedente espressione, il segno di addizione sta appunto per “combinato con”.

I coefficienti da applicare tanto alle azioni (A), quanto ai parametri di resistenza del terreno (M), sono stati definiti in precedenza, mentre per i coefficienti γ_R , corrispondenti ai gruppi (R), che agiscono direttamente sulle resistenze globali, bisogna fare riferimento alla tabella di seguito riportata, in funzione del tipo di verifica da effettuarsi:

Verifica Statica	R3
Carico Limite	2,30
Scorrimento	1,10

Per quanto riguarda la verifica di stabilità globale, questa deve essere effettuata, invece, con riferimento all'Approccio 1:

Approccio 1 – Combinazione: (A2+M2+R2)

assumendo quale γ_R , il coefficiente del gruppo (R2) specifico per le verifiche di sicurezza delle opere in materiali sciolti e fronti di scavo, ovvero posto pari a 1,1.

Nei confronti delle azioni sismiche, secondo le NTC 2018 le usuali verifiche di sicurezza vengono eseguite con le stesse combinazioni di coefficienti indicate per il caso statico, ma, come anticipato, ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e impiegando le resistenze di progetto di seguito esplicitate.

Ciò rappresenta un altro punto di differenza rispetto alle NTC 2008, in cui invece si prevedeva di porre pari all'unità solo i coefficienti parziali sulle azioni ed assumere quelli previsti dal caso statico per i parametri geotecnici e le resistenze del sistema.

Pertanto, secondo le NTC 2018, per le verifiche allo scorrimento e al carico limite dell'insieme fondazione-terreno, occorre adottare coefficienti parziali unitari per le azioni (A) e i parametri geotecnici (M), mentre per la resistenza del sistema, impiegare i coefficienti del gruppo (R3) di seguito riportati:

Verifica Sismica	R3
Carico Limite	2,30
Scorrimento	1,10

PROGETTAZIONE STRUTTURALE DELLE FONDAZIONI

5.1. Verifiche agli SLU strutturali

Verificare una struttura agli Stati Limite Ultimi significa controllare che l'intera struttura e ogni sua parte, soggetta alle azioni di progetto che possono manifestarsi durante la sua vita utile, rimanga in sicurezza, rispetto alle situazioni di collasso, che possano pregiudicare quindi la sicurezza delle persone. Ciò significa, molto più semplicemente, che gli effetti delle azioni di progetto (ovvero le sollecitazioni) non devono superare la resistenza di progetto della struttura.

Le ipotesi formulate per lo studio delle sezioni di elementi monodimensionali in conglomerato cementizio armato, allo Stato Limite Ultimo sono:

- conservazione delle sezioni piane fino a rottura;
- perfetta congruenza tra la deformazione dell'acciaio e quella del calcestruzzo;
- mancata considerazione della resistenza a trazione del calcestruzzo, visto che quest'ultimo, allo Stato Limite Ultimo, risulta completamente fessurato;
- tensioni nel calcestruzzo e nell'acciaio funzioni assegnate delle deformazioni;
- raggiungimento dello Stato Limite Ultimo in corrispondenza di valori assegnati delle deformazioni limiti nell'acciaio e/o nel calcestruzzo;
- deformazione del calcestruzzo, in sezioni soggette a compressione assiale semplice, limitata al 2‰;
- deformazione massima del conglomerato cementizio compresso pari a ε_{cu} , nel caso di flessione semplice o composta, con asse neutro che interseca la sezione.

Nel seguito vengono prima riportate le resistenze di progetto del calcestruzzo e dell'acciaio, nonché i relativi diagrammi di calcolo, necessari per poter definire la resistenza degli elementi strutturali; successivamente vengono esposti i criteri di verifica agli Stati Limite Ultimi, per le sollecitazioni tipicamente agenti nelle opere in esame.

5.1.1. Resistenze di progetto dei materiali

5.1.1.1. Resistenze di progetto a compressione del calcestruzzo

Per il calcestruzzo, la resistenza di progetto a compressione, indicata con f_{cd} , vale:

$$f_{cd} = \alpha \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (5.1)$$

dove:

- α è un coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata, pari a 0,85;
- f_{ck} è la resistenza caratteristica cilindrica a compressione del calcestruzzo a 28 giorni, che risulta legata alla resistenza cubica R_{ck} , essendo pari a 0,83 R_{ck} ;
- γ_c è il coefficiente parziale di sicurezza del calcestruzzo, pari a 1,5.

5.1.1.2. Resistenza di progetto a trazione del calcestruzzo

Per il calcestruzzo, la resistenza di progetto a trazione, indicata con f_{ctd} , vale:

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{\gamma_c} \quad (5.2)$$

dove:

- f_{ctk} è il valore della resistenza caratteristica a trazione del conglomerato cementizio, che dipende dal valore medio della resistenza a trazione semplice, ed è pari a $0,7 f_{ctm}$, essendo quest'ultima la resistenza media a trazione semplice.

5.1.1.3. Tensione di snervamento di progetto dell'acciaio

Per l'acciaio, la tensione di snervamento di progetto, indicata con f_{yd} , vale:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \quad (5.3)$$

dove:

- f_{yk} è la tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio;
- γ_s è il coefficiente parziale di sicurezza dell'acciaio, pari a 1,15.

