



Angelo Longo

Calcolo edifici in c.a. con il software EdiSAP

**ANALISI, PROGETTAZIONE STRUTTURALE E DISEGNO
DI EDIFICI TRIDIMENSIONALI MULTIPIANO
IN CALCESTRUZZO ARMATO IN ZONA SISMICA**

- Modellazione geometrica e architettonica
- Analisi sismica
- Calcolo delle sollecitazioni
- Verifica armature degli elementi strutturali
- Relazioni di calcolo conformi alle NTC 2018
- Disegni esecutivi con la rappresentazione e il dettaglio delle armature

Possibilità di stampa con qualsiasi stampante supportata da MS Windows
Esportazione in formato .pdf o .dxf modificabile su CAD esterni

- AGGIORNATO ALLE NTC 2018 (D.M. 17 GENNAIO 2018)
E ALLA CIRCOLARE APPLICATIVA N. 7 DEL 21 GENNAIO 2019

SOFTWARE INCLUSO

EDISAP – EDIFICI MULTIPIANO IN C.A.

ANALISI E PROGETTAZIONE STRUTTURALE DI EDIFICI MULTIPIANO IN CALCESTRUZZO ARMATO,
IN ZONA SISMICA, IN CONFORMITÀ ALLE NTC 2018 E ALLA CIRCOLARE APPLICATIVA N. 7/2019

CALCOLO EDIFICI IN C.A. CON IL SOFTWARE EDISAP

Ed. I (03-2018)

ISBN 13 978-88-277-0036-5

EAN 9 788827 700365

Collana **Software** (115)

Longo, Angelo <1961->

Calcolo edifici in c.a. con il software EdiSAP /

Angelo Longo. – Palermo : Grafill, 2019.

(Software ; 115)

ISBN 978-88-277-0036-5

1. Strutture in cemento armato – Calcolo.

693.54 CDD-23

SBN Pal0311418

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 marzo 2019

presso **Tipografia Luxograph S.r.l.** Piazza Bartolomeo Da Messina, 2 – 90142 Palermo

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.

SOMMARIO

PREFAZIONE	p.	7
 PARTE PRIMA		
TEORIA DI CALCOLO	"	9
 1. VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA		
1.1. Introduzione.....	"	11
1.2. Criteri di verifica agli stati limite.....	"	12
1.3. Azioni sulle costruzioni	"	16
1.3.1. Combinazione delle azioni allo SLE.....	"	16
1.3.2. Combinazioni delle azioni allo SLU.....	"	17
1.3.3. Valutazione dell'azione sismica	"	18
1.3.3.1. Classi d'uso e Vita nominale.....	"	18
1.3.3.2. Categorie di terreno e topografia.....	"	20
1.3.3.3. Spettri di risposta	"	21
1.3.3.4. Combinazioni in presenza di azioni sismiche.....	"	24
 2. MODELLAZIONE E ANALISI STRUTTURALE		
2.1. Criteri di modellazione	"	25
2.2. Metodi di analisi	"	27
2.2.1. Metodi di analisi lineare.....	"	27
2.2.1.1. Analisi statica lineare.....	"	28
2.2.1.2. Analisi dinamica modale.....	"	29
2.2.2. Metodi di analisi non lineare.....	"	30
2.2.2.1. Analisi statica non lineare.....	"	30
2.2.2.2. Analisi dinamica non lineare.....	"	31
2.3. Definizione del modello di calcolo	"	31
2.3.1. Modellazione per forze orizzontali	"	33
2.4. Modellazione di edifici multipiano in c.a.	"	35
2.4.1. Fili fissi.....	"	37
2.4.2. Dati elementi	"	39
2.4.2.1. Pilastri	"	39
2.4.2.2. Travi	"	40
2.4.2.3. Elementi secondari.....	"	40

3. PROGETTAZIONE ANTISISMICA DI EDIFICI	p.	42
3.1. Generalità.....	"	42
3.2. Regolarità strutturale.....	"	42
3.3. Duttilità strutturale.....	"	44
3.3.1. Duttilità del materiale.....	"	44
3.3.2. Duttilità locale.....	"	45
3.3.3. Duttilità globale.....	"	46
3.4. Progettazione in Capacità	"	48
3.5. Dettagli costruttivi in zona sismica.....	"	52
3.5.1. Travi	"	52
3.5.2. Pilastri	"	54
3.5.3. Nodi trave-pilastro	"	54
4. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE	"	56
4.1. Verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU)	"	56
4.1.1. Resistenze di progetto dei materiali	"	56
4.1.1.1. Resistenze di progetto a compressione		
del calcestruzzo	"	56
4.1.1.2. Resistenze di progetto a trazione del calcestruzzo	"	57
4.1.1.3. Tensione di snervamento di progetto dell'acciaio.....	"	57
4.1.1.4. Tensioni tangenziali		
di aderenza acciaio-calcestruzzo	"	57
4.1.2. Diagrammi di progetto costitutivi dei materiali	"	57
4.1.2.1. Diagrammi di progetto per il calcestruzzo	"	58
4.1.2.2. Diagrammi di progetto per l'acciaio	"	61
4.1.3. Criteri di verifica di resistenza	"	62
4.1.3.1. Verifica a flessione composta	"	63
4.1.3.2. Verifica a taglio	"	64
4.1.3.3. Verifica a torsione.....	"	68
4.2. Verifiche agli SLE.....	"	70
4.2.1. Verifica delle tensioni di esercizio	"	71
4.2.2. Verifica di fessurazione	"	72
4.2.2.1. Definizione e scelta		
degli stati limite di fessurazione.....	"	72
4.2.2.2. Calcolo dell'ampiezza delle fessure.....	"	74
4.2.2.3. Controllo della fessurazione senza calcolo diretto.....	"	76
4.2.3. Verifiche di deformazione	"	76
PARTE SECONDA		
MANUALE SOFTWARE	"	79
5. INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE EDISAP.....	"	81
5.1. Presentazione del software.....	"	81
5.2. Requisiti hardware e software.....	"	82

