



Marco Boscolo Bielo

# Verifiche sui solai

## SOLAI IN LATEROCEMENTO, LEGNO-LEGNO E LEGNO-CLS

- **COMPORAMENTO MECCANICO IN CONDIZIONI SISMICHE**
- **CARICHI**
- **VIBRAZIONI**
- **SOLAI COMPOSTI A COMPORAMENTO INTEGRALE**
- **VERIFICHE DEI CONNETTORI**

### SCHEDE IN EXCEL

- DETERMINAZIONE DELLA RIGIDEZZA DI UNA PARETE O DI UN PILASTRO
- DETERMINAZIONE BARICENTRI RIGIDEZZE E MASSE
- DETERMINAZIONE CARICHI SOLAI IN LATEROCEMENTO
- DETERMINAZIONE CARICHI SOLAI IN LEGNO
- VERIFICHE SOLAI IN LATEROCEMENTO
- VERIFICHE SOLAI LEGNO-LEGNO
- VERIFICHE SOLAI LEGNO-CALCESTRUZZO

### SOFTWARE INCLUSO

FOGLI DI CALCOLO IN EXCEL (disponibili nel software anche in versione *open source*)  
PER LA VERIFICA DI SOLAI IN LATEROCEMENTO, LEGNO-LEGNO E LEGNO-CLS

Marco Boscolo Bielo  
**VERIFICHE SUI SOLAI**

Ed. I (5-2017)

ISBN 13 978-88-8207-925-3  
EAN 9 788882 079253

Collana **Software** (100)

Boscolo Bielo , Marco <1967->  
Verifiche sui solai : solai in laterocemento, legno-legno e legno calcestruzzo / Marco Boscolo Bielo. – Palermo : Grafill, 2017.  
(Software ; 100)  
ISBN 978-88-8207-925-3  
1. Solai – calcolo [e] Progettazione.  
690.17 CDD-23 SBN Pal0298630  
*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 maggio 2017

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>1. COMPORTAMENTO MECCANICO DEI SOLAI</b> .....	p.	9
1.1. Funzioni principali dei solai .....	"	9
1.2. Orizzontamenti infinitamente rigidi.....	"	9
1.3. Osservazioni sulle forme dei solai .....	"	9
1.4. Funzione del solaio infinitamente rigido nella distribuzione delle azioni sismiche .....	"	11
1.5. Influenza dell'ipotesi di solaio infinitamente rigido nei modi di vibrare.....	"	18
1.6. Scheda 1: determinazione della rigidezza di un ritto.....	"	19
1.7. Scheda 2A: determinazione del baricentro delle masse.....	"	20
1.8. Scheda 2B: determinazione del baricentro delle rigidezze.....	"	23
<b>2. CARICHI</b> .....	"	26
2.1. Definizione e classificazione.....	"	26
2.2. Il concetto di valore caratteristico delle azioni .....	"	27
2.3. Carichi permanenti.....	"	28
2.3.1. Pesi propri dei materiali strutturali.....	"	28
2.3.2. Carichi permanenti non strutturali (Carichi Permanenti Portati) ..	"	32
2.3.3. Elementi divisorii interni.....	"	33
2.4. Carichi di esercizio .....	"	33
2.5. Combinazioni di carico .....	"	35
2.6. Schemi e combinazioni di carico verticale nei solai .....	"	37
2.7. Scheda 3: determinazione dei carichi nei solai in laterocemento .....	"	39
2.8. Scheda 4: determinazione dei carichi nei solai in legno .....	"	43
2.9. Compendio per i calcoli con materiali lignei.....	"	44
2.9.1. Coefficienti parziali da assumere per i materiali.....	"	44
2.9.2. Classi di durata.....	"	44
2.9.3. Classi di servizio .....	"	45
2.9.4. Valori del coefficiente $k_{mod}$ .....	"	45
2.9.5. Valori del coefficiente $k_{def}$ .....	"	46
2.9.6. Valori del coefficiente $k_h$ .....	"	47
<b>3. SOLAI IN LATEROCEMENTO</b> .....	"	48
3.1. Generalità.....	"	48
3.2. Solai misti di c.a. e c.a.p. e blocchi forati in laterizio .....	"	50
3.3. Regole generali e caratteristiche minime dei blocchi .....	"	50
3.4. Limiti dimensionali.....	"	51

3.5.	Caratteristiche fisico-meccaniche .....	p.	51
3.5.1.	Caratteristiche valide per entrambe le categorie di blocchi .....	"	51
3.5.2.	Caratteristiche per blocchi collaboranti .....	"	52
3.5.3.	Caratteristiche per blocchi non collaboranti .....	"	52
3.6.	Solai realizzati con l'associazione di componenti prefabbricati in c.a. e c.a.p. ....	"	52
3.7.	Verifiche di un solaio in laterocemento.....	"	53
3.7.1.	Geometria della sezione .....	"	53
3.7.2.	Resistenze dei materiali .....	"	54
3.7.3.	SLU per flessione a momento positivo .....	"	55
3.7.4.	SLU per flessione a momento negativo .....	"	56
3.7.5.	SLU per taglio .....	"	56
3.7.6.	Verifica di deformabilità.....	"	57
3.7.7.	Verifiche tensionali agli SLE.....	"	59
3.8.	Applicazione 1 .....	"	60
3.8.1.	Solaio con schema di trave appoggiata a campata singola .....	"	60
3.8.2.	Geometria della sezione .....	"	61
3.8.3.	Resistenze dei materiali .....	"	61
3.8.4.	Verifica a flessione allo SLU.....	"	61
3.8.4.1.	Carichi e sollecitazioni agenti .....	"	61
3.8.4.2.	Determinazione del momento resistente .....	"	62
3.8.4.3.	Verifica .....	"	62
3.8.5.	Verifica a taglio allo SLU.....	"	63
3.8.5.1.	Determinazione del taglio resistente .....	"	63
3.8.5.2.	Verifica .....	"	63
3.8.6.	Verifiche di deformabilità (SLE).....	"	64
3.8.6.1.	Determinazione di $K$ .....	"	64
3.8.6.2.	Determinazione della sezione di armatura strettamente necessaria.....	"	64
3.8.6.3.	Determinazione delle percentuali meccaniche di armatura tesa e compressa.....	"	64
3.8.6.4.	Determinazione della snellezza limite.....	"	64
3.8.6.5.	Condizioni di verifica .....	"	64
3.8.7.	Verifiche tensionali allo SLE.....	"	64
3.8.7.1.	Carichi e sollecitazioni agenti .....	"	64
3.8.7.2.	Determinazione dello stato tensionale massimo .....	"	65
3.8.8.	Risultati con utilizzo del foglio di calcolo .....	"	66
3.9.	Applicazione 2 .....	"	67
3.9.1.	Solaio con schema di trave incastrata a campata singola.....	"	67
3.9.2.	Geometria della sezione .....	"	67
3.9.2.1.	Sezione in mezzzeria.....	"	67
3.9.2.2.	Sezione agli incastri .....	"	67
3.9.3.	Resistenze dei materiali .....	"	68
3.9.4.	Verifica a flessione allo SLU.....	"	68