5.1.1.4. Tensioni tangenziali di aderenza acciaio-calcestruzzo

La tensione tangenziale di aderenza di progetto tra acciaio e calcestruzzo, f_{bd} , vale:

$$f_{bd} = \frac{f_{bk}}{\gamma_c} \quad (5.4)$$

dove:

- γ_c è il coefficiente parziale di sicurezza del calcestruzzo, pari a 1,5;
- f_{bk} è il valore caratteristico della tensione di aderenza tra l'acciaio e il calcestruzzo, che dipende dal valore della resistenza caratteristica a trazione del conglomerato cementizio ed è funzione del diametro delle barre di armatura nonché delle condizioni di aderenza e costruttive (copriferro, addensamento, ancoraggi).

5.1.2. Diagrammi di progetto costitutivi dei materiali

Come già precedentemente accennato, con la verifica agli Stati Limite Ultimi, si ipotizza l'opera sottoposta ad azioni che portano l'intera struttura, o parti di essa, all'estremo delle proprie capacità portanti o di stabilità.

Verificare una sezione in c.a. allo Stato Limite Ultimo, significa considerare quelle sollecitazioni ultime che portano a rottura almeno uno dei materiali costituenti la sezione.

Anche se le opere di fondazione devono essere progettate assumendo un comportamento non dissipativo, la norma prevede in comunque un comportamento non elastico dei materiali, considerando nei corrispondenti diagrammi tensioni-deformazioni, anche quei tratti corrispondenti alle deformazioni plastiche, al di là del limite elastico e sino ai rispettivi valori ultimi di rottura.

INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE FOUND

6.1. Presentazione del software

Found¹ è un software specifico per l'analisi, la progettazione e il disegno delle armature degli elementi strutturali di fondazioni superficiali, in zona sismica, realizzate in calcestruzzo armato, in conformità al D.M. 17 gennaio 2018 e alla relativa Circolare applicativa n. 7/2019. L'insieme degli sforzi agenti, definiti in relazione a personalizzate combinazioni di carico, può essere affidato a diverse tipologie di fondazione: su travi, su piastre e su plinti.

L'input, l'output ed il calcolo del software, sono stati specificatamente progettati per prendere in considerazione le particolari caratteristiche, uniche per questa tipologia di strutture. Pertanto, il risultato che ne consegue si manifesta in un supporto per la progettazione delle fondazioni, con un significativo risparmio di tempo nella preparazione dei dati, nell'interpretazione delle stampe numeriche e nel volume dei dati immessi.

Il metodo di calcolo strutturale utilizzato è quello agli Elementi Finiti (FEM). Il dimensionamento e la verifica degli elementi strutturali vengono effettuati a presso-tenso-flessione deviata, taglio e torsione, ottenendo il progetto delle armature e delle staffe con il metodo agli Stati Limite. In particolare, vengono prese in considerazione varie situazioni limite, definite come: Stato Limite Ultimo (SLU), Stato Limite di Esercizio (SLE). Oltre alle verifiche di resistenza, vengono effettuate anche le verifiche a fessurazione e tensioni dell'opera in condizioni di esercizio, secondo le disposizioni normative.

L'insieme degli sforzi agenti, definiti dall'utente in relazione a personalizzate combinazioni di carico, che l'opera trasmette globalmente al terreno sottostante può essere affidato a diverse tipologie di fondazione (su travi, plinti, platee) scelte dall'utente in base alle caratteristiche geotecniche del terreno di fondazione. La verifica del terreno viene fatta considerando le combinazioni di tipo (GEO).

Il software restituisce in output i risultati delle elaborazioni sia mediante tabulati (conformi al Capitolo 10 delle NTC), sia mediante elaborati grafici. I tabulati vengono generati in formato .doc, dunque è possibile modificare le relazioni di calcolo, secondo le specifiche esigenze dell'utente, sia prima sia in seguito all'analisi della fondazione.

Gli elaborati grafici possono essere semplicemente visualizzati oppure stampati².

Found evidenzia spiccate caratteristiche di interattività e si propone come strumento integrato per la progettazione, avente cioè tutte le funzioni necessarie per seguire l'intero iter progettuale, dalla ricerca interattiva del dimensionamento ottimale degli elementi, alla stampa della relazione e dei disegni esecutivi.

¹ **Found** (Versione STANDARD) è un software sviluppato dalla S.I.S. *Software Ingegneria Strutturale*.

² Nella versione PRO di **Found** è possibile esportare gli elaborati in formato .pdf e .dxf. È possibile, altresì, progettare e calcolare fondazioni con un numero di nodi superiore a 40.

6.2. Requisiti hardware e software

Il software **Found** è progettato per sistemi operativi a 32 bit e 64 bit, con la seguente configurazione minima:

- Processore Intel Pentium IV a 2 GHz;
- MS Windows 7/8/10 (è necessario disporre dei privilegi di amministratore);
- 2 Gb di memoria RAM;
- Disco Fisso con almeno 100 Mb di spazio libero;
- Scheda Video 512 Mb di RAM;
- Monitor a colori 1024×768 (16 milioni di colori);
- Mouse con rotellina di scroll.