5.3.	Download del software e richiesta della password di attivazione.....	p.	82
5.4.	Installazione ed attivazione del software	"	83
5.5.	Aggiornamenti ed assistenza	"	85
6.	AMBIENTE DI LAVORO DEL SOFTWARE EDISAP	"	86
6.1.	Interfaccia del software.....	"	86
6.2.	Avvio del software	"	87
6.2.1.	Creare un nuovo progetto.....	"	87
6.2.2.	Aprire un progetto esistente	"	88
6.3.	Gestione dei menu	"	88
6.3.1.	La barra dei menu	"	88
6.3.2.	Selezione di una voce dal menu	"	89
6.4.	La barra dei comandi frequenti.....	"	90
6.5.	Le componenti standard.....	"	91
6.5.1.	Le Tabelle.....	"	91
6.5.2.	Input grafico-interattivo	"	92
6.6.	Configurazione output.....	"	95
6.7.	Help in linea.....	"	95
7.	SINTESI DELLE FASI PRINCIPALI DEL SOFTWARE EDISAP	"	97
7.1.	Fasi operative.....	"	97
7.2.	Gestione degli Archivi	"	97
7.3.	Input progetto.....	"	99
7.4.	Analisi progetto.....	"	99
7.5.	Visualizzazione risultati.....	"	101
7.6.	Output progetto	"	103
7.7.	Guida rapida dei comandi	"	105
PARTE TERZA			
	VALIDAZIONE SOFTWARE E STAMPE	"	109
8.	ESEMPIO E VALIDAZIONE SOFTWARE	"	111
8.1.	Generalità.....	"	111
8.2.	Esempio applicativo.....	"	112
8.3.	Stampe elaborati di calcolo.....	"	112
	ESEMPIO APPLICATIVO	"	113
	STAMPA DEGLI ELABORATI DI CALCOLO	"	149
	BIBLIOGRAFIA.....	"	243

PREFAZIONE

Il presente volume riporta contenuti teorici relativi alla progettazione strutturale di edifici, 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 EdiSAP, specifico per l'analisi delle strutture in c.a., secondo i metodi agli Stati Limite con disegno armature e relazione di calcolo secondo le direttive delle ultime NTC 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, e vengono classificate tutte le possibili azioni agenti sugli edifici, codificandone i modelli che servono a descriverle ed approfondendo, tra gli altri, gli aspetti connessi alla presenza di azioni sismiche, che rivestono una estrema importanza se si pensa che l'intero territorio nazionale ricade appunto in zona sismica.
Inoltre, vengono affrontate le problematiche della modellazione strutturale specifica per gli edifici, dalla creazione del modello geometrico e architettonico, alla scelta dello schema di calcolo e del tipo di analisi. In particolare, viene approfondita la procedura di generazione del modello geometrico dell'edificio tramite la tecnologia BIM (*Building Information Modelling*), che consente di creare, utilizzare ed elaborare tutte quelle informazioni che riguardano ciascun elemento (o oggetto) che lo costituisce, generando un vero e proprio «*database edificio*», che si arricchisce via via di nuovi dati, specifici per ogni particolare ambito progettuale considerato. Infine, vengono approfonditi i criteri di verifica specifici per le strutture in c.a., sia gli Stati Limite Ultimi, con riferimento alle problematiche di flessione, taglio e torsione, che agli Stati Limite di Esercizio (deformazione, tensione e fessurazione).
- Nella **seconda parte (Manuale software)** sono fornite le indicazioni e le istruzioni sull'utilizzo di software EdiSAP, 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, sviluppato dalla S.I.S. *Software Ingegneria Strutturale*, è concepito e realizzato specificatamente per il dimensionamento e la verifica agli Stati Limite

di edifici multipiano con struttura portante in calcestruzzo armato, in zona sismica, e presenta tutte le funzioni necessarie per seguire l'intero iter progettuale, dalla ricerca interattiva del dimensionamento ottimale degli elementi strutturali, alla stampa delle relazioni, in un pratico formato e conformi a quanto disposto dalle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17 gennaio 2018) e relativa Circolare applicativa n. 7/2019.

- 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 sulla «*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.

Angelo Longo

VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

1.1. Introduzione

Il problema della sicurezza è da sempre un argomento centrale dell'ingegneria delle strutture. Nella storia delle costruzioni, fino al XIX secolo, il soddisfacimento dei requisiti di sicurezza è stato garantito dal rispetto di semplici regole empiriche, derivanti dall'esperienza, che si tramandavano di generazione in generazione. Nella seconda metà dell'Ottocento, con l'introduzione di nuove tecniche costruttive e materiali, si rese necessario legare la sicurezza strutturale a parametri scientifici, verificabili a priori.

I progressi tecnologici, ai quali 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, ivi comprese quelle interagenti con il terreno.