3.9.4.1.	Carichi .....	p.	68
3.9.4.2.	Verifica a momento positivo.....	"	69
3.9.4.3.	Verifica a momento negativo.....	"	69
3.9.5.	Verifica a taglio allo SLU.....	"	70
3.9.5.1.	Determinazione del taglio resistente .....	"	70
3.9.5.2.	Verifica .....	"	70
3.9.6.	Verifiche di deformabilità (SLE).....	"	71
3.9.6.1.	Determinazione di $K$ .....	"	71
3.9.6.2.	Determinazione della sezione di armatura strettamente necessaria .....	"	71
3.9.6.3.	Determinazione delle percentuali meccaniche di armatura tesa e compressa.....	"	71
3.9.6.4.	Determinazione della snellezza limite.....	"	71
3.9.6.5.	Condizioni di verifica .....	"	71
3.9.7.	Verifiche tensionali allo SLE.....	"	71
3.9.7.1.	Carichi e sollecitazioni agenti .....	"	71
3.9.7.2.	Determinazione dello stato tensionale massimo .....	"	72
3.9.8.	Risultati con utilizzo del foglio di calcolo .....	"	74
3.10.	Applicazione 3 .....	"	75
3.10.1.	Solaio con schema di trave semi-incastrata a campata singola.....	"	75
3.10.2.	Geometria della sezione .....	"	75
3.10.2.1.	Sezione in mezzeria.....	"	75
3.10.2.2.	Sezione alle estremità.....	"	75
3.10.3.	Resistenze dei materiali .....	"	75
3.10.4.	Verifica a flessione allo SLU.....	"	76
3.10.4.1.	Carichi .....	"	76
3.10.4.2.	Verifica a momento positivo.....	"	76
3.10.4.3.	Verifica a momento negativo.....	"	77
3.10.5.	Verifica a taglio allo SLU.....	"	78
3.10.5.1.	Determinazione del taglio resistente .....	"	78
3.10.5.2.	Verifica .....	"	78
3.10.6.	Verifiche di deformabilità (SLE).....	"	79
3.10.6.1.	Determinazione di $K$ .....	"	79
3.10.6.2.	Determinazione della sezione di armatura strettamente necessaria .....	"	79
3.10.6.3.	Determinazione delle percentuali meccaniche di armatura tesa e compressa.....	"	79
3.10.6.4.	Determinazione della snellezza limite.....	"	79
3.10.6.5.	Condizioni di verifica .....	"	79
3.10.7.	Verifiche tensionali allo SLE.....	"	79
3.10.7.1.	Carichi e sollecitazioni agenti .....	"	79
3.10.7.2.	Determinazione dello stato tensionale massimo .....	"	80
3.10.8.	Risultati con utilizzo del foglio di calcolo .....	"	82
3.11.	Scheda 5 – Verifiche sui solai .....	"	82

3.11.1.	Presentazione del foglio .....	p.	82
3.11.2.	Campo 1: Dati Sezione .....	"	83
3.11.3.	Campo 2: Carichi – Schema.....	"	84
3.11.4.	Campo 3: Barre d'armo a momento positivo.....	"	85
3.11.5.	Campo 4: Barre d'armo a momento negativo.....	"	86
3.11.6.	Campo 5: Verifiche a momento positivo (SLU).....	"	87
3.11.7.	Campo 6: Verifiche a momento negativo (SLU).....	"	88
3.11.8.	Campo 7: Verifiche tensionali a momento positivo (SLE).....	"	89
3.11.9.	Campo 8: Verifiche tensionali a momento negativo (SLE).....	"	90
3.11.10.	Campo 9: Verifiche a taglio (SLU).....	"	91
3.11.11.	Campo 10: Verifica di deformabilità (SLE).....	"	92
<b>4.</b>	<b>SOLAI COLLABORANTI LEGNO-LEGNO (SLU)</b> .....	"	93
4.1.	Generalità.....	"	93
4.2.	Modello di calcolo .....	"	94
4.3.	Parametri meccanici.....	"	98
4.4.	Limiti di freccia .....	"	99
4.5.	Scheda 6 – Utilizzo del foglio di calcolo.....	"	100
4.5.1.	Descrizione del solaio .....	"	100
4.5.2.	Immissione dati di progetto.....	"	100
4.5.3.	Verifiche allo SLU degli elementi in legno mediante l'utilizzo del foglio elettronico.....	"	102
4.5.3.1.	Valutazione della rigidezza della sezione.....	"	102
4.5.3.2.	Determinazione delle massime sollecitazioni agenti.....	"	103
4.5.3.3.	Verifiche sull'ala.....	"	104
4.5.3.4.	Verifiche sull'anima.....	"	104
4.5.3.5.	Verifiche a taglio.....	"	105
4.5.3.6.	Risultati visualizzati nel foglio di calcolo.....	"	105
4.5.4.	Verifiche allo SLU delle connessioni.....	"	106
4.5.4.1.	Determinazione della sollecitazione agente sul singolo connettore .....	"	106
4.5.4.2.	Determinazione delle resistenze a rifollamento .....	"	106
4.5.4.3.	Determinazione del momento di snervamento del gambo.....	"	106
4.5.4.4.	Determinazione della resistenza della connessione.....	"	106
4.5.4.5.	Verifica della connessione .....	"	107
4.5.4.6.	Efficienza della connessione .....	"	107
4.5.4.7.	Risultati visualizzati nel foglio di calcolo.....	"	108
4.5.5.	Verifiche di freccia a tempo iniziale (SLE).....	"	108
4.5.6.	Verifiche di freccia a tempo infinito (SLE).....	"	110
4.5.7.	Verifiche di vibrazione .....	"	111
<b>5.</b>	<b>SOLAI LEGNO-CALCESTRUZZO (SLU)</b> .....	"	112
5.1.	Generalità.....	"	112