6.3. Download del software e richiesta della password di attivazione

- 1) Collegarsi al seguente indirizzo internet:

https://www.grafill.it/pass/0078_5.php

- 2) Inserire i codici “A” e “B” (vedi ultima pagina del volume) e cliccare [**Continua**].
- 3) **Per utenti registrati** su www.grafill.it: inserire i dati di accesso e cliccare [**Accedi**], accettare la licenza d’uso e cliccare [**Continua**].
- 4) **Per utenti non registrati** su www.grafill.it: cliccare su [**Iscriviti**], compilare il form di registrazione e cliccare [**Iscriviti**], accettare la licenza d’uso e cliccare [**Continua**].
- 5) Un **link per il download del software** e la **password di attivazione** saranno inviati, in tempo reale, all’indirizzo di posta elettronica inserito nel form di registrazione.

6.4. Installazione ed attivazione del software

- 1) Scaricare il setup del software (file *.exe) cliccando sul link ricevuto per e-mail.
- 2) Installare il software facendo doppio-click sul file **88-277-0079-2.exe**.
- 3) Avviare il software dal seguente percorso:

Per utenti MS Windows Vista/7/8: [**Start**] > [**Tutti i programmi**] > [**SIS**] >
> [**Found**] (cartella) > [**Found.exe**] (icona di avvio)

Per utenti MS Windows 10: [**Start**] > [**Tutte le app**] > [**Found.exe**] (icona di avvio)

- 4) Al primo avvio verrà visualizzata la finestra «*Informazioni su Floor*»:



AMBIENTE DI LAVORO DEL SOFTWARE FOUND

7.1. Interfaccia del software

L'ambiente di lavoro del software si presenta con un'interfaccia in cui è possibile visualizzare le finestre grafiche del modello realizzato, che viene immediatamente visualizzata alla prima apertura del software, con un menu a discesa e barre strumenti dove sono presenti una serie di comandi, con cui è possibile accedere alle funzioni principali.

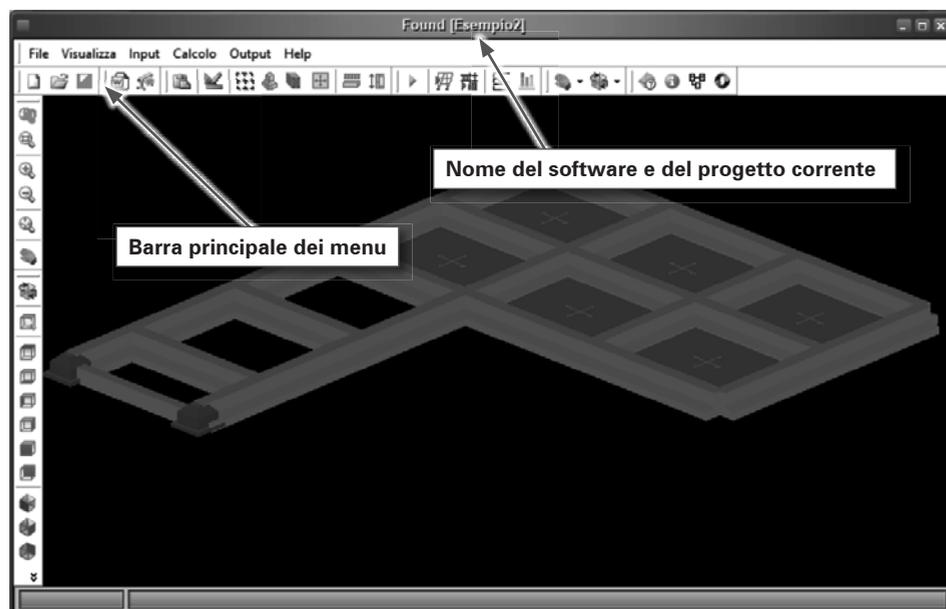


Figura 7.1. Schermata principale

La parte alta della finestra riporta il nome del software e quello del file corrente.

Il software è semplice da usare, sintetico nella richiesta dei dati e accurato sotto l'aspetto grafico sia in *input* che, soprattutto, nell'*output*. Dispone di finestre dati che consentono la manipolazione ed il controllo dei valori numerici, di finestre grafiche di disegno e di finestre d'aiuto.

Il software è sviluppato sotto MS Windows e molti dei comandi sono di comune utilizzo per chi abitualmente opera nel suddetto ambiente di lavoro.

Sulla schermata principale è inoltre disponibile una comoda interfaccia grafica, comune alla maggior parte dei programmi in ambiente CAD, sulla quale si va a comporre via via il modello 3D dell'edificio, permettendo di visualizzare gli elementi definiti nella fase di *Input del progetto*.

to. Nel caso invece in cui si apra un progetto già realizzato, l'immagine tridimensionale dell'edificio compare nella suddetta finestra grafica, come mostrato in figura 7.1.

L'utente ha a disposizione dei menu di comando accessibili dalla barra principale. Ogni comando è accessibile, durante la creazione del modello, senza una vera e propria sequenzialità di utilizzo dei comandi, fatta eccezione per alcuni di essi, che il software stesso provvede a non attivare, nel caso in cui si debbano rispettare delle specifiche propedeuticità di *Input di progetto*.

