

Antonio Cirillo

# BASI DI CALCOLO E AZIONI CON EUROCODICI E NTC

1<sup>a</sup> edizione

© Copyright Legislazione Tecnica 2019

La riproduzione, l'adattamento totale o parziale, la riproduzione con qualsiasi mezzo, nonché la memorizzazione elettronica, sono riservati per tutti i paesi.

---

Finito di stampare nel mese di aprile 2019 da  
Stabilimento Tipolitografico Ugo Quintily S.p.A.  
Viale Enrico Ortolani 149/151 – Zona industriale di Acilia – 00125 Roma

---

Legislazione Tecnica S.r.L.  
00144 Roma, Via dell'Architettura 16

*Servizio Clienti*  
Tel. 06/5921743 – Fax 06/5921068  
servizio.clienti@legislazionetecnica.it

*Portale informativo:* [www.legislazionetecnica.it](http://www.legislazionetecnica.it)  
*Shop:* [ltshop.legislazionetecnica.it](http://ltshop.legislazionetecnica.it)

I contenuti e le soluzioni tecniche proposte sono espressioni dell'esperienza maturata nel corso degli anni dall'Autore. Esse possono, quindi, soltanto essere fatte proprie dal lettore, o semplicemente rigettate, ed hanno l'intento di indirizzare e supportare il tecnico nella scelta della soluzione che maggiormente si adatta alla situazione oggetto di analisi. Rimane, pertanto, a carico del tecnico la selezione della soluzione da adottare. Il lettore utilizza il contenuto del testo a proprio rischio, ritenendo indenne l'Editore e l'Autore da qualsiasi pretesa risarcitoria.

# INTRODUZIONE

---

L'opera è un contributo originale sul quale cominciare a costruire la cultura del progettista strutturale.

Questo volume fa parte delle “*basi di calcolo*” che lo scrivente ha via via perfezionato e integrato insegnando ai geometri dell'ITIS di Massa. Nel corso degli anni vi è stato un sistematico aggiornamento al sistema europeo cercando soluzioni da considerarsi affidabili, ottenute analiticamente e avvalorate dai risultati dei metodi grafici. La certezza della soluzione è fondamentale per il tecnico per cui, quando possibile, la soluzione viene ricercata sia analiticamente che graficamente.

Per risolvere ciascun problema sono stati elaborati fogli di calcolo in Excel, realizzati in forma di relazioni corredate da commenti e spiegazioni. Si cerca di evitare per i casi correnti le operazioni matematiche complesse, che vengono però fornite in seconda battuta per rendere i procedimenti più generali.

Il volume tratta delle “*basi di calcolo*” che il progettista deve avere per affrontare il calcolo di strutture. Un inquadramento storico, l'analisi delle forze, delle sezioni e delle loro caratteristiche, il concetto di sicurezza sono alcune delle basi che il progettista deve avere ben chiare. Per il tecnico già “*istruito*” si tratta solo di rettificare qualche sua conoscenza, indirizzandola nella nuova strada tracciata dagli Eurocodici.

L'analisi viene affrontata nei modi più semplificati, per permettere di ottenere soluzioni nel modo più razionale e veloce. In genere per ogni problema si prospetta un metodo grafico, un metodo analitico manuale e un metodo analitico appoggiato a un foglio di calcolo. Il progettista, manipolando forze e sezioni, potrà così avere la certezza della soluzione con il semplice confronto tra risultati ottenuti con metodi grafici e analitici.

L'impostazione è fatta seguendo le indicazioni degli Eurocodici. In particolare per le sezioni si riserva l'asse x a quello dell'elemento; la sezione trasversale avrà un asse orizzontale y e uno verticale z. I simboli utilizzati sono quelli previsti in sede europea, per esempio per il momento di inerzia della sezione si usa il simbolo I e non J usato in letteratura nel passato.

I fogli di calcolo disponibili nell'Area download collegata al volume sono preziose *utilities* per il progettista; consentono soluzioni veloci e affidabili e nel contempo sono presentate sotto forma di piccole relazioni di calcolo correlate a uno specifico problema e allegabili al fascicolo di calcolo della struttura.

