



Pietro Savoia

# Progettazione e calcolo di edifici in c.a.

**CALCOLO STRUTTURALE SECONDO IL CRITERIO DELLA GERARCHIA DELLE RESISTENZE CON IL PROGRAMMA **BUILDING FOR WINDOWS****

- Analisi statica e dinamica della struttura
- Progetto delle armature e visualizzazione delle stesse
- Tabulato di calcolo in PDF ed esportazione dei file di progetto, piante ed armature in DXF
- Possibilità di bloccare il piano interrato ai fini sismici
- Verifica dei nodi anche in classe a bassa duttilità e verifica della duttilità dei pilastri allo spiccato delle fondazioni
- Calcolo della duttilità di sezioni, travi e pilastri, sulla base del diagramma momento curvatura in campo non lineare

## **SECONDA EDIZIONE**

Aggiornata alle NTC 2018 (di cui al D.M. 17 gennaio 2018)

## **SOFTWARE INCLUSO**

PROGETTAZIONE E CALCOLO DI EDIFICI MULTIPIANO IN CEMENTO ARMATO SECONDO IL CRITERIO DELLA GERARCHIA DELLE RESISTENZE, AI SENSI DELLE NTC 2018 (DI CUI AL D.M. 17 GENNAIO 2018)

Pietro Savoia

## PROGETTAZIONE E CALCOLO DI EDIFICI IN CEMENTO ARMATO

Ed. II (10-2018)

ISBN 13 978-88-277-0028-0

EAN 9 788827 700280

Collana **Software** (113)

Savoia, Pietro <1955->

Progettazione e calcolo di edifici in cemento armato / Pietro Savoia.

– 2. ed. – Palermo : Grafill, 2018.

(Software ; 113)

ISBN 978-88-277-0028-0

1. Edifici in cemento armato – Progettazione – Impiego [degli] elaboratori.

624.183410285536 CDD-23

SBN Pal0301636

CIP – Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

Il volume è **disponibile anche in eBook** (formato \*.pdf) compatibile con **PC, Macintosh, Smartphone, Tablet, eReader**.

Per l'acquisto di eBook e software sono previsti pagamenti con c/c postale, bonifico bancario, carta di credito e PayPal.

Per i pagamenti con carta di credito e PayPal è consentito il download immediato del prodotto acquistato.

Per maggiori informazioni inquadra con uno Smartphone o un Tablet il Codice QR sottostante.



I lettori di Codice QR sono disponibili gratuitamente su Play Store, App Store e Market Place.

© **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](mailto:grafill@grafill.it)

Finito di stampare nel mese di ottobre 2018

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.

# SOMMARIO

<b>INTRODUZIONE</b> .....	p.	5
<b>1. IL PANORAMA SOFTWARE ATTUALE</b> .....	"	7
<b>2. CENNI TEORICI</b> .....	"	9
<b>2.1.</b> L'organismo strutturale antisismico.....	"	9
<b>2.2.</b> Forma della struttura in pianta .....	"	9
<b>2.3.</b> Distribuzione continua e uniforme della resistenza.....	"	9
<b>2.4.</b> Gli organismi strutturali a doppia orditura di telai: il modello pseudo-tridimensionale.....	"	10
<b>2.5.</b> Analisi spaziale del complesso strutturale.....	"	10
<b>2.6.</b> La matrice di rigidità traslante .....	"	10
<b>2.7.</b> La matrice globale del sistema spaziale.....	"	11
<b>2.8.</b> Cenni sull'analisi dinamica.....	"	13
<b>3. INSTALLAZIONE DEL PROGRAMMA</b>		
<b>BUILDING FOR WINDOWS</b> .....	"	14
<b>3.1.</b> Note sul software incluso.....	"	14
<b>3.2.</b> Requisiti hardware e software.....	"	14
<b>3.3.</b> Download del software .....	"	14
<b>3.4.</b> Installazione ed attivazione del software.....	"	14
<b>4. MANUALE D'USO DEL PROGRAMMA</b>		
<b>BUILDING FOR WINDOWS</b> .....	"	16
<b>4.1.</b> Descrizione e caratteristiche del programma.....	"	16
<b>4.2.</b> L'input dati e l'ambiente di lavoro.....	"	16
<b>4.3.</b> Un esempio concreto .....	"	19
<b>4.3.1.</b> I Dati Generali (⌘G) .....	"	20
<b>4.3.2.</b> Dati Sismici di Piano (⌘E).....	"	22
<b>4.3.3.</b> Procedure "Aggiungi Nodo" e "Aggiungi Asta" (⌘Z) .....	"	22
<b>4.3.4.</b> Coordinate Nodali (⌘X).....	"	23
<b>4.3.5.</b> Definizione Telai (⌘T) .....	"	25
<b>4.3.6.</b> Dati Geometrici dei Pilastri (⌘A) .....	"	26
<b>4.3.7.</b> I Dati Geometrici Delle Travi (⌘B) .....	"	27
<b>4.3.8.</b> I Carichi Nodali (⌘L).....	"	28

4.3.9.	Carichi Distribuiti sulle Travi (⌘D) .....	p.	28
4.3.10.	Dati Solai (⌘L).....	"	29
4.3.11.	Il menu "Edit Piani".....	"	30
4.3.12.	Dati e carichi della fondazione.....	"	32
4.3.13.	La memorizzazione dei dati (⌘S).....	"	32
4.3.14.	La lettura da un archivio esistente (⌘O) .....	"	33
<b>5.</b>	<b>ANALISI DEI CARICHI E ANALISI SISMICA .....</b>	"	34
5.1.	Analisi dei carichi .....	"	34
5.2.	Analisi sismica .....	"	34
5.3.	Analisi dinamica .....	"	34
5.4.	Verifica allo Stato Limite di Danno (SLD).....	"	35
5.5.	Ripartizione delle forze orizzontali.....	"	35
<b>6.</b>	<b>ANALISI DELLA SOLLECITAZIONE.....</b>	"	38
6.1.	Il calcolo dei telai.....	"	38
6.2.	Rappresentazione grafica dei risultati.....	"	39
<b>7.</b>	<b>IL PROGETTO DELLE ARMATURE.....</b>	"	43
7.1.	Il progetto delle travi.....	"	43
7.2.	Il progetto dei pilastri.....	"	44
7.3.	Creazione dei file DXF e stampa del tabulato di calcolo.....	"	46
7.4.	Risultati.....	"	46
7.5.	Tabulato di calcolo.....	"	47
<b>8.</b>	<b>TEST NUMERICO DI CONFRONTO.....</b>	"	48
8.1.	Confronto dei risultati del test .....	"	48
8.2.	Conclusioni .....	"	49
	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	"	53

## INTRODUZIONE

Il programma **BUILDING for Windows**, allegato alla presente pubblicazione, costituisce un sistema autonomo e completo mediante il quale è possibile effettuare l'analisi statica o dinamica modale di edifici intelaiati in cemento armato ai sensi del D.M. 17 gennaio 2018.