Le informazioni in entrata ed in uscita vengono visualizzate all'attivazione di ciascun comando mediante opportune finestre, all'interno delle quali sono contenute informazioni sotto forma di tabelle, o schede, ed integrate da un *Input grafico-interattivo*.

L'ambiente di lavoro prevede inoltre un **Help in linea**, sensibile al contesto, che può essere richiamato ogni qual volta si desideri un'informazione sul comando che si sta utilizzando, premendo da tastiera il comando **[F1]** che permette di visualizzare una finestra di aiuto, che riguarda il contesto specifico in cui l'**Help** è stato richiamato. In ogni caso, l'**Help** dispone di una struttura a cascata, facile da consultare e da percorrere, grazie anche alla presenza di frequenti Link (collegamenti) da cui è possibile accedere direttamente agli argomenti riportati sul Link stesso.

7.2. Avvio del software

All'avvio del software si apre una finestra che permette di effettuare due possibili operazioni: **Crea un Nuovo Progetto** o **Apri un Progetto Esistente**.

7.2.1. Creare un nuovo progetto

- 1) Indicare il **Nome del Progetto**;
- 2) Nella barra **Cartella del Progetto** scegliere il percorso in cui salvare il progetto;
- 3) Scegliere se creare un progetto **Vuoto** o **da Modello** (cfr. figura 7.2);
- 4) Per il progetto **da Modello** scegliere il prototipo dall' barra **Modello** e cliccare **[OK]**.



Figura 7.2. Aprire un nuovo progetto

Le operazioni 1) e 2) sono opzionali, difatti è possibile lasciare il campo in bianco, non assegnando alcun nome al progetto e non indicandone la directory in cui salvarlo. In tal caso, tali informazioni saranno automaticamente richieste dal software al primo salvataggio del progetto.

SINTESI DELLE FASI PRINCIPALI DEL SOFTWARE FOUND

8.1. Fasi operative

Tutte le fasi di lavoro previste per la modellazione, l'analisi e l'elaborazione dei risultati, sono opportunamente distinte e possono essere condotte dall'utente in maniera indipendente.

L'utilizzo di opportuni archivi di progetto, richiamabili da un progetto all'altro, facendo riferimento a *Modelli* o *Prototipi* di progetto (come già spiegato nel capitolo precedente) consente all'utente di disporre, oltre che per il progetto corrente, anche per quelli successivi, come una sorta di *banca dati*, da cui prelevare gli *elementi* utili alla modellazione.

La visualizzazione dei dati a finestra, mediante l'utilizzo di schede di progetto, agevola la fase di *Input dei dati* ed il controllo degli stessi nei vari passi, grazie ad una visione compatta dei dati e ad operazioni di modifica molto veloci. Inoltre la presenza di un'interfaccia grafica, permette di visualizzare in maniera interattiva gli elementi che costituiscono il modello.

La fase di calcolo è stata ottimizzata allo scopo di ottenere risultati affidabili e nel minor tempo possibile, aumentando così la produttività del software. Difatti l'utente può scegliere se far eseguire al software il calcolo completo della fondazione, o soltanto la progettazione delle armature degli elementi costituenti la fondazione. Le fasi di output, infine, sono particolarmente curate per ottenere la massima resa grafica, sia in fase di anteprima, che in fase di stampa. Gli elaborati di calcolo vengono generati in formato .doc mentre i disegni esecutivi possono essere stampati.

Di seguito si vuole dare una descrizione sintetica delle fasi operative che caratterizzano una comune sessione di lavoro, al fine di offrire all'utente uno strumento di facile e veloce consultazione, per utilizzare in modo immediato il software. Per più specifiche spiegazioni, riguardo altre opzioni di utilizzo dello stesso, si rimanda all'help in linea, disponibile dal menu di help della barra principale dei comandi, come indicato al capitolo precedente.

8.2. Gestione degli archivi

Il software consente di creare, salvare e riutilizzare archivi di progetto richiamabili da un progetto all'altro. Sono veri e propri raccoglitori di informazioni relative alle tipologie di elementi (materiali, sovraccarichi, sezioni, specifiche progettazione armature, ecc.), che possono essere utilizzati o meno in un determinato progetto. È possibile creare un archivio per ogni progetto, o piuttosto crearne uno più ampio che possa essere utilizzato nella redazione di più progetti. È lasciata alla scelta dell'utente la possibilità di arricchire gli archivi e crearne di personali, eliminando o aggiungendo dati, al fine di adeguarli alle proprie esigenze.

È essenziale, in una prima fase di lavoro, creare un buon archivio personalizzato, al fine di richiamarne gli elementi durante la fase di input del progetto, mediante degli appositi codici che li caratterizzano in maniera univoca.

Cliccando sul comando **Archivi**  vengono visualizzate le categorie presenti, tra cui:

- **Informazioni;**
- **Materiali;**
- **Sovraccarichi;**
- **Sezioni;**
- **Specifiche Armature.**

La scheda **Informazioni**, visualizzata all'apertura degli archivi di progetto, riporta il numero di schede o elementi presenti per ciascuna categoria (cfr: figura 8.1).

Cliccando sulle voci, a destra verranno mostrati i dati dell'archivio selezionato.