## NOTA PER IL DOWNLOAD

---

Si riporta di seguito l'elenco dei contenuti aggiuntivi disponibili nell'Area download collegata al volume cartaceo. L'Area download è accessibile collegandosi all'indirizzo [www.legislazionetecnica.it/download](http://www.legislazionetecnica.it/download) ed inserendo il codice riportato nella seconda pagina di copertina dopo aver effettuato il login con le proprie credenziali (chi non fosse in possesso delle credenziali dovrà preventivamente effettuare la registrazione gratuita al sito).

I fogli di calcolo sono stati elaborati nel corso di molti anni dall'autore e la stesura si sforza di rendere comprensibile ogni operazione che si esegue.

Nei vari file i dati per il calcolo vanno inseriti nelle caselle con fondo giallo; le altre caselle sono protette.

Per suggerimenti o problemi scrivere a: [antonioingcirillo@libero.it](mailto:antonioingcirillo@libero.it) o fare riferimento al suo sito [www.antoniocirillo.com](http://www.antoniocirillo.com); l'autore ringrazia fin d'ora per il contributo del lettore.

### **Forze**

*File 1. Composizione forze applicate a un punto: compf.xlsx*

Il foglio di calcolo consente di ottenere la risultante di più forze applicate ad un unico punto; il principio di base è che la risultante può sostituire le forze iniziali a condizione che essa abbia la stessa azione orizzontale e la stessa azione verticale.

*File 2. Scomposizione forza in due direzioni: scompf.xlsx*

Il foglio di calcolo, nota una forza e indicate due nuove rette di direzione passanti per il punto di applicazione della forza di origine, consente di ottenere l'intensità delle due forze che possono prendere il posto di quella originaria, imponendo che esse abbiano la stessa azione orizzontale e la stessa azione verticale.

*File 3. Composizione forze nel piano: compfgenmax7.xlsx*

Il foglio di calcolo consente di ottenere la risultante di più forze applicate a punti diversi del piano, massimo sette forze; la risultante può sostituire le forze iniziali a condizione che essa abbia la stessa azione

orizzontale e la stessa azione verticale. La risultante deve passare su una precisa retta di direzione, ottenuta in modo che la risultante stessa abbia la stessa azione rotante di quelle originarie. In pratica con il teorema di Varignon si impone che, rispetto a un generico polo, il momento della risultante sia uguale alla somma dei momenti delle singole forze.

## **Sezioni**

*File 4. Sezione 2 rettangoli: sezione 2rettangoli.xlsx*

Il foglio di calcolo consente di ottenere l'area totale, il baricentro e i momenti di inerzia per una sezione composta da due rettangoli.

*File 5. Sezione con triangoli e rettangoli vari: sezionerettetriang completo assi pr.xlsx*

Il foglio di calcolo consente di ottenere l'area totale, il baricentro e i momenti di inerzia per una sezione composta da rettangoli e triangoli rettangoli, fissati alla figura complessiva con le coordinate dello spigolo dell'angolo retto e con la direzione del triangolo.

## **Vari**

*File 6. Calcolo valore medio e errore della media: valoremedio.xlsx*

Il foglio di calcolo consente di operare su una serie di valori probabilistici di una misura generica.

*File 7. Risoluzione con matrici di sistema 3x3: matrici3x3.xlsx*

Il foglio di calcolo consente di trovare la soluzione per un sistema di tre equazioni in tre incognite semplicemente ponendo nelle caselle i valori dei coefficienti.