Il codice **BUILDING for Windows** è la versione per Windows del conosciuto e apprezzato codice per Macintosh **Mac Sys Graph**. I numerosi progettisti italiani che usano da anni la versione per Macintosh del programma **BUILDING**, ne hanno sempre apprezzato la facilità d'uso, la velocità, l'attendibilità dei risultati e l'assistenza fornita in qualsiasi momento.

Ringrazio sentitamente le persone che, attraverso i loro continui e validi suggerimenti nel corso degli anni, hanno consentito di migliorare e perfezionare questo lavoro.

Rossano, ottobre 2018

L'Autore  
*Pietro Savoia*

## IL PANORAMA SOFTWARE ATTUALE

Sono ormai passati i tempi da quando, nel sogno di ogni progettista, c'era un Apple II sulla propria scrivania che gli poteva risolvere in pochi secondi, il lavoro estenuante di giorni, il calcolo di un telaio con il metodo di Kani o Cross. E sono anche passati i tempi in cui venivano usati i metodi di rilassamento per il calcolo delle strutture, lasciando posto al più moderno e potente metodo degli elementi finiti FEM.

Quasi tutti i pacchetti presenti oggi sul mercato utilizzano tecniche agli elementi finiti, l'unica differenza tra di loro è nel campo di applicazione.

I codici provenienti d'oltre oceano del genere di SAP80, SAP90, SUPERSAP, NASTRAN etc., hanno un approccio globale col problema, sono in grado di risolvere qualsiasi tipo di struttura, di qualsiasi materiale e di qualsiasi forma, nel piano o nello spazio. Per questi codici, progettare l'alettone di una monoposto o una travatura reticolare di un modesto capannone non vi è alcuna differenza operativa. Per usare questi pacchetti, occorre una grossa esperienza teorica nel campo delle strutture altrimenti l'errore è inevitabile.

La situazione della produzione del software in Italia è diversa in quanto c'è un'offerta molto ampia che va dal semplice programmino che effettua la verifica delle sezioni, il calcolo di telai piani o il calcolo di travature reticolari etc., a quello più complesso che calcola interi edifici in cemento armato o acciaio ed è a questi che è rivolta la maggior attenzione da parte dei produttori di software e dei progettisti.

L'Italia, com'è noto, è un paese a grosso rischio sismico ed il novanta per cento delle costruzioni è realizzata con strutture intelaiate in cemento armato per cui, non deve meravigliare se la maggior parte dei pacchetti esistenti sul mercato sia mirato alla soluzione di questi problemi. Quasi tutti i pacchetti dispongono ormai di pre e post processori grafici che consentono un immediato controllo dei dati e dei risultati direttamente a video e quasi tutti consentono di dialogare, tramite file in formato DXF, con i maggiori pacchetti CAD disponibili sul mercato. Pertanto la scelta di uno o dell'altro è dettata da motivi prettamente soggettivi o economici e **BUILDING** rientra tra questi.

### **A chi è rivolto BUILDING?**

A tutti coloro che operano nel campo delle strutture in cemento armato.

### **Cosa consente di fare BUILDING?**

- L'analisi statica o dinamica di edifici intelaiati in cemento armato con elementi *beam*, cioè aste prismatiche a sezione costante rettangolare (le più comunemente usate dai progettisti).
- Esegue in automatico l'analisi dei carichi sulle travi, delle masse e delle forze sismiche sugli impalcati, sulla base dei carichi unitari e delle orditure dei solai.

## CENNI TEORICI

### 2.1. L'organismo strutturale antisismico

L'organismo strutturale di un moderno edificio antisismico è costituito da elementi resistenti verticali ed orizzontali che, per il carattere antisismico dell'edificio, devono svolgere delle funzioni resistenti molto diverse da quelle che essi assolvono in un edificio convenzionale.

È opportuno, prima di addentrarci nelle metodologie e tecniche di calcolo, esaminare i criteri e le tipologie strutturali più comuni utilizzate nella costruzione di un moderno edificio.

### 2.2. Forma della struttura in pianta

Per una buona risposta sismica, una struttura in linea di principio deve essere:

- semplice;
- simmetrica;
- non essere troppo allungata.

Tanto più lungo è un edificio tanto maggiore è la probabilità che movimenti sismici differenti vengano applicati simultaneamente alle sue estremità, situazione che può provocare risultati disastrosi.

Un edificio lungo può essere suddiviso mediante giunti tecnici opportunamente dimensionati per evitare fenomeni di martellamento tra le facciate e, specialmente se i solai dei due edifici sono sfalsati tra di loro, si può verificare il tranciamento dei pilastri.

Sono da evitare assolutamente edifici con forma della pianta ad L o a T, edifici con pianta ad H, invece, possono essere adottati se le rientranze delle facciate sono ragionevolmente ridotte.

### 2.3. Distribuzione continua e uniforme della resistenza

Anche se questi criteri non sono assoluti, una struttura avrà la massima possibilità di sopravvivere se:

- gli elementi portanti sono distribuiti uniformemente;
- tutti i pilastri e le pareti sono continui senza disassamenti dal tetto alle fondazioni;
- tutte le travi sono prive di disassamenti;
- pilastri e travi sono coassiali;
- pilastri e travi in cemento armato hanno approssimativamente la stessa larghezza;
- nessuno degli elementi principali cambia improvvisamente sezione;
- le travi cedono prima dei pilastri.