<b>5.2.</b>	Modello di calcolo .....	p.	113
<b>5.3.</b>	Scheda 7 – Utilizzo del foglio di calcolo.....	"	114
<b>5.3.1.</b>	Descrizione del solaio .....	"	114
<b>5.3.2.</b>	Immissione dati di progetto.....	"	114
<b>5.3.3.</b>	Verifiche allo SLU degli elementi in legno a tempo iniziale .....	"	116
<b>5.3.3.1.</b>	Valutazione della rigidità della sezione.....	"	116
<b>5.3.3.2.</b>	Determinazione delle massime sollecitazioni agenti.....	"	118
<b>5.3.3.3.</b>	Verifiche sull'ala in calcestruzzo.....	"	118
<b>5.3.3.4.</b>	Verifiche sull'anima di materiale ligneo.....	"	119
<b>5.3.3.5.</b>	Verifiche a taglio.....	"	119
<b>5.3.4.</b>	Verifiche allo SLU della connessione a tempo iniziale.....	"	120
<b>5.3.4.1.</b>	Determinazione della sollecitazione agente sul singolo connettore .....	"	120
<b>5.3.4.2.</b>	Determinazione della resistenza a rifollamento nell'anima .....	"	121
<b>5.3.4.3.</b>	Determinazione del momento di snervamento del gambo.....	"	121
<b>5.3.4.4.</b>	Determinazione della resistenza della connessione.....	"	121
<b>5.3.4.5.</b>	Verifica della connessione .....	"	121
<b>5.3.4.6.</b>	Efficienza della connessione a tempo iniziale.....	"	121
<b>5.3.5.</b>	Verifiche di freccia (SLE) a tempo iniziale.....	"	122
<b>5.3.6.</b>	Verifiche allo SLU degli elementi in legno a tempo infinito.....	"	123
<b>5.3.6.1.</b>	Determinazione dei parametri di calcolo.....	"	123
<b>5.3.6.2.</b>	Determinazione della rigidità della sezione .....	"	124
<b>5.3.6.3.</b>	Verifiche sull'ala in calcestruzzo.....	"	125
<b>5.3.6.4.</b>	Verifiche sull'anima di materiale ligneo.....	"	125
<b>5.3.6.5.</b>	Verifiche a taglio.....	"	126
<b>5.3.7.</b>	Verifiche allo SLU della connessione a tempo infinito .....	"	126
<b>5.3.7.1.</b>	Determinazione della sollecitazione agente sul singolo connettore .....	"	126
<b>5.3.7.2.</b>	Determinazione della resistenza del connettore .....	"	127
<b>5.3.7.3.</b>	Verifica della connessione .....	"	127
<b>5.3.8.</b>	Efficienza della connessione a tempo infinito.....	"	127
<b>5.3.9.</b>	Verifiche di freccia (SLE) a tempo infinito .....	"	128
<b>5.3.9.1.</b>	Determinazione dei parametri di calcolo.....	"	128
<b>5.3.9.2.</b>	Determinazione della rigidità della sezione .....	"	128
<b>5.3.9.3.</b>	Calcolo e verifica delle frecce .....	"	129
<b>5.3.10.</b>	Verifiche di vibrazione .....	"	129
<b>6.</b>	<b>VIBRAZIONI NEI SOLAI</b> .....	"	130
<b>6.1.</b>	Generalità.....	"	130
<b>6.2.</b>	Modello di calcolo .....	"	130
<b>6.3.</b>	Utilizzo del foglio elettronico – Applicazione ad un solaio legno-legno ....	"	132
<b>6.3.1.</b>	Descrizione del solaio .....	"	132

6.3.2.	Determinazione della frequenza fondamentale di vibrazione a tempo iniziale .....	p.	132
6.3.3.	Verifica della freccia unitaria elastica per carico concentrato a tempo iniziale.....	"	133
6.3.4.	Verifica della velocità di risposta all'impulso a tempo iniziale.....	"	133
6.3.5.	Determinazione della frequenza fondamentale di vibrazione a tempo infinito .....	"	134
6.3.6.	Verifica della freccia unitaria elastica per carico concentrato a tempo infinito.....	"	134
6.3.7.	Verifica della velocità di risposta all'impulso a tempo infinito .....	"	135
6.4.	Utilizzo del foglio elettronico – Applicazione ad un solaio legno-calcestruzzo.....	"	135
6.4.1.	Descrizione del solaio .....	"	135
6.4.2.	Determinazione della frequenza fondamentale di vibrazione a tempo iniziale .....	"	135
6.4.3.	Verifica della freccia unitaria elastica per carico concentrato a tempo iniziale.....	"	136
6.4.4.	Verifica della velocità di risposta all'impulso a tempo iniziale.....	"	137
6.4.5.	Determinazione della frequenza fondamentale di vibrazione a tempo infinito .....	"	137
6.4.6.	Verifica della freccia unitaria elastica per carico concentrato a tempo infinito.....	"	138
6.4.7.	Verifica della velocità di risposta all'impulso a tempo infinito .....	"	138
↘	<b>INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE INCLUSO .....</b>	"	140
–	Note sul software incluso .....	"	140
–	Requisiti hardware e software .....	"	140
–	Download del software e richiesta della password di attivazione .....	"	141
–	Installazione ed attivazione del software.....	"	141

## COMPORTAMENTO MECCANICO DEI SOLAI

### 1.1. Funzioni principali dei solai

I *solai* (o *orizzontamenti* o *impalcati*) sono elementi strutturali che svolgono principalmente due tipi di funzioni:

- 1) **sostegno dei carichi verticali** (pavimenti, mobili, persone, ecc.) e trasferirli agli elementi portanti verticali (pilastri, murature, ecc.);
- 2) **distribuzione delle azioni orizzontali** (vento, azioni sismiche, ecc.) sugli elementi resistenti verticali.