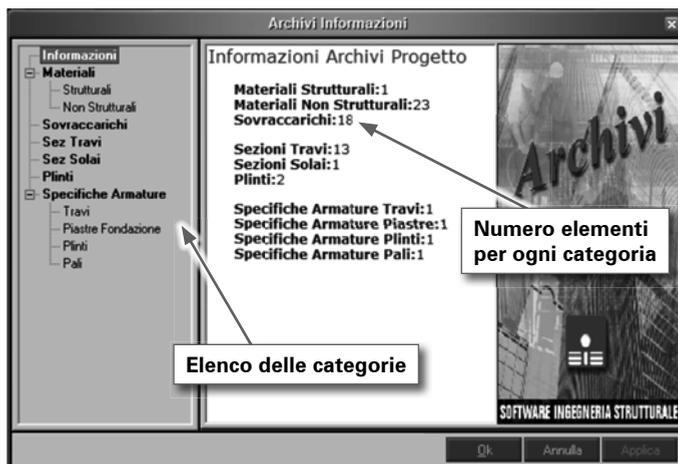


Figura 8.1. Archivi di progetto

Gli elementi di ciascun archivio si trovano elencati in apposite tabelle, o schede, gestibili mediante la barra *navigator*, sul fondo della finestra (cfr: figura 8.2).

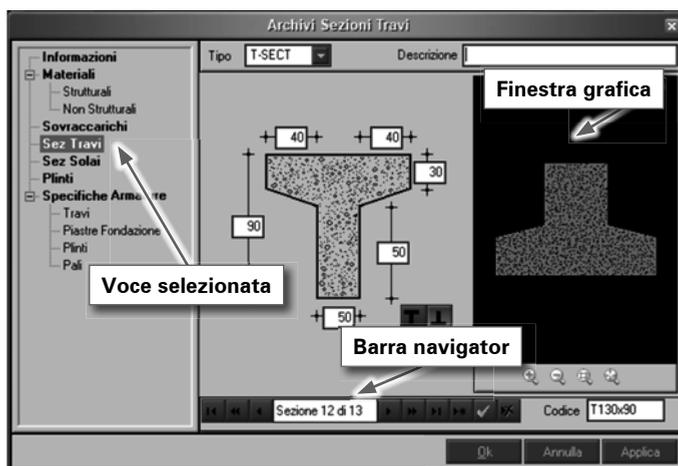


Figura 8.2. Archivi Sezioni Travi

ESEMPIO E VALIDAZIONE SOFTWARE

9.1. Generalità

In base a quanto prescritto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 e Circolare applicativa n. 7/2019, relativamente al capitolo sulla *Redazione dei progetti strutturali esecutivi e delle relazioni di calcolo* e nel caso specifico in cui le elaborazioni vengano svolte con l'ausilio del calcolo automatico, a mezzo di elaboratore elettronico, affinché possa essere provata l'affidabilità del codice di calcolo utilizzato, è necessario che il progettista prenda atto, in una fase preliminare alla modellazione e al calcolo, di tutta la documentazione, fornita a corredo del software, in modo da poterne così valutare l'affidabilità e soprattutto l'applicabilità al caso specifico. Tale documentazione, fornita dal produttore o dal distributore del software, deve contenere, oltre una descrizione delle basi teoriche e del metodo di calcolo impiegato, anche l'individuazione dei possibili campi di impiego e l'elaborazione di casi prova, interamente svolti e commentati, a cui è possibile fare riferimento, per accertare l'attendibilità dei calcoli svolti, disponendo sia dei dati di input, che dei risultati ottenuti, tanto col calcolo automatico, quanto con quello manuale.

Per poter valutare sinteticamente la coerenza dei risultati derivanti dal calcolo automatico, con quelli ricavati da altre fonti, quali in particolare, il calcolo manuale o le soluzioni teoriche comunemente riconosciute dalla letteratura di riferimento, è necessario riportare, a conclusione di ogni singola elaborazione, il corrispondente fattore di affidabilità del calcolo, dato dalla differenza percentuale tra i valori ottenuti con i due metodi.

È comunque importante precisare che la *Validazione del codice di calcolo* non può ridursi solo ad un semplice confronto numerico tra i risultati ottenuti automaticamente, con l'utilizzo del software, e quelli calcolati teoricamente (con riferimento a significativi casi prova forniti a corredo del software), in quanto risulta di basilare importanza non perdere di vista l'obiettivo globale, che deve necessariamente perseguire chi utilizza un software di calcolo, ovvero quello di comprenderne i campi di impiego e le ipotesi che stanno alla base della modellazione.

Pertanto, la validazione del calcolo non sarà più solo quella dei risultati ottenuti, ma anche quella dei dati immessi e della comprovata aderenza delle ipotesi adottate al caso reale. Ciò richiede una esplicita dimostrazione, da parte del progettista, di aver bene interpretato tutti i fattori e gli aspetti che interferiscono con la vita della struttura e di averli correttamente tradotti con una coerente modellazione strutturale dell'opera.

L'iter progettuale, dunque, partendo dal riconoscimento dell'opera e passando attraverso l'accettabilità delle ipotesi prese alla base della modellazione, conduce all'ottenimento di risultati la cui validità risulta dimostrata solo se la modellazione della geometria, dei vincoli, dei materiali e delle azioni sono aderenti alla struttura reale ed al suo reale utilizzo.