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 (da qui in avanti NTC 2018) con annessa Circolare applicativa² (da qui in avanti Circolare 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 metodo-logia utilizzata in situazioni «deterministiche». Un'altra sua importante caratteristica è quella di verificare la struttura, sia rispetto alla crisi strutturale (Stato Limite Ultimo S.L.U.), 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 S.L.E.).

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.

¹ D.M. 17 gennaio 2018 n. 8, pubblicato in *Gazzetta Ufficiale* n. 42 del 20 febbraio 2018.

² Circolare 21 gennaio 2019, pubblicato in *Gazzetta Ufficiale* n. 35 del 11 febbraio 2019.

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 »;
- 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. Criteri di verifica agli stati limite

Effettuare una verifica di sicurezza vuol dire controllare che i requisiti richiesti ad una struttura siano effettivamente soddisfatti durante la sua vita e quindi valutare la sua probabilità di crisi, tenendo in considerazione le fluttuazioni delle variabili in gioco.

Stabilire un valore preciso per la probabilità accettabile di crisi è un compito estremamente difficile. Il collasso di una struttura ha un enorme impatto mediatico sulla società che amplifica significativamente le conseguenze dirette dell'evento, pertanto si tenderebbe a spingere verso valori bassi della probabilità limite in modo da ridurre al minimo il rischio di collasso, d'altra parte però a limiti bassi della probabilità di collasso corrispondono strutture molto costose. Risulta pertanto indispensabile definire metodi probabilistici semplificati che siano però di pratica applicazione.

L'introduzione nella Normativa italiana e negli Eurocodici del metodo semiprobabilistico agli Stati Limite, intesi come stati raggiunti i quali la struttura non è più in grado di svolgere le funzioni o non soddisfa più le condizioni per le quali è stata progettata e realizzata, ha consentito di affrontare il problema della sicurezza nel modo più razionale.

Tale metodo prevede che le varie tipologie strutturali debbano possedere i seguenti requisiti:

- sicurezza nei confronti degli **Stati Limite Ultimi (SLU)**: capacità di evitare crolli o gravi dissesti che possano compromettere l'incolumità delle persone, provocare la perdita di beni o mettere l'opera fuori servizio. Il superamento di uno stato limite ultimo si definisce collasso e come tale ha carattere irreversibile;
- sicurezza nei confronti degli **Stati Limite di esercizio (SLE)**: capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio. Il superamento di uno stato limite di esercizio può avere carattere reversibile o irreversibile.

Nei casi usuali si devono considerare gli Stati Limite Ultimi derivanti da:

- instabilità dell'equilibrio;
- perdita di stabilità della struttura o di una sua parte;
- rottura localizzata della struttura o di una sua parte per azioni statiche o per fatica;
- raggiungimento della massima capacità di resistenza della struttura nel suo insieme o in alcune delle sue parti;
- raggiungimento di meccanismi di collasso del terreno;
- deformazioni anelastiche eccessive;
- degrado o corrosione che portano a rottura.

MODELLAZIONE E ANALISI STRUTTURALE

2.1. Criteri di modellazione

Per studiare il comportamento di un fenomeno fisico è necessario possedere un modello matematico che «*trasformi*» in equazioni, numeri e regole il problema oggetto di studio. Per riuscire nell'intento si deve comprendere il reale comportamento del fenomeno fisico, dopodiché procedere con una schematizzazione del problema. La semplificazione della realtà è un passo cruciale e necessario perché da un'errata schematizzazione si possono ottenere risultati non rispondenti alla realtà e senza una schematizzazione del problema il modello matematico sarebbe troppo complesso. La notevole complessità di un modello crea difficoltà nella scelta dei giusti parametri d'input che oltretutto aumentano di numero con la complessità del modello; inoltre un modello complicato allunga i tempi di calcolo e richiede strategie di calcolo complesse, di conseguenza l'implementazione in un software diventa difficile, lunga e a volte sveniente. Per tali motivi il modello matematico che descrive il comportamento di un fenomeno fisico deve essere semplificato all'essenziale, tanto quanto serve per cogliere quello che interessa. Da quanto detto si comprende che per uno stesso oggetto si potrebbero avere diversi modelli matematici con diversi gradi di accuratezza e diversi approcci di modellazione a seconda dello specifico fenomeno che si vuole indagare. Un modello deve essere «*progettato*» per cogliere in modo più o meno esatto i fenomeni che si vogliono osservare in output a seguito degli input forniti.

Si possono individuare tre modelli distinti che insieme forniscono il modello matematico della struttura:

- 1) **Modello geometrico o strutturale:** può essere definito come un insieme di elementi strutturali disposti secondo una particolare geometria e collegati fra loro e con il terreno attraverso vari tipi di vincoli. Il modello geometrico può essere più o meno complesso, a seconda del grado di schematizzazione adottato. Per realizzare questo modello è necessario possedere buone informazioni metriche sulla struttura in esame ed è indispensabile capire quale sia la giusta schematizzazione della struttura, ovvero dove posizionare i vincoli, che tipo di elementi impiegare, ecc..
- 2) **Modello delle azioni esterne:** definisce i carichi agenti sulla struttura; tali forze possono essere sia statiche che dinamiche, e fra le sollecitazioni dinamiche si possono annoverare le forzanti periodiche, impulsive e non periodiche. Tale modello definisce anche la distribuzione delle forze esterne sulla struttura nonché la loro direzione ed intensità. Naturalmente anche le forze applicate derivano da un processo di schematizzazione, difatti le reali condizioni di carico e distribuzioni applicate risultano generalmente più complesse di quelle frequentemente adottate. Per definire questo modello è essenziale quantificare al meglio tutte le sollecitazioni degne di interesse che agiscono sulla struttura. Non è possibile tener conto di tutte le forze che intervengono sulla struttura quin-

di bisogna individuare una schematizzazione adatta allo scopo prefissato delle effettive forze che agiscono sull'oggetto.