Questa seconda funzione risulta di fondamentale importanza per quanto riguarda il comportamento sismico di una costruzione ed è assicurata quando vi siano le condizioni affinché il comportamento del solaio possa definirsi *infinitamente rigido* nel proprio piano (comportamento *a diaframma*).

### 1.2. Orizzontamenti infinitamente rigidi

Stanti le disposizioni della normativa tecnica, nelle nuove costruzioni, gli orizzontamenti possono essere considerati infinitamente rigidi nel loro piano a condizione che:

- 1) siano realizzati in **calcestruzzo armato**;
- 2) siano realizzati in **latero-cemento con soletta in c.a. di almeno 40 mm di spessore**;
- 3) siano realizzati in **struttura mista con soletta in cemento armato di almeno 50 mm di spessore**, ad esempio solai in legno con soletta collaborante in c.a., solai in acciaio-calcestruzzo con soletta collaborante in c.a..

In tal caso la soletta deve essere collegata da connettori a taglio opportunamente dimensionati agli elementi strutturali in acciaio o in legno, purché le aperture presenti non ne riducano significativamente la rigidezza.

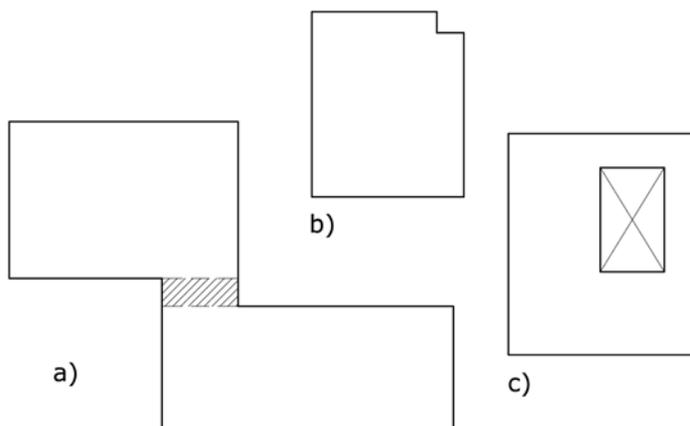
Ulteriori indicazioni verranno fornite nei capitoli relativi alle singole tipologie di solaio trattate nel presente volume.

### 1.3. Osservazioni sulle forme dei solai

Da un punto di vista puramente qualitativo la forma planimetrica di un impalcato può dare alcune significative informazioni in relazione alla sua rigidezza. Nel caso di piante in cui siano presenti sensibili restringimenti (figura 1.1a), forature (figura 1.1c) o soluzioni di continuità, l'ipotesi di indeformabilità potrebbe essere non verificata anche quando siano soddisfatte le condizioni di cui al precedente paragrafo.

Ad esempio nella zona più “debole” (tratteggiata) di figura 1.1a, e specie per eccentricità notevole fra baricentro delle masse e delle rigidezze, possono verificarsi spostamenti relativi

significativamente diversi per una stessa direzione. Molto più idonee saranno invece forme compatte, anche in presenza di sensibili eccentricità fra baricentro delle masse e delle rigidezze (figura 1.1b).



**Figura 1.1.** Esempi di solai più o meno deformabili

A compendio delle indicazioni di cui sopra può essere considerato quando disposto da circolari applicative:

---

*Gli orizzontamenti devono essere dotati di opportuna rigidezza e resistenza nel piano e collegati in maniera efficace alle membrature verticali che li sostengono perché possano assolvere la funzione di diaframma rigido ai fini della ripartizione delle forze orizzontali tra le membrature verticali stesse.*

*Particolare attenzione va posta quando abbiano forma molto allungata o comunque non compatta: in quest'ultimo caso, occorre valutare se le aperture presenti, soprattutto se localizzate in prossimità dei principali elementi resistenti verticali, non ne riducano significativamente la rigidezza. Essi possono essere considerati infinitamente rigidi nel loro piano se, modellandone la deformabilità nel piano, i loro spostamenti orizzontali massimi in condizioni sismiche non superano per più del 10% quelli calcolati con l'assunzione di piano rigido. Tale condizione può ritenersi generalmente soddisfatta nei casi specificati nelle NTC<sup>1</sup>, salvo porre particolare attenzione quando essi siano sostenuti da elementi strutturali verticali (per es. pareti) di notevole rigidezza e resistenza.*

---

Quando gli orizzontamenti sono infinitamente rigidi, le masse possono essere concentrate nel loro centro di gravità (spesso indicato col termine *baricentro delle masse*). Ne consegue un principio fondamentale per minimizzare le azioni torcenti di piano: avvicinare il più possibile il *baricentro delle masse* al *baricentro delle rigidezze*<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Queste condizioni sono quelle indicate ai punti 1), 2), 3) del paragrafo 1.2. L'acronimo NTC sta per Norme Tecniche per le Costruzioni.

<sup>2</sup> Per la comprensione del concetto di *baricentro delle rigidezze* si veda il paragrafo seguente.

## CARICHI

### 2.1. Definizione e classificazione

Le NTC distinguono i seguenti tipi di azioni sulle strutture:

- a) **dirette**: forze concentrate, carichi distribuiti, fissi o mobili;
- b) **indirette**: spostamenti impressi, variazioni di temperatura e di umidità, ritiro, precompressione, cedimenti di vincolo, ecc.;
- c) **di degrado**: alterazioni naturali del materiale costituente l'opera (degrado endogeno); alterazioni dovute ad agenti esterni (degrado esogeno).

Esse, inoltre, possono essere:

- a) **statiche**: azioni applicate alla struttura che non provocano accelerazioni significative della stessa o di alcune sue parti;
- b) **pseudo statiche**: azioni dinamiche rappresentabili mediante un'azione statica equivalente;
- c) **dinamiche**: azioni che causano significative accelerazioni della struttura o dei suoi componenti.