## 2.4. Gli organismi strutturali a doppia orditura di telai: il modello pseudo-tridimensionale

L'ossatura più comune di un edificio in c.a. antisismico è costituito da una doppia orditura di telai collegati tra di loro, a livello di ciascun piano, dal diaframma orizzontale dei solai. Questi ultimi sono considerati infinitamente rigidi nel proprio piano e infinitamente deformabili fuori del piano.

Ciascun pilastro è considerato separatamente nell'ambito dei due telai che lo contengono e lo sforzo normale totale viene valutato come somma dei valori nei due differenti telai. Viene inoltre, di norma, la rigidità torsionale propria degli elementi. Questo modello veniva usato già da Wilson nel suo programma **TABS**, in uso dagli anni sessanta.

La soluzione agli elementi finiti che si ottiene con queste semplici considerazioni di natura geometrica è quella di telai piani composti da aste verticali e orizzontali, ciascuna con tre parametri di deformazione nodale alle estremità. Rispetto ad un modello rigorosamente tridimensionale, si commette in tal modo l'errore del non perfetto valore dello spostamento verticale nei pilastri, che si ottiene come somma degli spostamenti ricavati separatamente per i telai che lo comprendono. Questa, insieme al non perfetto allineamento in pianta dei telai, costituisce l'unica approssimazione che si commette rispetto ad un modello molto più complesso da trattare.

Il caso in cui questo modello cade in difetto si ha per piante talmente complesse da rendere impossibile una suddivisione in telai o quando vengono a mancare pilastri ai piani inferiori, per cui acquista rilevanza lo spostamento verticale dei nodi.

## 2.5. Analisi spaziale del complesso strutturale

L'effetto del sisma sull'edificio è riconducibile a forze orizzontali applicate ai baricentri delle masse degli impalcati. Queste forze orizzontali devono essere assorbite dalle strutture verticali che, a seconda, possono essere telai, pareti taglianti, nuclei, etc., e devono essere disposte in modo da garantire una sufficiente resistenza in tutte le direzioni.

In base alle considerazioni esposte e alle ipotesi a base del modello pseudo-tridimensionale, il problema tridimensionale si riconduce all'analisi di un complesso spaziale di sistemi piani di controvento (telai o pareti) collegati ai vari piani dal diaframma orizzontale dei solai, infinitamente rigidi nel loro piano orizzontale. Il vero problema da risolvere consiste allora nel valutare le spinte che si esercitano ai vari piani su ciascun elemento resistente di controvento, spinte da determinarsi nel rispetto dell'equilibrio e della congruenza delle deformazioni di ciascun piano.

## 2.6. La matrice di rigidità traslante

Gli elementi verticali resistenti presenti in un edificio, hanno in genere una diversa deformabilità che ne caratterizza il comportamento dell'elemento stesso nei riguardi dell'assetto statico globale.

Prima di affrontare il problema della soluzione spaziale del complesso strutturale è necessario definire la matrice di rigidità traslante del singolo elemento di controvento  $K_l$ .

La matrice di rigidità traslante di un telaio a 3 piani avrà in generale l'aspetto:



## INSTALLAZIONE DEL PROGRAMMA BUILDING FOR WINDOWS

### 3.1. Note sul software incluso

**BUILDING for Windows**<sup>1</sup> è un programma di calcolo strutturale per l'analisi di edifici intelaiati in c.a., secondo il criterio della gerarchia delle resistenze, aggiornato alle nuove NTC 2018 di cui al D.M. 17 gennaio 2018.

Il programma è stato sviluppato in linguaggio multiplatforma "Xojo".

### 3.2. Requisiti hardware e software

- Processore da 2.00 GHz;
- MS Windows Vista/7/8/10 (*è necessario disporre dei privilegi di amministratore*);
- MS .Net Framework 4 o vs. successive;
- 250 MB liberi sull'HDD;
- 2 GB di RAM (consigliati 4 GB di RAM);
- Accesso ad internet e browser web.

### 3.3. Download del software

1) Collegarsi al seguente indirizzo internet:

**[https://www.grafill.it/pass/0028\\_0.php](https://www.grafill.it/pass/0028_0.php)**

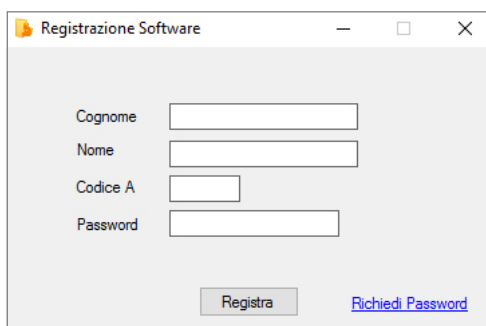
- 2) Inserire i codici "A" e "B" (vedi ultima pagina del volume) e cliccare [**Continua**].
- 3) **Per utenti registrati** su [www.grafill.it](http://www.grafill.it): inserire i dati di accesso e cliccare [**Accedi**], accettare la licenza d'uso e cliccare [**Continua**].
- 4) **Per utenti non registrati** su [www.grafill.it](http://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** sarà inviato, in tempo reale, all'indirizzo di posta elettronica inserito nel form di registrazione.

### 3.4. 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 **88-277-0029-7.exe**.

<sup>1</sup> Il software incluso è parte integrante della presente pubblicazione e resterà disponibile nel menu **G-cloud** dell'area personale del sito [www.grafill.it](http://www.grafill.it).

- 3) Avviare il software:
  - Per utenti MS Windows Vista/7/8: [Start] > [Tutti i programmi] > > [Grafill] > [Building for Windows II Ed] (cartella)
    - > [Building for Windows II Ed] (icona di avvio)
  - Per utenti MS Windows 10: [Start] > [Tutte le app] > [Grafill] > > [Building for Windows II Ed] (icona di avvio)
- 4) Compilare la maschera *Registrazione Software* e cliccare su [Registra].