È chiaro dunque che la *accettabilità* dei risultati ottenuti col calcolo automatico, deve necessariamente partire dalla *accettabilità* dei dati immessi. Per giungere a tale obiettivo è essenziale ricorrere ad un consapevole impegno del progettista.

9.2. Esempio applicativo

Nel seguito viene riportato, dunque, un esempio applicativo, interamente svolto e commentato, in cui i risultati ottenuti con il software **Found**, vengono confrontati con quelli teorici ottenuti sulla base di formule riprese dalla letteratura di riferimento, nonché i criteri e i concetti che stanno alla base del metodo di calcolo utilizzato, i campi di impiego del software e le ipotesi adottate per la modellazione strutturale.

[L'ESEMPIO APPLICATIVO È RIPORTATO A SEGUIRE]

9.3. Stampe elaborati di calcolo

Eseguito il calcolo strutturale, il software **Found** consente la visualizzazione a video e la stampa dei seguenti elaborati di calcolo:

- *Testata;*
- *Relazione Generale;*
- *Relazione Esecutiva;*
- *Relazione Materiali;*
- *Relazione di Calcolo;*
- *Piano di Manutenzione.*

A titolo di esempio si riportano di seguito alcuni stralci delle stampe suddette.

[LE STAMPE DEGLI ELABORATI DI CALCOLO SONO RIPORTATI A SEGUIRE]

Indice

- 1 -

INTRODUZIONE	2
<i>Campi di impiego.....</i>	2
BASI TEORICHE.....	3
Metodi di Verifica agli Stati Limite.....	3
Verifiche Strutturali	3
<i>Verifiche allo Stato Limite Ultimo</i>	5
<i>Verifiche allo Stato Limite di Esercizio.....</i>	9
Verifiche Geotecniche.....	12
<i>Verifiche allo Stato Limite Ultimo</i>	12
<i>Verifiche allo Stato Limite di Esercizio.....</i>	14
CASI PROVA.....	16
Reticolo di Travi.....	16
<i>Verifica Sezione</i>	16
<i>Verifiche allo Stato Limite di Esercizio.....</i>	18

Found © CopyRight 1986-2019 - S.I.S. Software Ingegneria Strutturale



**PRONTO
GRAFILL**

**CLICCA per maggiori informazioni
... e per te uno SCONTO SPECIALE**

INTRODUZIONE

In base a quanto prescritto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni, nel caso in cui le elaborazioni vengano svolte con l'ausilio del calcolo automatico, a mezzo di elaboratore elettronico, affinché possa essere provata l'affidabilità del codice di calcolo utilizzato, è necessario che il progettista prenda atto, in una fase preliminare alla modellazione e al calcolo, di tutta la documentazione, fornita a corredo del software, in modo da poterne così valutare l'affidabilità e soprattutto l'applicabilità al caso specifico.

Tale documentazione, fornita dal produttore o dal distributore del software, deve contenere, oltre una esauriente descrizione delle basi teoriche e del metodo di calcolo impiegato, anche l'individuazione dei possibili campi di impiego e l'elaborazione di casi prova, interamente svolti e commentati, a cui è possibile fare riferimento, per accertare l'attendibilità dei calcoli svolti, disponendo sia dei dati di input, che dei risultati ottenuti, tanto col calcolo automatico, quanto con quello manuale.

Per poter valutare sinteticamente la coerenza dei risultati derivanti dal calcolo automatico, con quelli ricavati da altre fonti, quali in particolare, il calcolo manuale o le soluzioni teoriche comunemente riconosciute dalla letteratura di riferimento, è necessario riportare, a conclusione di ogni singola elaborazione, il corrispondente fattore di affidabilità del calcolo, dato dalla differenza percentuale tra i valori ottenuti con i due metodi.

E' comunque importante precisare che la "Validazione del codice di calcolo" non può ridursi solo ad un semplice confronto numerico tra i risultati ottenuti automaticamente, con l'utilizzo del software, e quelli calcolati teoricamente (con riferimento a significativi casi prova forniti a corredo del software), in quanto risulta di basilare importanza non perdere di vista l'obiettivo globale, che deve necessariamente perseguire chi utilizza un software di calcolo, ovvero quello di comprenderne i campi di impiego e le ipotesi che stanno alla base della modellazione.

Pertanto, la validazione del calcolo non sarà più solo quella dei risultati ottenuti, ma anche quella dei dati immessi e della comprovata aderenza delle ipotesi adottate al caso reale. Ciò richiede una esplicita dimostrazione, da parte del progettista, di aver bene interpretato tutti i fattori e gli aspetti che interferiscono con la vita della struttura e di averli correttamente tradotti con una coerente modellazione strutturale dell'opera.

L'iter di verifica, dunque, partendo dal riconoscimento dell'opera e passando attraverso l'accettabilità delle ipotesi prese alla base della modellazione, conduce all'ottenimento di risultati la cui validità risulta dimostrata solo se la modellazione della geometria, dei vincoli, dei materiali e delle azioni sono aderenti alla struttura reale ed al suo reale utilizzo.

E' chiaro dunque che la "accettabilità" dei risultati ottenuti col calcolo automatico, deve necessariamente partire dalla "accettabilità" dei dati immessi. Per giungere a tale obiettivo è essenziale ricorrere ad un consapevole impegno del progettista.