Infine, a seconda della variazione della loro intensità nel tempo, si classificano in:

- a) **permanenti (G)**: azioni che agiscono durante tutta la vita nominale della costruzione, la cui variazione di intensità nel tempo è così piccola e lenta da poterle considerare con sufficiente approssimazione costanti nel tempo. Ad esempio:
  - peso proprio di tutti gli elementi strutturali; peso proprio del terreno;
  - forze indotte dal terreno (esclusi gli effetti di carichi variabili applicati al terreno); forze risultanti dalla pressione dell'acqua (quando si configurino costanti nel tempo) (**G1**);
  - peso proprio di tutti gli elementi non strutturali (**G2**);
  - spostamenti e deformazioni imposti, previsti dal progetto e realizzati all'atto della costruzione;
  - pretensione e precompressione (**P**);
  - ritiro e viscosità;
  - spostamenti differenziali;
- b) **Variabili (Q)**: azioni sulla struttura o sull'elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo.  
Possono distinguersi in:
  - **di lunga durata**: quando agiscono con un'intensità significativa, anche non continuamente, per un tempo non trascurabile rispetto alla vita nominale della struttura;
  - **di breve durata**: azioni che agiscono per un periodo di tempo breve rispetto alla vita nominale della struttura;
- c) **eccezionali (A)**: azioni che si verificano solo eccezionalmente nel corso della vita nominale della struttura, del tipo di:
  - incendi;

- esplosioni;
  - urti ed impatti;
- d) **sismiche (E)**: azioni derivanti dai terremoti.

Le **azioni permanenti** sono di 2 tipi:

- **permanent structurali** ( $G_1, g_1$ );
- **permanent portati** ( $G_2, g_2$ ).

I carichi permanenti strutturali sono valutati a partire dalle dimensioni geometriche delle membrature e dalla densità dei materiali. I valori di densità devono essere definiti a partire da fonti riconosciute o da indicazioni tabellari.

Generalmente i carichi permanenti strutturali sono indicati con  $G_1$  o  $g_1$ , a seconda se trattasi di carichi concentrati o unitari. I carichi permanenti portati sono invece indicati con  $G_2$  o  $g_2$ , sempre in riferimento al fatto che siano concentrati o unitari.

Oltre ai carichi permanenti, le costruzioni sono soggette anche a carichi cosiddetti **accidentali** (o **variabili**). Anche in questo caso le NTC danno una indicazione tabellare dell'entità nominale degli stessi in termini statistici.

Esempi tipici di carichi accidentali sono:

- sovraccarichi di esercizio in funzione della destinazione d'uso dei locali;
- azioni del vento;
- azioni dovute alla neve;
- effetti conseguenti a variazione di temperatura;
- azioni dovute ad eventi sismici.

Sempre in riferimento al fatto che si tratti o meno di grandezze assolute od unitarie le suindicate azioni, od effetti di azioni, vengono indicati con  $Q$  o  $q$ , ad eccezione di quelle sismiche che sono indicate con  $E$  (raramente si incontra  $e$ ). Spesso le variazioni di temperatura possono essere indicate con  $\Delta T$ .

Infine il D.M. individua alcune azioni definite *eccezionali*. Vengono indicate con  $A$  e sono in generale conseguenti ad effetti dovuti a:

- incendi;
- urti;
- esplosioni;
- traffico veicolare.

Tutti i tipi di carico vanno considerati applicati staticamente, salvo casi particolari in cui gli effetti dinamici devono essere debitamente valutati. In generale la norma tecnica definisce, mediante l'applicazione di coefficienti di varia natura, specifici algoritmi tali da poter effettuare questo tipo ipotesi di azione statica.

Oltre che nella situazione definitiva d'uso, si devono considerare le azioni agenti in tutte le fasi esecutive della costruzione.

## 2.2. Il concetto di valore caratteristico delle azioni

La quantificazione del valore delle azioni viene fatta in considerazione di una elaborazione statistica delle stesse. All'uopo le norme tecniche indicano detti valori in apposite tabelle che verranno indicate nei prossimi paragrafi.

## SOLAI IN LATEROCEMENTO

### 3.1. Generalità

Un solaio in laterocemento è generalmente composto da:

- a) un sistema di travetti portanti prefabbricati;
- b) blocchi di laterizio interposti;
- c) un getto integrativo di calcestruzzo da eseguire in opera.

I travetti prefabbricati possono essere costituiti da un elemento di fondello preassemblato con una armatura di confezionamento standard. Spesso detta armatura è costituita da un tralicciotto saldato in modo da far fronte anche alle azioni di taglio sollecitanti il travetto portante.

I blocchi in laterizio hanno la funzione di riempimento tra i travetti. La loro foratura consente anche un opportuno alleggerimento. I blocchi vengono prodotti in dimensioni tali da consentire l'assemblaggio in opera del solaio secondo dei criteri standard di interasse dei travetti e di spessore del solaio (vedi figura 3.1).



**Figura 3.1.** *Assemblaggio in opera di solaio in laterocemento*

In tabella 3.1 vengono riportati alcuni dati dimensionali relativi alla produzione.

Tabella 3.1. Dati per blocchi collaboranti in laterizio<sup>1</sup>

Denominazione	Dimensioni nominali (cm)			Catego- ria	Resistenza caratteristica a compressione (N/mm <sup>2</sup> )		Peso blocco (kg)	Peso solaio (kg/m <sup>2</sup> )
	lar- ghezza	lun- ghezza	altezza		$f_{bk} //$ ai fori	$f_{bk} \perp$ ai fori		
Interposto h16/40 Interposto h16/50								<b>blocchi + getto 5 cm</b>
	40	25	16	B	31,40	18,40	9,7	285
	50				30,80	16,10	11,6	270
Interposto h20/40 Interposto h20/50								<b>blocchi + getto 5 cm</b>
	40	25	20	B	30,20	16,70	10,8	315
	50				30,40	16,80	13,5	300
Interposto h24/40 Interposto h24/50								<b>blocchi + getto 5 cm</b>
	40	25	24	B	30,70	17,20	12,1	350
	50				30,10	17,50	15,2	330
Interposto h28/40								<b>blocchi + getto 5 cm</b>
	38	25	28	B	30,30	16,70	14,4	380

Il getto di calcestruzzo integrativo viene pompato e vibrato in opera in modo da costituire i travetti e una soletta il cui spessore può variare generalmente da 4-5 cm.

Nella soletta si annega anche una armatura integrativa costituita da rete elettrosaldata. Il dimensionamento dello spessore della soletta e di eventuali armature integrative dei travetti viene effettuato a seconda delle esigenze.

I travetti possono anche essere costituiti da elementi prefabbricati in calcestruzzo armato precompresso.