- 3) **Modello reologico (o meccanico) del materiale:** definisce il comportamento del materiale sotto l'azione dei carichi esterni. Tale comportamento, che in generale si presenta sotto vari e complessi aspetti, può essere definito da relazioni che legano le azioni sollecitanti con la deformazione indotta. Anche in questo caso il reale comportamento del materiale viene semplificato attraverso relazioni matematiche che tentano di legare lo sforzo indotto alla conseguente deformazione. Questo modello deve contenere un legame costitutivo capace di rispondere alle esigenze di progetto, ovvero la schematizzazione del legame fra sforzi e deformazioni deve essere sufficientemente accurata per il fine perseguito. La conoscenza delle proprietà meccaniche dei materiali non risente delle incertezze legate alla produzione e posa in opera ma solo della omogeneità dei materiali stessi all'interno della costruzione, del livello di approfondimento delle indagini conoscitive e dell'affidabilità delle stesse.

Da un lato teorico è quindi possibile simulare il comportamento strutturale di una qualsiasi struttura, anche la più complessa, ma dal punto di vista pratico è sempre difficile definire in maniera accurata i parametri caratteristici del modello. L'inesattezza dei parametri di input può portare ad una drammatica propagazione dell'errore, specie nei modelli sofisticati. Le piccole incertezze su molti parametri in input alla fine si sovrappongono fra loro con il rischio di giungere a risultati del tutto errati.

Ai fini di una modellazione, geometrica e dei materiali, accurata, è importante la definizione di un modello della struttura tridimensionale che rappresenti in modo adeguato le effettive distribuzioni spaziali di massa, rigidezza e resistenza; laddove è appropriato, è necessario considerare anche il contributo degli elementi non strutturali.

Gli elementi strutturali considerati «secondari» e gli elementi non strutturali autoportanti, come tamponature o tramezzi, possono essere considerati solo in termini di massa, trascurando il loro contributo alla rigidezza e alla resistenza quando essi non sono tali da modificarne il comportamento del modello.

La rigidezza degli elementi strutturali, invece, deve essere sempre rappresentata e per tale scopo si possono adottare modelli lineari, che non tengono conto delle non linearità geometriche e del materiale, oppure modelli non lineari; in entrambi i casi la rigidezza degli elementi deve essere valutata considerando gli effetti della fessurazione. In caso non siano effettuate analisi specifiche, la rigidezza flessionale e a taglio di elementi in cemento armato può essere assunta pari sino al 50% della rigidezza dei corrispondenti elementi non fessurati, ad esempio in funzione dell'influenza dello sforzo normale permanente.

Gli orizzontamenti possono essere considerati infinitamente rigidi nel loro piano se realizzati in cemento armato, in latero-cemento con soletta in c.a. di almeno 40 mm di spessore, oppure in struttura mista con soletta di almeno 50 mm di spessore.

Per tenere conto di eventuali incertezze nella localizzazione delle masse, inoltre, in aggiunta all'eccentricità effettiva, al centro di massa deve essere attribuita una eccentricità accidentale rispetto alla sua posizione quale deriva dal calcolo. È pertanto necessario spostare il centro di massa di ogni piano, in ogni direzione considerata, di una distanza pari al $\pm 5\%$ della dimensione massima del piano in direzione perpendicolare all'azione sismica.

PROGETTAZIONE ANTISISMICA DI EDIFICI

3.1. Generalità

La normativa vigente prescrive che gli edifici abbiano, quanto più possibile, una distribuzione degli elementi strutturali con caratteristiche di semplicità, simmetria, iperstaticità e regolarità, oltre che una graduale variazione in altezza delle caratteristiche geometriche e meccaniche. Se necessario, quanto detto può essere perseguito anche suddividendo un'intera struttura in più unità regolari, tra loro indipendenti, collegate mediante giunti.

Per la progettazione nei confronti delle azioni sismiche, le norme ammettono un danneggiamento esteso, ma controllato, delle costruzioni, per i livelli di azione relativi agli SLU, ed un danneggiamento di entità limitata per gli SLE. Mentre per gli SLU, la risposta sismica della struttura è affidata, oltre che alla resistenza, anche alla sua capacità di sviluppare deformazioni cicliche in campo inelastico, invece, per gli Stati Limite di Esercizio, si fa affidamento alle sole caratteristiche di resistenza. Ciò equivale a ricercare, nel primo caso, un comportamento strutturale dissipativo, mentre nel secondo, un comportamento non dissipativo.

Nell'ipotesi di perseguire per gli edifici un comportamento dissipativo, affinché esso sia assicurato per tutta la struttura nel suo insieme, è necessario evitare che si verifichino fenomeni di rottura fragile o meccanismi instabili impreveduti, provvedendo a localizzare le dissipazioni di energia, trasmessa dal sisma, in corrispondenza delle cosiddette zone critiche (o dissipative), a tal scopo progettate e dimensionate. A tal fine, è opportuno, tra l'altro, distribuire le deformazioni inelastiche nel maggior numero possibile di elementi duttili (quali ad esempio le travi), evitando invece che esse si manifestino in corrispondenza di elementi meno duttili (come i pilastri).