Registrazione Software

Cognome

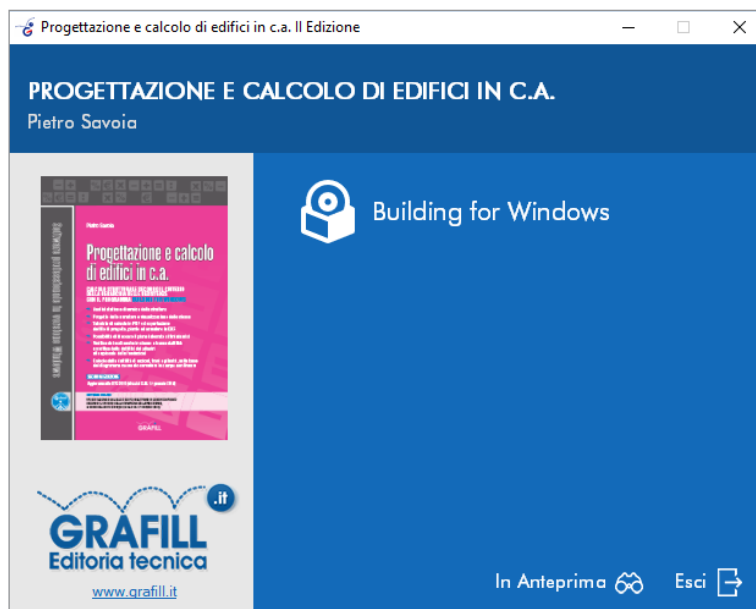
Nome

Codice A

Password

Registra [Richiedi Password](#)

- 5) Verrà visualizzata la maschera iniziale del software, di seguito rappresentata, dalla quale si potrà accedere alle utilità disponibili.



Nel capitolo che segue verranno illustrate, dettagliatamente, tutte le modalità di controllo, sequenza e assegnazione dei dati.

## MANUALE D'USO DEL PROGRAMMA BUILDING FOR WINDOWS

L'organizzazione generale del programma è stata articolata secondo il seguente schema funzionale:

1)	INPUT DATI
2)	ANALISI DEI CARICHI E ANALISI SISMICA
3)	ANALISI DELLA SOLLECITAZIONE
4)	PROGETTO DELLE ARMATURE
5)	STAMPA DEI RISULTATI

Verranno di seguito illustrate, dettagliatamente, tutte le modalità di controllo, sequenza e assegnazione dei dati.

### 4.1. Descrizione e caratteristiche del programma

Il programma si presenta come qualsiasi applicazione che gira sotto il sistema operativo Windows e risulta perfettamente allineato agli standard previsti da questo sistemi operativo, ovvero, ad oggetti (menu a tendina, pulsanti, etc.).

I comandi principali, per facilità d'uso, sono riassunti in pulsanti collocati sulla barra principale dei pulsanti.

Le dimensioni massime consentite dal programma nella versione Grafill sono:

Numero massimo di Piani	5
Numero massimo di Pilastrini in pianta	200
Numero massimo di Travi in pianta	200
Numero massimo di Solai in pianta	50
Numero massimo di Telai	50
Numero massimo di Campate per Telaio	30

**N.B.** *Il programma BUILDING for Windows consente di analizzare edifici di medie e grandi dimensioni sia in pianta che in elevazione.*

### 4.2. L'input dati e l'ambiente di lavoro

L'ambiente di lavoro e l'interfaccia grafica di **BUILDING for Windows** è stata realizzata, come già detto in precedenza, in conformità alle linee guida di Windows, utilizzando menu a tendina, icone in linea sulla *Toolbar*, etc. (vedi **Figura 4.1**).

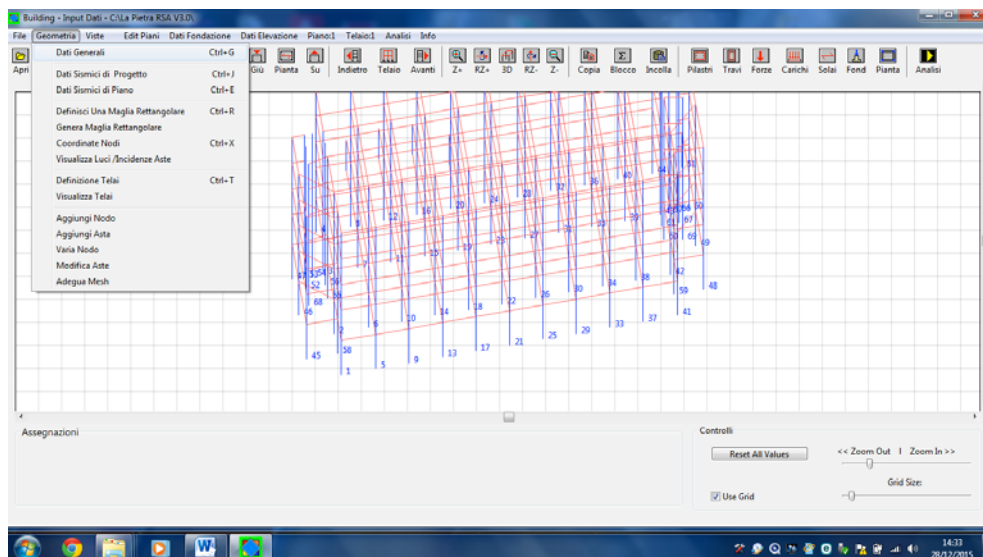


Figura 4.1.

Le varie funzioni del programma possono essere attivate scegliendo la corrispondente voce di menu, o cliccando sul corrispondente pulsante della *Toolbar*.

Ad esempio, la registrazione dei dati può essere effettuata selezionando “**Salva Progetto**” dal menu “**File**” oppure cliccando sulla prima icona della *Toolbar*.

I dati vengono memorizzati all’interno di una cartella che deve essere creata dalla finestra di dialogo in Windows.

Verranno di seguito elencate le varie voci, con i relativi tasti funzione, contenute nei menu principali:

Il menu “**File**” (vedi **Figura 4.2**):

File	Geometria	Viste	Edit Piani	Dati Fondazio
	Nuova Struttura			Ctrl+N
	Apri Struttura Esistente			Ctrl+O
	Importa Archivio da WSG 95			
	Importa Archivio Building V.n 1.0			
	Salva Con Nome			Ctrl+S
	Apri Spettro di Progetto			
	Salva Spettro di Progetto			
	Esporta Piante in DXF			Ctrl+D
	Intestazione Dati			
	Stampa Schermo			Ctrl+P
	Esci			Ctrl+Q

Figura 4.2.