Il comportamento statico del solaio è essenzialmente di due tipi:

- 1) “*monodirezionale*”, qualora i travetti siano disposti in una sola orditura parallela;
- 2) “*bidirezionale*” o “*a piastra*”, quando siano disposti 2 orditure di travetti generalmente una ortogonale all'altra.

<sup>1</sup> I dati relativi ai parametri meccanici si riferiscono alla produzione certificata Gruppo Stabila di Isola Vicentina. Per la determinazione del peso proprio dei solai si può fare riferimento al foglio di calcolo denominato “*Scheda 3 – Carichi nei solai in laterocemento.xls*”.

## SOLAI COLLABORANTI LEGNO-LEGNO (SLU)

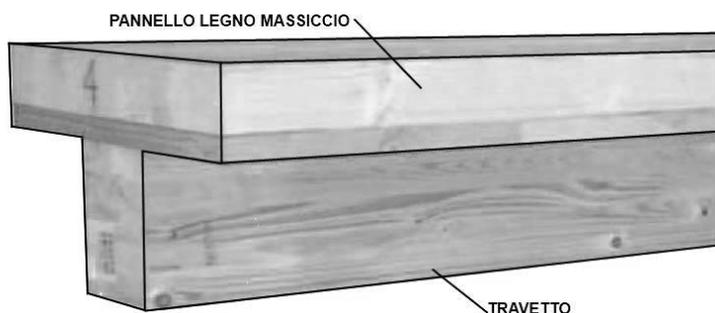
### 4.1. Generalità

Una tipologia di solai molto utilizzata, soprattutto nel caso di interventi su edifici storici, è quella dei solai composti “legno-legno”, favorevolmente visti perché ritenuti di basso effetto impattante e perché uniscono una relativa leggerezza di massa in relazione alla rigidezza.

Si tratta di orizzontamenti costituiti da travetti lignei ai quali viene sovrapposto un tavolato di legno massiccio (vedi figura 4.1) opportunamente solidarizzato con le travi in modo da formare una sezione reagente di tipo a “T”.

Le connessioni fra ala e anima possono essere costituite da spinotti metallici annegati in prefori mediante collante (generalmente a base resinosa) oppure da sistemi di viti opportunamente incrociati o, infine, mediante incollaggio diretto delle facce contigue dei due elementi.

Spesso i pannelli formanti la soletta sono giuntati nel loro piano orizzontale mediante un sistema maschio-femmina.



**Figura 4.1.** *Trave legno-legno*

Le connessioni fra ala e anima, opportunamente dimensionate, conferiscono una rigidezza del sistema superiore rispetto a quella che si viene a creare con il “semplice” appoggio del tavolato (o mediante un insufficiente sistema di solidarizzazione fra i due elementi).

Nel presente capitolo vengono proposti i criteri di calcolo per le verifiche allo stato limite ultimo e di esercizio (SLU e SLE) con schema di sezione a “T”, dove gli elementi (ala ed anima) sono collegati mediante unioni dei seguenti tipi:

- spinotti,
- bulloni,
- viti,
- chiodi (con preforo e non),

disposti perpendicolarmente alla direzione della fibratura.

Lo schema di calcolo viene illustrato in figura 4.2.

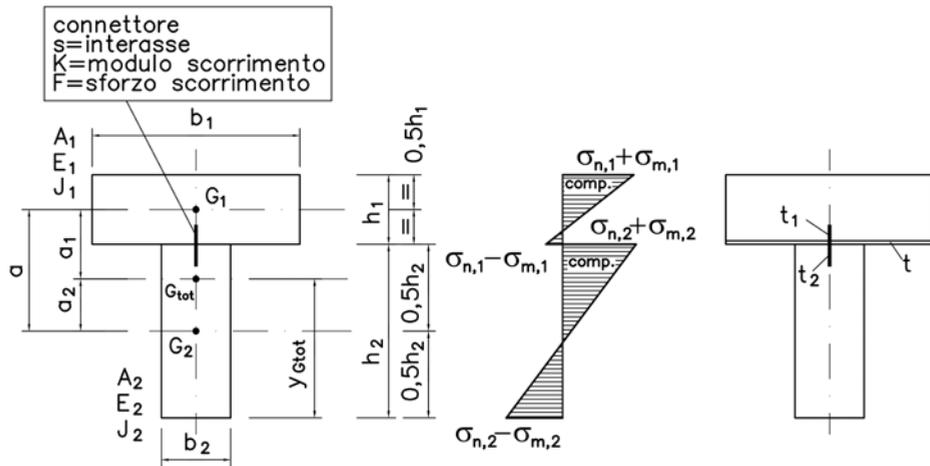


Figura 4.2. Trave composta a T a rigidità finita (stato tensionale a flessione)

#### 4.2. Modello di calcolo

Si propone la trattazione dell'Eurocodice 5 che assume le seguenti ipotesi:

- modello di comportamento elastico-lineare;
- travi appoggiate di luce  $L$ ;
- le singole parti di legno o a base di legno sono monolitiche oppure giuntate con giunti di estremità incollati;
- le singole parti sono collegate mediante giunti meccanici aventi modulo di scorrimento  $K$ ,
- la spaziatura  $s$  fra i mezzi di unione è costante oppure varia uniformemente secondo lo sforzo di taglio tra i valori  $s_{\min}$  e  $s_{\max}$  con  $s_{\max} \leq 4 s_{\min}$ ;
- il carico agisce verticalmente, dando origine ad un momento  $M$  che varia parabolicamente, nonché una forza di taglio  $V$ .

Con riferimento alla figura 4.2 la rigidità efficace  $(EJ)_{\text{eff}}$  del sistema composto (ala + anima) si determina con la:

$$(EJ)_{\text{eff}} = \sum_i E_i J_i + \gamma_1 \cdot E_1 A_1 a_1^2 + \gamma_2 \cdot E_2 A_2 a_2^2 \quad (4.1)$$

dove:

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_1 A_1 \cdot s_{\text{eq}}}{K \cdot L^2}} \quad (4.2)$$

$$\gamma_2 \quad (4.3)$$

$$s_{\text{eq}} = 0,75 \cdot s_{\min} + 0,25 \cdot s_{\max} \quad (4.4)$$

$$a = \frac{h_1}{2} + \frac{h_2}{2} + t \quad (4.5)$$

## SOLAI LEGNO-CALCESTRUZZO (SLU)

### 5.1. Generalità

Nel paragrafo 1.2 si è visto che nei casi in cui si voglia ottenere un “impalcato infinitamente rigido” si può optare per la realizzazione di una struttura mista con soletta di cemento armato di almeno 5 cm di spessore purché collegata da connettori a taglio opportunamente dimensionati ad eventuali elementi strutturali in legno.