Quanto detto viene perseguito improntando la progettazione degli edifici secondo una filosofia che va ben oltre i soli criteri di resistenza, passando per i basilari concetti di duttilità globale e locale, che una qualunque struttura deve possedere, per poter garantire gli attesi standard di sicurezza, secondo le prescrizioni delle norme vigenti. Questi ed altri concetti vengono di seguito esposti e approfonditi, fornendo così un ampio quadro sui criteri generali di progettazione degli edifici in zona sismica, con struttura portante in calcestruzzo armato.

3.2. Regolarità strutturale

Come accennato, la regolarità strutturale degli edifici è una caratteristica essenziale da perseguire, in quanto consente di operare scelte progettuali diverse per la struttura, con riferimento al metodo di analisi da utilizzarsi, assumendo specifici parametri di progetto. Difatti, un edificio che si possa definire *regolare* ha un comportamento antisismico migliore, rispetto ad uno *irregolare*, e quindi può essere «*premiato*» in termini di azioni sismiche di progetto agenti (statiche equivalenti o dinamiche) e verifiche da effettuarsi, come si vedrà in seguito. Diversamente, una struttura irregolare non viene di fatto vietata, ma, a parità di altre condizioni, essa deve

essere progettata per azioni sismiche di progetto più alte di quelle attribuite alle strutture regolari, per poter tenere conto delle maggiori concentrazioni di danno che possono aversi, proprio a causa delle irregolarità.

La definizione di *regolarità*, riportata di seguito, condensa in sé un numero elevatissimo di concetti, ciascuno dei quali induce delle conseguenze sulla progettazione non sempre immediatamente visibili e non facilmente traducibili in operazioni di calcolo sulle strutture reali.

Ad ogni modo, riprendendo la definizione riportata nelle NTC 2018 e relativa Circolare applicativa n. 7/2019, un edificio può essere considerato regolare in pianta e in altezza, se sono rispettati i criteri di seguito riportati.

Un edificio è *regolare in pianta* se sono verificate tutte le condizioni seguenti:

- la distribuzione di masse e rigidezze è approssimativamente simmetrica rispetto a due direzioni ortogonali e la forma in pianta è compatta, ossia il contorno di ogni orizzontamento è convesso; il requisito può ritenersi soddisfatto, anche in presenza di rientranze in pianta, quando esse non influenzano significativamente la rigidezza nel piano dell'orizzontamento e, per ogni rientranza, l'area compresa tra il perimetro dell'orizzontamento e la linea convessa circoscritta all'orizzontamento non supera il 5% dell'area dell'orizzontamento;
- il rapporto tra i lati del rettangolo circoscritto alla pianta di ogni orizzontamento è inferiore a 4;
- ciascun orizzontamento ha una rigidezza nel proprio piano tanto maggiore della corrispondente rigidezza degli elementi strutturali verticali da potersi assumere che la sua deformazione in pianta influenzi in modo trascurabile la distribuzione delle azioni sismiche tra questi ultimi e ha resistenza sufficiente a garantire l'efficacia di tale distribuzione.

Un edificio è *regolare in altezza* se tutte le seguenti condizioni sono rispettate:

- tutti i sistemi resistenti alle azioni orizzontali si estendono per tutta l'altezza della costruzione o, se sono presenti parti aventi differenti altezze, fino alla sommità della rispettiva parte dell'edificio;
- massa e rigidezza rimangono costanti o variano gradualmente, senza bruschi cambiamenti, dalla base alla sommità della costruzione (le variazioni di massa da un orizzontamento all'altro non superano il 25%, la rigidezza non si riduce da un orizzontamento a quello sovrastante più del 30% e non aumenta più del 10%); ai fini della rigidezza si possono considerare regolari in altezza strutture dotate di pareti o nuclei in c.a. o di pareti e nuclei in muratura di sezione costante sull'altezza o di telai controventati in acciaio, ai quali sia affidato almeno il 50% dell'azione sismica alla base;
- il rapporto tra la capacità e la domanda allo SLV non è significativamente diverso, in termini di resistenza, per orizzontamenti successivi (tale rapporto, calcolato per un generico orizzontamento, non deve differire più del 30% dall'analogo rapporto calcolato per l'orizzontamento adiacente); può fare eccezione l'ultimo orizzontamento di strutture intelaiate di almeno tre orizzontamenti;
- eventuali restringimenti della sezione orizzontale della costruzione avvengano con continuità da un orizzontamento al successivo, oppure avvengano in modo che il rientro di un orizzontamento non superi il 10% della dimensione corrispondente all'orizzontamento immediatamente sottostante, né il 30% della dimensione corrispondente al primo orizzontamento. Fa eccezione l'ultimo orizzontamento di costruzioni di almeno quattro orizzontamenti, per il quale non sono previste limitazioni di restringimento.

VERIFICHE AGLI STATI LIMITE

4.1. Verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU)

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.

4.1.1. Resistenze di progetto dei materiali

4.1.1.1. Resistenze di progetto a compressione del calcestruzzo

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

$$f_{cd} = \alpha \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (4.1)$$

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.

Nel caso di elementi piani, quali solette o pareti, gettati in opera, con spessori minori di 5 cm, la resistenza di progetto a compressione va ridotta del 20% e quindi risulta pari a $0,80 f_{cd}$.