## ANALISI DEI CARICHI E ANALISI SISMICA

### 5.1. Analisi dei carichi

L'analisi dei carichi viene condotta per piani. Partendo dall'ultimo piano dell'edificio, il carico  $Q$  dei solai, viene trasformato in carico  $q$  sulle travi, a quest'ultimo viene aggiunto successivamente il carico esterno, separatamente per i carichi permanenti ed accidentali. Il peso proprio della struttura viene quindi calcolato ed aggiunto automaticamente dal programma. L'interasse dei solai è considerato sulla luce netta.

Ottenuti i carichi distribuiti sulle travi viene calcolato lo sforzo normale nei pilastri considerando l'edificio a nodi fissi, ovvero, come somma dei  $q \cdot l/2$  derivanti dai carichi sulle travi. Allo sforzo normale verticale vengono aggiunte le eventuali forze nodali esterne.

Per ogni piano viene calcolato e visualizzato sia il baricentro delle masse che quello delle rigidità.

Eseguita l'analisi dei carichi, viene effettuata l'analisi sismica, statica o dinamica, in base a quanto prescritto nell'Ordinanza Ministeriale n. 3274 del 8 maggio 2003.

### 5.2. Analisi sismica

L'azione sismica viene valutata in base allo spettro di progetto per lo stato limite ultimo definito al punto 3.2.5 dell'O.M..

L'analisi mediante il metodo delle “**Forze Statiche Equivalenti**”, secondo quanto prescritto al punto 4.5.2 dell'O.M., viene effettuata calcolando le forze orizzontali da applicare alla struttura, in base al periodo approssimato calcolato come:

$$T_1 = C_1 H^{3/4}$$

dove  $H$  è l'altezza dell'edificio in metri e  $C_1 = 0.075$  per le strutture in cemento armato.

L'analisi, viene effettuata considerando due condizioni di carico indipendenti, ciascuna delle quali considera le forze sismiche di piano, applicate nel baricentro delle masse e dirette rispettivamente secondo le direzioni X e Y. Ad ogni piano viene aggiunta un'eccentricità accidentale  $e_1$  pari al 5% della dimensione massima del piano considerato in direzione perpendicolare all'azione sismica.

### 5.3. Analisi dinamica

L'analisi dinamica “**Modale**”, viene effettuata attraverso lo spettro di progetto, vengono considerati tutti i modi partecipanti associati, fino ad eccitare una percentuale di massa superiore all'85%. La combinazione dei modi per la determinazione delle sollecitazioni, può essere effettuata secondo il metodo SRSS o CQC.

#### 5.4. Verifica allo Stato Limite di Danno (SLD)

Lo spettro di progetto allo **SLD**, si ottiene dividendo lo spettro elastico 3.2.3 per un fattore pari a 1,0. In automatico il programma pone  $q = 1$  se si effettua la verifica allo **SLD**.

#### 5.5. Ripartizione delle forze orizzontali

La ripartizione delle forze orizzontali sul complesso strutturale è effettuata considerando l'edificio composto da un insieme tridimensionale di telai piani orientati in direzione X e Y, collegati tra di loro dai solai, considerati infinitamente rigidi nel proprio piano.

In questo modo la deformazione globale dell'edificio viene individuata da tre parametri cinematici che caratterizzano il moto rigido di ciascun piano:

- traslazione lungo X;
- traslazione lungo Y;
- rotazione intorno all'origine degli assi.

Pertanto, se  $n$  è il numero dei piani, si avranno  $3n$  parametri cinematici.

I passi che si effettuano per determinare le forze orizzontali agenti su ogni telaio sono:

- calcolo delle matrici di rigidità traslante di ogni singolo telaio  $K_i^{(i)}$ ;
- assemblaggio delle singole matrici nella matrice globale dell'edificio  $K_{gj}$ ;
- calcolo degli spostamenti di piano  $S$ ;
- calcolo delle spinte orizzontali agenti sui singoli telai  $Q^{(i)}$ .

I risultati dell'analisi sismica possono essere visualizzati in forma grafica.

Le opzioni grafiche offerte dal programma sono:

- 1) Controllo delle deformate degli impalcati con rappresentazione dei baricentri delle masse e delle rigidzze per ogni modo di vibrazione, in direzione X o Y. In **Figura 5.1** è rappresentata la deformata modale dell'edificio per effetto del sisma in direzione X.

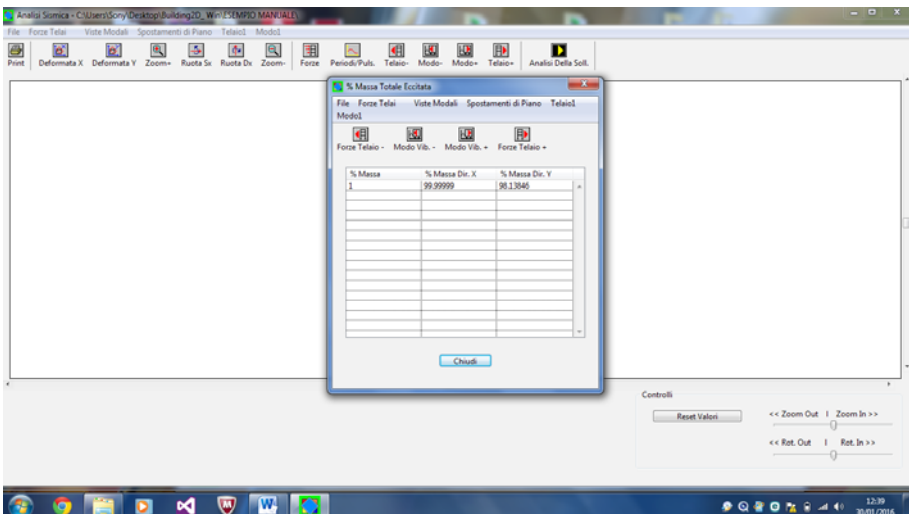


Figura 5.1.

## ANALISI DELLA SOLLECITAZIONE

### 6.1. Il calcolo dei telai

Il calcolo delle sollecitazioni negli elementi avviene analizzando in sequenza tutti i telai dell'edificio.

La soluzione dei telai viene effettuata mediante il metodo degli elementi finiti, considerando gli elementi travi e pilastri come elementi monodimensionali deformabili a flessione e taglio.