In tali circostanze l'utilizzo di solai legno-calcestruzzo risulta pienamente calzante ai dettami della norma.

Con il termine *solai legno calcestruzzo* si intende per l'appunto una tipologia strutturale di orizzontamenti per i quali la connessione a taglio garantisce una sezione reagente a “T”.

Dal punto di vista schematico si può considerare la figura 5.1: l'anima essendo costituita dall'elemento ligneo e l'ala dalla soletta di calcestruzzo armato.

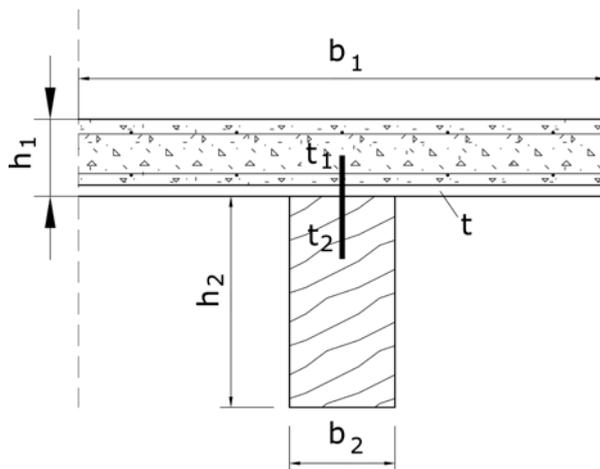


Figura 5.1. Schema di solaio legno-calcestruzzo

Nel modello di calcolo il parametro  $t_1$  risulta ininfluente ai fini del calcolo, tuttavia è necessario che la lunghezza di ancoraggio (anche considerando l'eventuale piegatura) sia sufficiente.

Come riferimento di massima si può prendere un valore minimo verticale (al netto del valore  $t$ ) pari a:

$$t_1 = 2,5 d \quad (5.1)$$

come riportato nelle CNR DT 206/2007.

## 5.2. Modello di calcolo

Lo schema di calcolo è analogo a quello visto al precedente Capitolo per i solai legno-legno, e si può fare riferimento alle indicazioni contenute nella figura 4.2.

La connessione può essere fatta mediante barre filettate o ad aderenza migliorata incollate perpendicolarmente alla direzione della fibratura con resina epossidica nell'elemento ligneo costituito dall'anima e annegate nella soletta di calcestruzzo (ala). Generalmente la parte annegata nel calcestruzzo viene piegata a 90 gradi per dare ulteriore aderenza.

Il modello di calcolo si fonda sulle medesime ipotesi e formulazioni illustrate nel precedente Capitolo 4, ad eccezione delle precisazioni indicate di seguito.

Il valore del coefficiente di servizio  $K_{ser}$  della connessione si può ricavare all'interno della casistica proposta in tabella 5.1.

**Tabella 5.1.** Valori di  $K_{ser}$  per unioni legno-calcestruzzo (EC5)

Tipo di mezzo di unione	$K_{ser}$ [N/mm]
Spinotti o perni	$2 \cdot d \cdot \frac{\rho_{2,k}^{1,5}}{23}$
Barre filettate incollate perpendicolari alla fibratura	$2 \cdot 0,045 \cdot d \cdot \rho_{2,k}^{1,5}$
Barre ad aderenza migliorata incollate perpendicolari alla fibratura	$2 \cdot 0,05 \cdot d \cdot \rho_{2,k}^{1,5}$

Allo SLU i suindicati valori vanno ridotti di 2/3.

La resistenza della connessione va eseguita determinando il minimo fra i seguenti valori:

$$F_{V,Rk} = \min \left[ \begin{array}{l} f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d \\ f_{h,2,k} \cdot d \cdot t_2 \cdot \left( \sqrt{2 + \frac{4M_{y,k}}{f_{h,2,k} \cdot d \cdot t_2^2}} - 1 \right) \\ 2,3 \sqrt{M_{y,k} \cdot f_{h,2,k} \cdot d} \end{array} \right] \quad (5.2)$$

Le verifiche a tempo infinito possono essere eseguite valutando un coefficiente di viscosità del calcestruzzo pari a:

$$\phi = 2 \quad (5.3)$$

da introdurre nella:

$$E_{c,t=\text{inf}} = \frac{E_{c,\text{mean}}}{1 + \psi_2 \cdot \phi} \quad (5.4)$$

Le caratteristiche meccaniche del calcestruzzo vanno desunte dalla normativa di riferimento.

## VIBRAZIONI NEI SOLAI

### 6.1. Generalità

In quasi tutti i codici di calcolo nazionali e internazionali è prevista una verifica delle vibrazioni nelle strutture atte a garantire le prestazioni in condizioni di servizio (SLE).

Nel caso di solai di edifici a destinazione civile, nei quali sia prevista la presenza di persone, si tratta di controllare che le vibrazioni indotte dal camminamento non causino fenomeni di risonanza tali da compromettere il corretto comfort.

Lo studio di questo fenomeno è molto complesso e dipende da numerosi fattori che riguardano, ad esempio: le caratteristiche meccaniche dinamiche delle strutture; le condizioni di utilizzo dei locali; la percezione soggettiva di tale fenomeno da parte dei fruitori; ecc.

Nella maggior parte dei casi è possibile utilizzare metodi di calcolo semplificati che sostanzialmente conducono alla determinazione della *frequenza fondamentale del solaio*  $f_1$ , e al controllo che questa non sia inferiore ad alcuni limiti imposti. In tal caso le verifiche alle vibrazioni si intendono implicitamente soddisfatte.

In tabella 6.1 si riassumono i limiti inferiori della  $f_1$  proposti da alcuni codici.