4.1.1.2. Resistenze di progetto a trazione del calcestruzzo

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

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{\gamma_c} \quad (4.2)$$

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

Anche per la resistenza a trazione, nel caso di elementi piani, quali solette o pareti, gettati in opera, con spessori minori di 5 cm, si ha una riduzione del 20%.

4.1.1.3. Tensione di snervamento di progetto dell'acciaio

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

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \quad (4.3)$$

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.

4.1.1.4. Tensioni tangenziali di aderenza acciaio-calcestruzzo

La tensione tangenziale di aderenza di progetto acciaio-calcestruzzo, indicata con f_{bd} , vale:

$$f_{bd} = \frac{f_{bk}}{\gamma_c} \quad (4.4)$$

dove:

- γ_c è il coefficiente parziale di sicurezza del cls, 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).

4.1.2. 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.

È necessario, quindi, tenere conto del 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 EDISAP

5.1. Presentazione del software

EdiSAP¹ è un software specifico per l'analisi, la progettazione e il disegno delle armature degli elementi strutturali, di edifici tridimensionali multipiano in calcestruzzo armato, in zona sismica, in conformità alle NTC 2018 e relativa Circolare applicativa n. 7/2019.

Da un punto di vista computazionale, tutte le strutture tridimensionali, composte da elementi verticali (pilastri e pannelli), connessi tra loro da elementi orizzontali (travi e solai), infinitamente rigidi nel proprio piano, costituiscono una categoria particolare definita, appunto, **Edifici Multipiano**.

L'input, l'output ed il calcolo di **EdiSAP**, 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 alla progettazione degli edifici, 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**. Con riferimento a quest'ultimo, vengono prese in considerazione varie situazioni limite, definite come: **Stato Limite Ultimo** (SLU), **Stato Limite di Esercizio** (SLE), effettuando, oltre alle verifiche di resistenza, anche le verifiche a fessurazione, deformazione e tensioni dell'opera in condizioni di esercizio, secondo le ultime disposizioni normative.

Inoltre vengono considerate tutte le possibili condizioni limite, in presenza di sisma, distinguendo: **Stato Limite di Operatività** (SLO) e **Stato Limite di Danno** (SLD), con riferimento agli Stati Limite di Esercizio, mentre **Stato Limite di salvaguardia della Vita** (SLV) e **Stato Limite di prevenzione del Collasso** (SLC), con riferimento agli Stati Limite Ultimi. Ciascuna delle suddette condizioni si riferisce ad una particolare situazione limite, in funzione del grado di danneggiamento che può essere accettato per la struttura, sotto le azioni di progetto.

L'analisi sismica è di tipo **Dinamica Modale**, con calcolo e visualizzazione a video dei **modi di vibrare** della struttura, soggetta all'azione sismica di progetto. Si tiene inoltre conto della dimensione finita delle sezioni e dell'ingombro finito dei nodi e degli effetti della fessurazione. L'analisi è condotta in regime elastico lineare.

Lo scarico del complesso di forze che la struttura trasmette globalmente al terreno sottostante può essere affidato a diverse tipologie di fondazione, scelte dall'utente in base alle caratteristiche geotecniche del terreno di fondazione.

¹ EdiSAP è un software sviluppato dalla S.I.S. *Software Ingegneria Strutturale*.

EdiSAP evidenzia spiccate caratteristiche di interattività e si propone come uno strumento integrato per la progettazione strutturale degli edifici multipiano in calcestruzzo armato, avente tutte le funzioni necessarie per seguire l'intero iter progettuale agli Stati Limite:

- Modellazione geometrica e architettonica;
- Analisi sismica;
- Calcolo delle sollecitazioni;
- Verifica armature degli elementi strutturali.

EdiSAP restituisce in output i risultati delle elaborazioni mediante:

- Relazioni di calcolo complete (conformi alle NTC 2018 e relativa Circolare applicativa n. 7/2019), secondo un modello in formato .doc personalizzabile;
- Disegni esecutivi (con la rappresentazione e il dettaglio delle armature) che possono essere stampati con qualsiasi stampante supportata da MS Windows oppure esportati in formato .pdf o .dxf e poi modificati su CAD esterni.

Il software **EdiSAP** allegato alla presente pubblicazione è in *versione editoriale* e cioè **senza limitazioni solo per quattro mesi dopo la registrazione del prodotto**.

Successivamente il software sarà disponibile con le seguenti limitazioni:

- Edifici con max 4 piani e 40 fili fissi per piano;
 - Sezioni travi e pilastri solo Rettangolari a L e a T;
 - Fondazioni su Piastre;
 - Senza Azione Vento;
 - Senza Edit Armature;
 - Senza Calcolo Stima Vulnerabilità Sismica.
-

5.2. Requisiti hardware e software

Il software **EdiSAP** richiede sistemi operativi 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.

5.3. Download del software e richiesta della password di attivazione

1) Collegarsi al seguente indirizzo internet:

https://www.grafill.it/pass/0036_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**].