Nel seguito vengono riportati, dunque, oltre ai casi di prova, interamente svolti e commentati, in cui i risultati ottenuti con il software utilizzato vengono confrontati con quelli teorici ottenuti sulla base di formule riprese dalla letteratura di riferimento, anche i criteri e i concetti che stanno alla base del metodo di calcolo utilizzato, i campi di impiego del software e le ipotesi adottate per la modellazione strutturale.

Campi di impiego

Found è un software specifico per l'analisi strutturale, dimensionamento, verifica e disegno armature degli elementi strutturali, in calcestruzzo armato, di Fondazioni.

L'insieme degli sforzi che l'opera deve trasmettere globalmente al terreno sottostante, definiti dall'utente in relazione a combinazioni di carico personalizzate, può essere affidato a diverse tipologie di fondazione, quali Travi, Plinti (con o senza Pali), Platee.

L'input, l'output, tutte le tecniche di risoluzione e la validazione del programma **Found** sono stati specificatamente progettati per prendere in considerazione le particolari caratteristiche, uniche per questa tipologia di strutture.

BASI TEORICHE

Definita la modellazione degli elementi che compongono l'opera e note le sollecitazioni nodali agenti in fondazione, il comportamento del complesso terreno-fondazione viene trattato assumendo come riferimento il modello di Winkler. Nel presente capitolo vengono richiamate le indicazioni sulle metodologie impiegate per condurre il progetto e le verifiche delle armature e di stabilità geotecnica degli elementi della fondazione.

Metodi di Verifica agli Stati Limite

Il progetto e le verifiche dei vari elementi strutturali vengono condotti utilizzando il Metodo agli **Stati Limite**. Tale approccio semiprobabilistico, basato sull'impiego dei coefficienti parziali, consiste nel verificare che gli effetti delle azioni di progetto non superino quelli compatibili con lo stato limite considerato.

Si distinguono varie situazioni limite, completamente differenti, denominate **Stato Limite Ultimo (SLU)** e **Stato Limite di Esercizio (SLE)**.

Lo **Stato Limite Ultimo** corrisponde al valore estremo della capacità portante o forme di cedimento strutturale che possono mettere in pericolo la sicurezza delle persone. La sicurezza strutturale nei confronti degli stati limite ultimi è garantita verificando che la capacità di progetto R_d , in termini di resistenza, duttilità e/o spostamento della struttura sia maggiore del corrispondente valore di progetto della domanda E_d .

Il valore di progetto della generica azione F è ottenuto moltiplicando il suo valore caratteristico F_k per il coefficiente parziale γ_F ($F_d = F_k \gamma_F$), mentre il valore di progetto della generica proprietà f del materiale è ottenuto dividendo il valore caratteristico f_k per il coefficiente parziale del materiale γ_M ($f_d = f_k / \gamma_M$).

Nel caso di concomitanza di più sovraccarichi di origine diversa si definisce un valore di combinazione $F_k \psi_0$, ove $\psi_0 \leq 1$ è un opportuno coefficiente di combinazione che tiene conto della ridotta probabilità che più azioni di diversa origine si realizzino simultaneamente con il loro valore caratteristico.

Per il calcolo delle sollecitazioni limite nelle sezioni di verifica vengono utilizzati legami costitutivi σ - ϵ dei materiali di tipo non lineare.

Lo **Stato Limite di Esercizio** è uno stato al di là del quale non risultano più soddisfatti i requisiti di esercizio prescritti e comprende tutte le situazioni che comportano un rapido deterioramento della struttura, (tensioni di compressione eccessive o fessurazione del calcestruzzo) o la perdita di funzionalità (deformazioni o vibrazioni eccessive). Per la verifica viene effettuata un'analisi strutturale di tipo elastica-lineare.

La capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio deve essere controllata verificando che il valore limite di progetto associato a ciascun aspetto di funzionalità esaminato C_d sia maggiore del corrispondente valore di progetto dell'effetto delle azioni E_d .

Si definiscono tre diverse combinazioni di carico (**Rara**, **Frequente** e **Quasi-Permanente**), corrispondenti a probabilità di superamento crescenti e valori del carico progressivamente decrescenti.

Per il calcolo delle azioni e delle proprietà dei materiali si utilizzano sempre i valori caratteristici. Per il calcolo delle tensioni nelle sezioni di verifica degli elementi, considerato che lo stato tensionale è lontano dai valori di rottura, vengono utilizzati legami costitutivi σ - ϵ dei materiali di tipo elastico lineare.

Verifiche Strutturali

Il procedimento di calcolo, illustrato di seguito, consente di verificare una sezione di forma generica in c.a. soggetta a sollecitazioni di flessione composta deviata, che generano tensioni normali.

Si consideri una generica sezione di calcestruzzo armato, rappresentata, in un riferimento cartesiano (O, x, y, z), a mezzo di un insieme di coordinate (x_c, y_c) dei vertici del perimetro della sezione stessa di calcestruzzo ed un insieme di coordinate ed aree (x_t, y_t, A_t) dei singoli tendini in acciaio.