**Tabella 6.1.** *Limiti inferiori di  $f_1$  proposti dalle varie norme*

Codice di Calcolo	Tipo di Struttura	Limite inferiore
NICOLE	Legno	$f_1 \geq 5$ Hz
CNR-DT 206/2007	Legno	$f_1 \geq 6$ Hz
Eurocodice 5	Legno	$f_1 > 8$ Hz
NTC	Solai metallici e caricati regolarmente da persone	$f_1 \geq 3$ Hz
NTC	Solai metallici soggetti a carichi ciclici	$f_1 \geq 5$ Hz

Nel caso dell'Eurocodice 5, quando si abbia  $f_1 \leq 8$  Hz occorrerebbero indagini speciali la trattazione delle quali esula dai limiti della presente trattazione.

Analogamente andrebbero eseguiti modelli di calcolo specifici quando le vibrazioni siano indotte da macchinari.

### 6.2. Modello di calcolo

Si riporta la procedura contenuta nell'Eurocodice 5 valida per solai in legno a destinazione residenziale con pianta rettangolare di lati  $L$  (luce di calcolo) e  $B$  (larghezza del solaio).

La frequenza fondamentale  $f_1$  può essere determinata in modo semplificato attraverso la seguente formulazione:

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot L^2} \sqrt{\frac{(EJ)_L}{m}} \quad (6.1)$$

dove:

- $m$  = massa unitaria del solaio in  $\text{kg/m}^2$  dovuta ai carichi permanenti;
- $L$  = luce del solaio espressa in m;
- $(EJ)_L$  = rigidezza flessionale (unitaria) di piastra equivalente intorno ad un asse perpendicolare alla direzione delle travi espressa in  $\text{Nm}^2/\text{m}$ .

I solai in legno devono soddisfare i seguenti requisiti raccomandati nel caso in cui sia  $f_1 > 8$  Hz:

$$\frac{w}{F} \leq a \left[ \frac{\text{mm}}{\text{kN}} \right] \quad (6.2)$$

e

$$v \leq b^{(f_1 \xi - 1)} \left[ \frac{\text{m}}{\text{N} \cdot \text{s}^2} \right] \quad (6.3)$$

dove:

- $a = 1$  (valore indicato dal NAD1 italiano per EC5);
- $b = 120$  (valore indicato dal NAD italiano per EC5);
- $w$  = freccia verticale istantanea massima causata da una forza statica verticale concentrata  $F$  applicata su qualsiasi punto del solaio, tenendo conto della diffusione del carico  $F$  (generalmente la forza si applica in mezzzeria);
- $v$  = velocità di risposta all'impulso unitario, cioè massimo valore iniziale della velocità di vibrazione del solaio in direzione verticale (misurata in m/s) causata da un impulso unitario ideale ( $1 \text{ N} \times \text{s}$ ) applicato in corrispondenza del punto del solaio che fornisce la massima risposta. Le componenti al di sopra dei 40Hz possono essere trascurate;
- $\xi$  = rapporto di smorzamento modale che può essere assunto pari a 0,02 secondo le NAD Inglesi, mentre per quanto concerne quelle italiane non vi sono riferimenti a riguardo (alcuni autori propongono 0,01).

Il valore della velocità massima all'impulso unitario  $v$  si determina attraverso la:

$$v = \frac{4 \cdot (0,4 + 0,6n_{40})}{m \cdot B \cdot L + 200} \quad (6.4)$$

dove:

- $v$  = velocità di risposta all'impulso unitario in  $\text{m/N} \cdot \text{s}^2$ ;
- $n_{40}$  = numero dei modi di vibrazione del primo ordine con frequenze di risonanza fino a 40Hz;
- $m$  = massa del solaio in  $\text{kg/m}^2$  (carichi permanenti);

<sup>1</sup> I NAD sono "documenti di applicazione nazionale" (*National Annex Document*) dove ciascun stato dell'UE può indicare alcuni parametri di riferimento nazionale.

## INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE INCLUSO

### Note sul software incluso

Il software incluso<sup>1</sup> installa i seguenti fogli Excel (disponibili anche in versione *open source*) che effettuano le verifiche richieste dalla normativa vigente:

- **Scheda n. 1** – *Determinazione della rigidità di una parete o di un pilastro.*
- **Scheda n. 2** – *Determinazione baricentri rigidità e masse.*
- **Scheda n. 3** – *Determinazione carichi solai in laterocemento.*
- **Scheda n. 4** – *Determinazione carichi solai in legno.*
- **Scheda n. 5** – *Verifiche solai in laterocemento.*
- **Scheda n. 6** – *Verifiche solai legno-legno.*
- **Scheda n. 7** – *Verifiche solai legno-calcestruzzo.*

I fogli di calcolo consentono: determinazione dei baricentri di masse e rigidità; determinazione dei carichi sui solai; verifiche di resistenza (taglio e flessione) e di deformabilità, verifica dei connettori sulle tipologie di solai in laterocemento, legno-legno, legno-calcestruzzo, per gli SLE e gli SLU; verifiche delle vibrazioni. I fogli di calcolo possono essere stampati e/o inseriti nelle relazioni di calcolo. Per quanto concerne le tipologie dei solai legno-legno e legno-calcestruzzo, l'utilizzo può essere preminente negli interventi di miglioramento e/o adeguamento sismico, laddove sia necessario avviare alla tipologia in laterocemento.

### 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 e vs. successive.
- 250 MB liberi sull'HDD.
- 2 GB di RAM.
- MS Excel 2007 e vs. successive.
- Accesso ad internet e browser web.

### Download del software e richiesta della password di attivazione

1) Collegarsi al seguente indirizzo internet:

[http://www.grafill.it/pass/925\\_3.php](http://www.grafill.it/pass/925_3.php)

<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).

- 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** e la **password di attivazione** saranno inviati, in tempo reale, all’indirizzo di posta elettronica inserito nel form di registrazione.

### 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 **88-8207-926-0.exe**.
- 3) Avviare il software:

Per utenti MS Windows Vista/7/8: [**Start**] › [**Tutti i programmi**] › [**Grafill**]

› [**Verifiche sui Solai**] (cartella)

› [**Verifiche sui Solai**] (icona di avvio)

Per utenti MS Windows 10: [**Start**] › [**Tutte le app**] › [**Grafill**]

› [**Verifiche sui Solai**] (icona di avvio)

- 4) Compilare la maschera *Registrazione Software* e cliccare su [**Registra**].
- 5) Dalla finestra *Starter* del software sarà possibile accedere ai fogli di calcolo disponibili.