AMBIENTE DI LAVORO DEL SOFTWARE EDISAP

6.1. Interfaccia del software

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

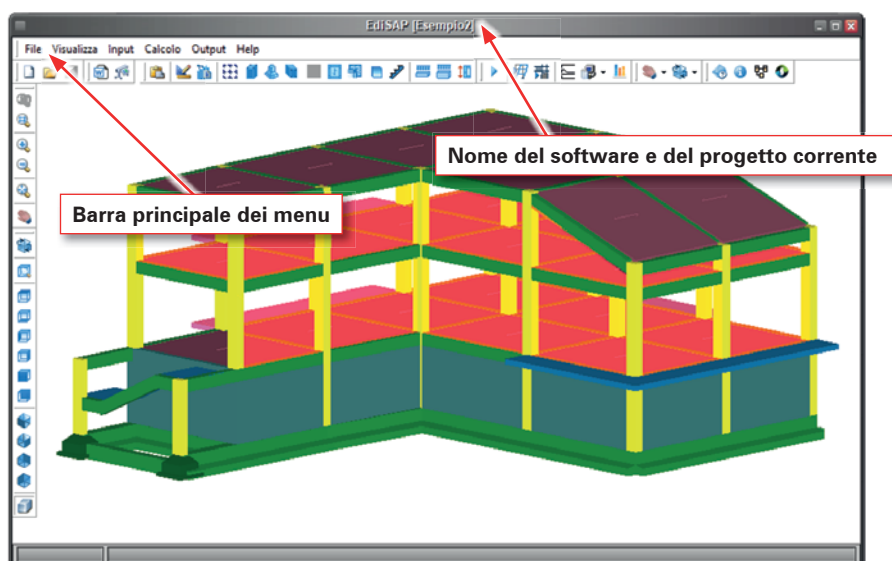


Figura 6.1. Schermata principale

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*. 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 6.1.

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.

6.2. Avvio del software

All'Avvio del software si apre una finestra che permette di effettuare due possibili operazioni: **Creazione Nuovo Progetto** o **Apertura Progetto Esistente**.

6.2.1. Creare un nuovo progetto

Cliccando sul tasto **[OK]**, si apre la scheda **Nuovo Progetto** (Fig. 6.2).



Figura 6.2. Creare Nuovo Progetto

- 1) Indicare il **Nome del Progetto**;
- 2) Selezionare nella barra **Cartella del Progetto**, il percorso che indica la Directory nella quale il progetto verrà salvato;
- 3) Scegliere se creare un progetto **Vuoto** o **da Modello**, selezionando la voce desiderata;
- 4) Se si sceglie di creare un progetto **da Modello**, indicare il file da utilizzare come prototipo nella barra **Modello**.

SINTESI DELLE FASI PRINCIPALI DEL SOFTWARE EDISAP

7.1. 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. 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 esportati in formato .dxf, in modo da agevolare le fasi di modifica e di stampa.

Segue 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 si rimanda all'*Help in linea*.

7.2. 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 o a dati generali, 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:

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

La scheda informazioni, che viene visualizzata all'apertura degli **Archivi di Progetto**, riporta il numero di elementi presenti per ciascuna categoria (Fig. 7.1).



Figura 7.1. Archivi di Progetto

Cliccando su ciascuna voce dell'elenco a cascata, presente sulla sinistra della finestra sopra riportata, verranno mostrati a destra i dati dell'archivio selezionato.

Gli elementi di ciascun archivio si trovano elencati in apposite Tabelle, o Schede, gestibili mediante la **Barra Navigator**, sul fondo della finestra (Fig. 7.2).

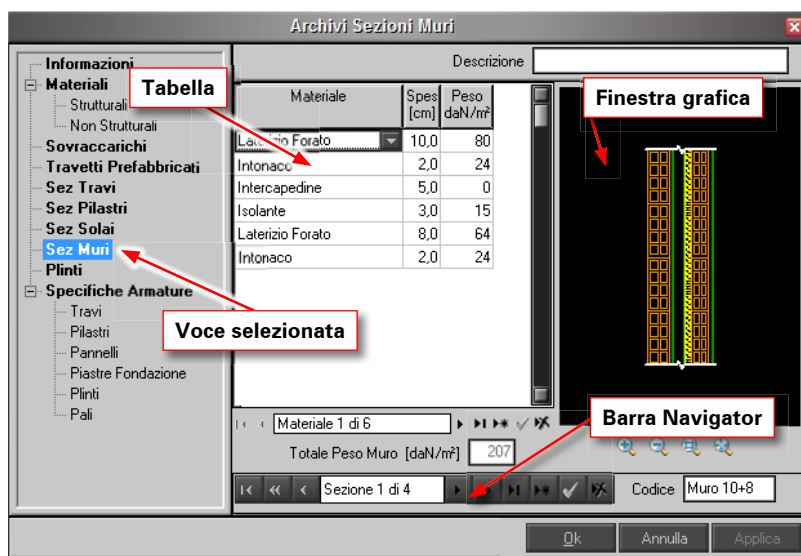


Figura 7.2. Archivi Sezioni Muri

ESEMPIO E VALIDAZIONE SOFTWARE

8.1. 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.

8.2. Esempio applicativo

Nel seguito viene riportato, dunque, un esempio applicativo, interamente svolto e commentato, in cui i risultati ottenuti con il software **EdiSAP**, 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]

8.3. Stampe elaborati di calcolo

Una volta eseguito il calcolo strutturale, il software EdiSAP 2018 consente l'esportazione in formato .doc di diversi elaborati di calcolo.