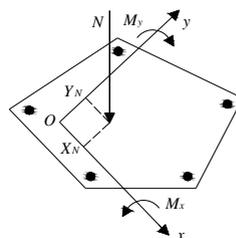
Nella figura accanto, è rappresentata una sezione, di forma poligonale pentagonale, soggetta a sforzo normale N (positivo se di trazione) ed a momenti flettenti M_x ed M_y , (positivi se gli assi vettori sono diretti secondo gli assi del sistema di riferimento).

In virtù dell'ipotesi di conservazione delle sezioni piane fino a rottura, la deformazione ϵ , nel generico punto della sezione di coordinate (x, y) , è esprimibile attraverso la relazione:

$$\epsilon(x, y) = a + bx + cy$$

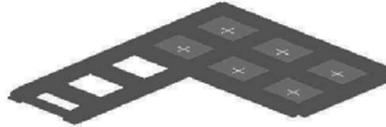
dove:

a = deformazione normale unitaria in corrispondenza dell'origine del sistema



PROGETTO STRUTTURALE ESECUTIVO*Progetto di una fondazione in c.a.***CONTENUTO ELABORATI**

- *Relazione di Calcolo*
- *Tabulati di Calcolo*
- *Relazione Geotecnica*
- *Relazione sui Materiali*
- *Relazione Esecutiva*
- *Computo Materiali*
- *Piano di Manutenzione*

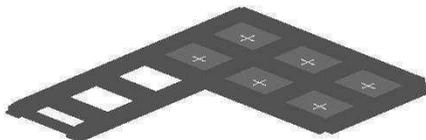
**COMMITTENTE:** *Ditta Committente***STUDIO DI INGEGNERIA***Studio di Ingegneria***PROGETTISTA***Progettista***STRUTTURISTA***Strutturista***DIRETTORE DEI LAVORI***Direttore dei Lavori***IMPRESA***Impresa Esecutrice***COLLAUDATORE IN C.O.***Collaudatore**Found 2019 - Software Progettazione Fondazioni in c.a.*

© S.I.S. - *Software Ingegneria Strutturale S.r.l.*
 C.P.4 (CT15) - 95127 CATANIA - Tel. 095.7122189 - Fax 095.7122188
<http://www.sis.ingegneria.it> - email: info@sis.ingegneria.it



PROGETTO STRUTTURALE ESECUTIVO

Progetto di una fondazione in c.a.



ELABORATO: Relazione di Calcolo Strutturale

COMMITTENTE: Ditta Committente

STUDIO DI INGEGNERIA

Studio di Ingegneria

PROGETTISTA

Progettista

STRUTTURISTA

Strutturista

DIRETTORE DEI LAVORI

Direttore dei Lavori

IMPRESA

Impresa Esecutrice

COLLAUDATORE IN C.O.

Collaudatore

Found 2019 - Software Progettazione Fondazioni in c.a.

© S.I.S. - Software Ingegneria Strutturale S.r.l.
C.P.4 (CT15) - 95127 CATANIA - Tel. 095.7122189 - Fax 095.7122188
<http://www.sis.ingegneria.it> - email: info@sis.ingegneria.it



INTRODUZIONE

Il presente lavoro riporta tutta la documentazione e i risultati completi delle analisi condotte per la progettazione di una fondazione di nuova costruzione.

In generale, le strutture e gli elementi strutturali devono essere progettati, eseguiti, collaudati e soggetti a manutenzione in modo da consentire la prevista utilizzazione per tutta la vita utile di progetto ed in forma economicamente sostenibile, in base al livello di sicurezza previsto dalle norme.

La sicurezza di un'opera e le sue prestazioni devono essere garantite al fine di scongiurare il collasso o crisi ultima nonché per soddisfare le condizioni legate all'uso quotidiano della struttura.

Inoltre l'opera deve garantire un adeguato livello di durabilità e robustezza. Il requisito di durabilità può essere garantito progettando la costruzione in modo tale che l'eventuale degrado della struttura non riduca le prestazioni della stessa al di sotto del livello previsto. A tale scopo occorre adottare appropriati provvedimenti che tengano conto delle particolari condizioni ambientali e di manutenzione, tra cui:

- **Scelta opportuna dei materiali**
- **Dimensionamento opportuno delle strutture**
- **Scelta opportuna dei dettagli costruttivi**
- **Adozione di tipologie costruttive che consentano, ove possibile, l'ispezionabilità delle parti**
- **Pianificazione di misure di protezione e manutenzione**
- **Impiego di prodotti e componenti dotati di idonea qualificazione**
- **Applicazione di sostanze o ricoprimenti protettivi dei materiali**
- **Adozione di sistemi di controllo per le azioni alle quali l'opera può essere sottoposta**

Il requisito di robustezza può essere garantito, in relazione all'uso previsto della costruzione ed alle conseguenze di un suo eventuale collasso, ricorrendo ad una o più tra i seguenti criteri di progettazione:

- **Progetto della struttura tale da resistere ad azioni eccezionali di carattere convenzionale**
- **Prevenzione degli effetti indotti dalle azioni eccezionali o riduzione della loro intensità**
- **Adozione di una forma e tipologia poco sensibile alle azioni eccezionali considerate**
- **Adozione di una forma e tipologia tale da tollerare danneggiamenti localizzati**
- **Realizzazione di strutture quanto più ridondanti, resistenti e/o duttili possibili**