La matrice di rigidezza a banda, viene costruita mediante assemblaggio diretto delle matrici di rigidezza delle singole aste.

I parametri della deformazione nodale di ogni asta sono:

- 1) rotazione dei nodi;
- 2) deformazione assiale dei pilastri;
- 3) deformazione assiale delle travi.

La deformabilità assiale dei pilastri e delle travi consente uno studio più approfondito e generale dei telai.

Infatti, il programma permette di calcolare:

- telai con mensole a sbalzo;
- telai con pilastri mancanti ai piani inferiori;
- telai con aste inclinate in copertura, etc.;
- suddivisione in conci di travi.

**N.B.** Il calcolo tiene conto anche del piano interrato bloccato se in fase di input si è assegnato all'altezza del primo piano il valore zero.

Le condizioni di carico previste per ciascun telaio sono:

- 1) Peso Proprio;
- 2) Sovraccarichi permanenti;
- 3) Sovraccarichi Accidentali (una per ogni categoria di carico);
- 4) Forze Orizzontali Sisma nella direzione principale X o Y;
- 5) Forze Orizzontali dovute agli effetti torsionali del sisma, agente nella direzione ortogonale al telaio considerato.

Le sollecitazioni vengono divise per le travi e per i pilastri. Esse, man mano che i telai vengono risolti, sono memorizzate in memoria centrale in due grosse matrici contenenti tutte le condizioni di carico. In questo modo si lavora con i dati sempre presenti in memoria centrale, conferendo così al programma una grande velocità di elaborazione.

Ciascun pilastro, generalmente, appartiene a due telai mutuamente ortogonali tra di loro.

Quindi, lo **Sforzo Normale Totale**, si ottiene sommando gli sforzi normali calcolati separatamente per i due telai ortogonali.

## 6.2. Rappresentazione grafica dei risultati

Il programma prevede, per ogni telaio, la rappresentazione grafica di:

### *Diagramma del Momento Flettente per Carichi Verticali*

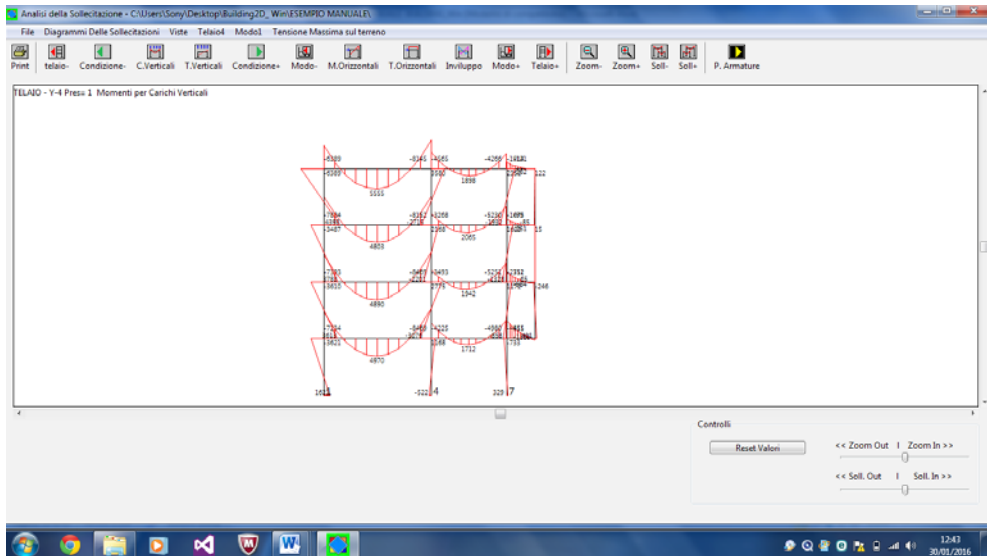


Figura 6.1.

### *Diagramma del Taglio per Carichi Verticali*

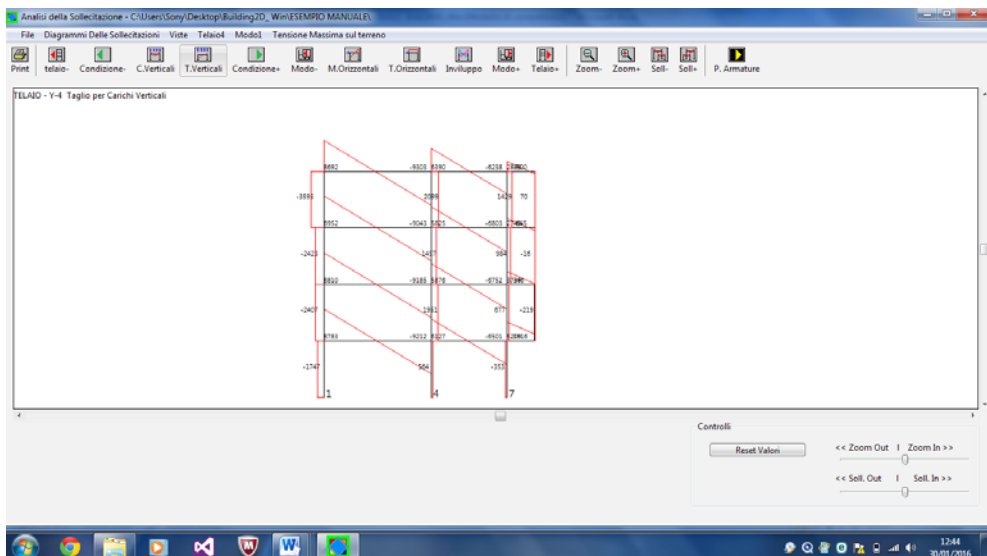


Figura 6.2.

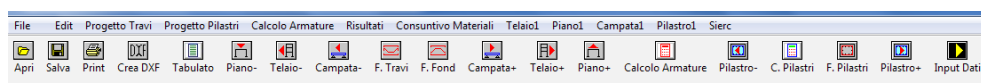


## IL PROGETTO DELLE ARMATURE

Il progetto delle armature delle travi e dei pilastri viene effettuato con il metodo allo stato limite ultimo SLU, secondo quanto prescritto nell'O.M. n. 3274 dell'8 maggio 2003 e D.M 17 gennaio 2018.