Questi sono:

- *Relazione di Calcolo Strutturale;*
- *Tabulati di Calcolo;*
- *Relazione Geotecnica;*
- *Relazione sui Materiali;*
- *Relazione Esecutiva;*
- *Computo dei Materiali;*
- *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]

INTRODUZIONE	2
<i>Campi di impiego.....</i>	<i>2</i>
BASI TEORICHE	3
<i>Analisi Statica</i>	<i>3</i>
<i>Analisi Sismica</i>	<i>4</i>
<i>Analisi Dinamica Modale</i>	<i>4</i>
<i>Caratteristiche della Sollecitazione.....</i>	<i>7</i>
<i>Verifiche di Resistenza.....</i>	<i>8</i>
<i>Impostazione Teorica del Problema</i>	<i>9</i>
<i>Verifiche allo Stato Limite Ultimo</i>	<i>10</i>
<i>Verifiche allo Stato Limite di Esercizio.....</i>	<i>16</i>
CASI PROVA.....	19
<i>Telaio tridimensionale.....</i>	<i>19</i>
<i>Analisi Statica</i>	<i>19</i>
<i>Analisi Dinamica</i>	<i>23</i>
<i>Verifica Sezione</i>	<i>24</i>
<i>Azione del Vento.....</i>	<i>26</i>
<i>Azione della Neve</i>	<i>29</i>
<i>Verifiche allo Stato Limite di Esercizio.....</i>	<i>31</i>

INTRODUZIONE

In base a quanto prescritto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni e indicato dalla Circolare Applicativa del 2019, 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

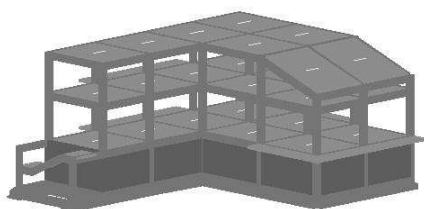
EdiSAP è un software specifico per l'analisi strutturale, dimensionamento, verifica e disegno armature degli elementi strutturali, in calcestruzzo armato, di Edifici Multipiano.

Da un punto di vista computazionale, tutte le strutture tridimensionali, composte da elementi verticali (pilastri e pannelli), connessi tra loro da elementi orizzontali (travi e solai), infinitamente rigidi nel proprio piano, costituiscono una categoria particolare definita, appunto, "Edifici Multipiano".

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

PROGETTO STRUTTURALE ESECUTIVO

Progetto di un edificio in c.a. per civile abitazione



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

EdiSAP 2019 - Software Progettazione Edifici 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 un edificio 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**

Guida teorico-pratica che, con l'ausilio del software (**EdiSAP**), affronta l'analisi, la progettazione e il disegno delle armature degli elementi strutturali di edifici tridimensionali multipiano in calcestruzzo armato, in zona sismica, in conformità alle **NTC 2018** e alla **Circolare applicativa n. 7 del 21 gennaio 2019**. La parte teorica richiama i concetti alla base dei metodi di verifica della sicurezza, con particolare attenzione per il metodo agli Stati Limite, e vengono classificate le possibili azioni agenti sugli edifici, codificandone i modelli che servono a descriverle ed approfondendo gli aspetti connessi alla presenza di azioni sismiche, che rivestono una estrema importanza. Inoltre, vengono affrontate le problematiche della modellazione strutturale specifica per gli edifici, dalla creazione del modello geometrico e architettonico, alla scelta dello schema di calcolo e del tipo di analisi. In particolare, viene approfondita la procedura di generazione del modello geometrico dell'edificio tramite la tecnologia BIM (*Building Information Modeling*). Infine, vengono approfonditi i criteri di verifica specifici per le strutture in c.a., sia gli Stati Limite Ultimi, con riferimento alle problematiche di flessione, taglio e torsione, che agli Stati Limite di Esercizio (deformazione, tensione e fessurazione).

NOTE SUL SOFTWARE INCLUSO

EdiSAP è un software specifico per l'analisi, la progettazione e il disegno delle armature degli elementi strutturali, di edifici tridimensionali multipiano in calcestruzzo armato, in zona sismica, in conformità alle NTC 2018 e alla Circolare applicativa n. 7/2019. L'input, l'output ed il calcolo di **EdiSAP**, sono stati 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 alla progettazione degli edifici, 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) e vengono considerate tutte le possibili condizioni limite, in presenza di sisma, distinguendo: Stato Limite di Operatività (SLO) e Stato Limite di Danno (SLD), con riferimento agli Stati Limite di Esercizio, mentre Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV) e Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC), con riferimento agli Stati Limite Ultimi. **EdiSAP** evidenzia spiccate caratteristiche di interattività e si propone come uno strumento integrato per la progettazione strutturale degli edifici multipiano in calcestruzzo armato, avente tutte le funzioni necessarie per seguire l'intero iter progettuale agli Stati Limite:

- Modellazione geometrica e architettonica;
- Analisi sismica;
- Calcolo delle sollecitazioni;
- Verifica armature degli elementi strutturali.

EdiSAP restituisce in output i risultati delle elaborazioni sia mediante relazioni di calcolo in .doc, secondo un modello personalizzabile, sia mediante elaborati grafici che possono essere stampati oppure esportati in .dxf per essere modificati secondo le esigenze dell'utente.

Requisiti hardware e software: 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 1024x768 (16 milioni di colori); Mouse con rotellina di scroll.

Angelo Longo, Ingegnere civile strutturista, è Direttore Tecnico della **S.I.S. Software Ingegneria Strutturale S.r.l.**, azienda specializzata nella ricerca e nello sviluppo di software ad alto contenuto tecnologico nel settore dell'ingegneria civile strutturale.



ISBN 13 978-88-277-0036-5



9 788827 700365 >

Euro 90,00