L'editor grafico è unico, sia per le travi che per i pilastri.

In **Figura 7.1**, è riportata la *Toolbar* per la gestione del progetto delle armature.



**Figura 7.1.**

Le icone riportate sulla *Toolbar* eseguono le seguenti funzioni:

- 1) “**Apri**” – Richiama l’ultimo progetto eseguito;
- 2) “**Salva**” – Memorizza il progetto in corso;
- 3) “**Print**” – Stampa il disegno riportato a video;
- 4) “**Crea DXF**” – Esporta le armature in formato DXF.
- 5) “**Piano-**” – Diminuisce di piano;
- 6) “**Piano+**” – Aumenta di piano;
- 7) “**Telaio-**” – Visualizza il telaio precedente;
- 8) “**Telaio+**” – Visualizza il telaio seguente;
- 9) “**F. Travi**” – Visualizza il progetto delle travi in elevazione;
- 10) “**F. Fond**” – Esegue il calcolo delle travi;
- 11) “**C. Armature**” – Effettua il calcolo delle armature, travi e pilastri;
- 12) “**Pilastro-**” – Visualizza il pilastro precedente;
- 13) “**Pilastro+**” – Visualizza il pilastro seguente;
- 14) “**F. Pilastri**” – Attiva la visualizzazione dei pilastri.

### 7.1. Il progetto delle travi

Prima di eseguire il progetto delle armature è possibile modificare le specifiche progettuali tramite la finestra di dialogo di **Figura 7.1**, alla quale si accede dalla voce di menu “**Specifiche di Progetto ☞M**”, dal menu “**Progetto Travi**”.

Le specifiche di progetto si possono assegnare separatamente per le travi in elevazione che in fondazione.

Vengono richiesti:

- il diametro dei ferri reggistaffe;
- il diametro dei ferri principali (monconi e cavallotti);
- il diametro delle staffe;
- la tensione di snervamento dell'acciaio;
- le specifiche di staffatura agli appoggi ed in campata;
- la distanza minima tra i ferri.

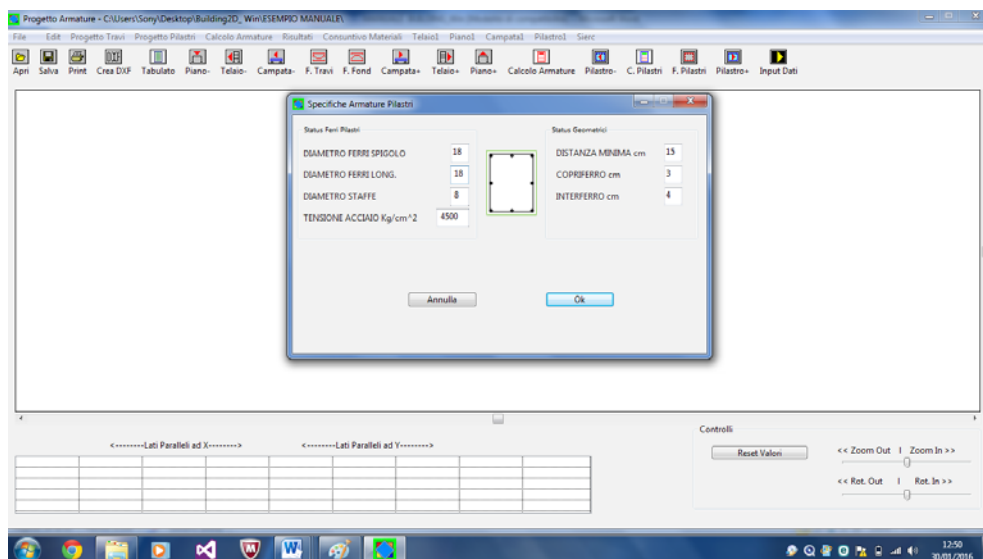


Figura 7.2.

Il progetto delle travi in elevazione o in fondazione viene effettuato mediante la selezione delle rispettive icone. Viene proposto a video il progetto completo di ogni travata di telaio in scala 1:50 o 1:100.

È possibile spostarsi da un telaio ad un altro, da un piano all'altro o da una campata all'altra, agendo sulle icone o sulle corrispondenti voci del menu “**Edit**”.

Il progetto delle armature viene effettuato a flessione e taglio. La tipologia di armatura a ferri diritti prevede che l'intero sforzo di scorrimento venga assorbito dalle staffe e dai ferri di parete.

La combinazione dei carichi per le verifiche e il disegno dei particolari costruttivi è conforme alle prescrizioni dell'EC-2, D.M. 9 gennaio 1996 e del D.M. 10 aprile 1997, O.M. n. 3274 punto 5.5, D.M. 14 gennaio 2008 e D.M. 17 gennaio 2018.

## 7.2. Il progetto dei pilastri

Prima di eseguire il progetto delle armature dei pilastri è possibile modificare le specifiche progettuali tramite la finestra di dialogo di **Figura 7.3**, alla quale si accede dal menu “**Progetto Pilastri** ☒”.

## TEST NUMERICO DI CONFRONTO

A titolo di esempio, viene analizzato l'edificio riportato su *Ingegneria Antisismica* (Volume 1, Capitolo 5, autore Prof. Roberto Ramasco, Ed. Liguori, Napoli).

Trattasi di un edificio a tre piani a pianta rettangolare in zona sismica di 1° categoria, dalle dimensioni in pianta di m 15,00×9,00 che presenta, per una maggiore generalità, un arretramento all'ultimo piano. Le dimensioni dei pilastri sono di 50×50, 40×40, 35×35 cm, rispettivamente per il primo, secondo e terzo interpiano.

Le altezze dei piani sono invece di 420, 350, 350 cm, rispettivamente al primo, secondo e terzo piano. Il valore del modulo elastico E si assume pari a 250000 kg/cm<sup>2</sup>. Viene inoltre fatta l'ipotesi di telai con traversi infinitamente rigidi, secondo il modello Shear Type. Nel tabulato allegato, viene evidenziata l'organizzazione di stampa dei risultati e dei grafici ottenibili dal programma.

### 8.1. Confronto dei risultati del test

Nelle allegate tabelle vengono riportati i risultati dell'analisi dinamica ottenuti con il programma **BUILDING** e confrontati con quelli del test in esame, per i cinque modi di vibrazione calcolati si riportano i periodi le frequenze e le Forze Globali di Piano, considerando uno spettro di progetto agente in direzione Y.

Modo	Periodo T(sec)		Frequenze $w^2$	
	Building	Test	Building	Test
1	0,3235	0,3227	376,85	379,11
2	0,3169	0,3160	392,71	418,72
3	0,2169	0,2175	830,30	834,68
4	0,1479	0,1466	1802,94	1835
5	0,1462	0,1450	1845,11	1877

Tabella 8.1. Periodi e frequenze

Piano	Sisma X		Sisma Y	
	Building	Test	Building	Test
1	-663	-678	3992	4057
2	-1434	-1454	8651	8734
3	-1542	-1544	10284	10253

Tabella 8.2. Forze globali di piano 1° Modo

Piano	Sisma X		Sisma Y	
	WSG	Test	WSG	Test
1	693	711	108	111
2	1495	1519	234	239
3	1631	1635	255	258

**Tabella 8.3.** Forze globali di piano 2° Modo

Piano	Sisma X		Sisma Y	
	WSG	Test	WSG	Test
1	-39	-41	738	735
2	-88	-187	1377	1366
3	-91	-92	-210	-203

**Tabella 8.4.** Forze globali di piano 3° Modo

Piano	Sisma X		Sisma Y	
	WSG	Test	WSG	Test
1	955	1014	309	356
2	1180	1223	382	430
3	-989	-1048	-320	-368

**Tabella 8.5.** Forze globali di piano 4° Modo

Piano	Sisma X		Sisma Y	
	Building	Test	Building	Test
1	-980	-1040	2592	2538
2	-1177	-1231	3131	2994
3	-1017	1076	-2683	-2620

**Tabella 8.6.** Forze globali di piano 5° Modo

## 8.2. Conclusioni

Dall'esame di queste tabelle, si evidenzia la quasi perfetta corrispondenza tra i risultati del test e quelli ottenuti con il programma **BUILDING for Windows**. Le marginali differenze sono dovute alle differenze di macchina.

In allegato vengono riportati i listati per il calcolo degli autovettori ed autovalori secondo il metodo di Stodola Vianello, il programma per il calcolo della matrice di rigidità traslante di un telaio piano ed il programma per la costruzione e soluzione della matrice spaziale globale dell'edificio.

Manuale operativo di **BUILDING for Windows**, programma di calcolo strutturale per l'analisi di edifici intelaiati in c.a., secondo il criterio della gerarchia delle resistenze, **aggiornato alle nuove NTC 2018 di cui al D.M. 17 gennaio 2018**.

**Caratteristiche generali:** il programma ha notevoli potenzialità di calcolo; consente l'analisi di edifici con mensole a sbalzo, piani arretrati, tetti a falde, telai zoppi al piano terra, ecc.. Travi e pilastri sono di sezione rettangolare, deformabili a flessione e taglio.

**Analisi dei carichi:** viene eseguita in automatico sulla base dell'orditura dei solai e delle categorie di sovraccarico accidentale considerate, vengono calcolati i carichi sulle travi, le masse di piano, il baricentro delle masse e delle rigidezze.

**Analisi sismica:** viene eseguita l'analisi sismica statica o dinamica, considerando un'eccentricità accidentale del  $\pm 5\%$  in tutte e due le direzioni del sisma. La combinazione modale può essere fatta con il **metodo CQC o SRSS**.

**Analisi della sollecitazione:** il programma è dotato di un proprio solutore agli elementi finiti che utilizza esclusivamente elementi Beam monodimensionali. Vengono analizzati in sequenza tutti i telai dell'edificio e per tutte le combinazioni di carico. Per ogni nodo del telaio vengono considerati tre parametri di deformazione, pertanto la matrice locale dell'elemento avrà dimensioni  $6 \times 6$ . È possibile visualizzare tutti i diagrammi delle sollecitazioni sulle aste nonché l'inviluppo.

**Calcolo fondazione:** la fondazione, a graticcio su suolo elastico, è calcolata separatamente dalla struttura in elevazione, applicando nei nodi i carichi alla base dei pilastri.

**Progetto armature:** assegnati i parametri di progetto per travi e pilastri, viene calcolata l'armatura per ciascun elemento, considerando 34 condizioni di carico indipendente. Le armature vengono visualizzate con la possibilità di esportare in DXF.

**Verifica a fessurazione e stati limite di esercizio:** viene effettuata sia la verifica a fessurazione che agli Stati Limite di Esercizio.

**BUILDING for Windows** ha un input grafico altamente interattivo ed esegue: analisi statica e dinamica della struttura; calcolo delle sollecitazioni; progetto delle armature; visualizzazione delle armature; generazione del tabulato di calcolo in PDF; esportazione in DXF di tutti i file di progetto, piante ed armature, queste ultime organizzate per piani; possibilità di bloccare il piano interrato ai fini sismici.

### Novità di BUILDING for Windows (seconda edizione)

**Verifica dei nodi** anche in classe a bassa duttilità e **verifica della duttilità dei pilastri** allo spiccato delle fondazioni.

**Calcolo della duttilità di sezioni, travi e pilastri**, sulla base del diagramma momento curvatura in campo non lineare.

**Caratteristiche dimensionali di BUILDING for Windows:** piani (max 5); pilastri in pianta (max 200); travi in pianta (max 200); solai in pianta (max 50); telai (max 50); campate per telaio (max 30).

**Requisiti hardware e software:** Processore da 2.00 GHz; MS Windows Vista/7/8/10 (è necessario disporre dei privilegi di amministratore); MS .Net Framework 4 o vs. successive; 250 MB liberi sull'HDD; 2 GB di RAM (consigliati 4 GB di RAM); Accesso ad internet e browser web.

**Pietro Savoia**, libero professionista, dal 1982 opera nel campo del calcolo automatico delle strutture in cemento armato, in ambiente Apple Macintosh e Windows. È autore di manuali e software sulla progettazione antisismica di edifici in cemento armato. Info e aggiornamenti alla pagina facebook Edifici Zona Sismica.



ISBN 13 978-88-277-0028-0



9 788827 700280 >

Euro 60,00