# INDICE

---

INTRODUZIONE .....	3
NOTA PER IL DOWNLOAD .....	4
<b>CAPITOLO 1 - Cenni storici: storia delle tecniche di calcolo, di misurazione e degli strumenti in edilizia .....</b>	<b>13</b>
1.1 Tipologie costruttive arcaiche .....	14
1.2 Esempi di edilizia a Babilonia, in Egitto e a Roma .....	15
1.3 Il trattato di Vitruvio Pollione sull'architettura .....	19
1.4 Il trattato di Galileo Galilei sulle strutture .....	20
1.5 Breve storia dei numeri .....	25
1.5.1 La numerazione binaria .....	27
1.5.2 Numerologia .....	27
1.6 Origini del calcolo delle probabilità .....	28
1.7 La nascita della statistica .....	29
1.8 Teorie per le strutture .....	30
1.8.1 Teoria dell'elasticità: materiale elastico, struttura ideale	30
1.8.2 Teoria della plasticità: materiale elastico-plastico ...	31
1.8.3 Metodo degli stati limite .....	32
1.8.4 Metodo degli stati limite ai coefficienti parziali .....	32
1.9 Breve storia dei dispositivi di calcolo e delle tecniche di calcolo	33
1.10 Tracciare e misurare .....	37
1.10.1 Strumenti per misurare le distanze .....	37
1.10.2 Strumenti per controllare la verticalità e la orizzontalità	42
1.10.3 Strumenti per tracciare linee perpendicolari .....	47
1.10.4 Metodi e strumenti per misurare angoli verticali e orizzontali .....	52
1.10.5 Misure reali e valore probabile .....	60
1.10.5.1 Applicazione a una serie di valori "continui" ..	63
<b>CAPITOLO 2 - Le forze .....</b>	<b>65</b>
2.1 Richiami di trigonometria - Il cerchio trigonometrico .....	65
2.2 Il triangolo rettangolo (con l'uso della trigonometria) .....	69
2.3 Le forze .....	70
2.4 Effetti di una forza .....	72
2.4.1 Momento di una forza .....	74
2.4.2 Momento di una coppia .....	75

2.5	Composizione di forze applicate a un medesimo punto di applicazione: metodo analitico .....	76
2.6	Composizione di forze applicate a un medesimo punto di applicazione: metodo grafico .....	78
2.6.1	Metodo del parallelogramma .....	78
2.6.2	Metodo grafico con poligono delle forze .....	79
2.6.2.1	<i>La messa in scala nel grafico di una forza</i> ....	82
2.7	Composizione di forze: soluzione con Excel .....	82
2.8	Scomposizione di forze .....	88
2.8.1	Scomposizione di una forza in due direzioni sugli assi cartesiani .....	88
2.8.2	Scomposizione di una forza in due direzioni qualsiasi .	89
2.8.2.1	<i>Sintesi scomposizione di una forza in due direzioni</i>	93
2.9	Scomposizione di forze: soluzione con Excel .....	94
2.10	Scomposizione con Autocad .....	96
2.11	Forze nel piano applicate a punti diversi .....	98
2.11.1	Forze parallele: metodo analitico .....	98
2.11.2	Forze parallele: metodo grafico .....	99
2.11.3	Forze qualsiasi nel piano: metodo analitico .....	102
2.11.4	Forze qualsiasi nel piano: metodo grafico .....	106
2.12	Composizione di forze generiche: soluzioni con il computer	108
2.12.1	Composizione di forze generiche con Excel .....	108
2.12.2	Composizione di forze generiche con Autocad .....	114
2.13	Considerazioni sul principio di sovrapposizione degli effetti	116
 <b>CAPITOLO 3 - Analisi delle sezioni</b> .....		 117
3.1	La geometria delle masse .....	117
3.1.1	L'area .....	117
3.1.2	Il baricentro .....	117
3.1.3	Momento statico di una figura piana .....	120
3.1.4	Momento di inerzia .....	120
3.1.5	Esempi di aree e momenti di inerzia per sezioni particolari: casi notevoli .....	123
3.2	Ellisse di inerzia .....	128
3.3	Nocciolo centrale di inerzia .....	129
3.3.1	Momento di inerzia di una figura rispetto ad un asse non baricentrico - Momento di trasporto .....	132
3.4	Baricentro e momento di inerzia di figure "qualsiasi" .....	133
3.4.1	Risoluzione grafica con Autocad .....	135

3.5	Assi principali di inerzia .....	136
3.5.1	Determinazione degli assi principali di una figura composta .....	136
3.5.2	Esempi di baricentri e momenti di inerzia .....	138
3.5.3	Esempi di travi .....	144
3.5.4	Esempi di figure composte e di altre figure .....	146
<b>CAPITOLO 4 - Normativa tecnica per il calcolo strutturale .....</b>		<b>155</b>
4.1	Breve storia delle norme tecniche italiane .....	155
4.2	Riferimenti tecnici vigenti (Cap. 12 NTC 2018) .....	156
4.3	Strutture con gli Eurocodici - gli Eurocodici come norme europee	157
4.4	Applicabilità degli Eurocodici .....	158
4.5	Struttura dell'Eurocodice tipo .....	159
4.5.1	Presentazione degli Eurocodici per tipologie strutturali ..	160
4.5.2	Formato editoriale di un Eurocodice .....	161
4.6	Lista degli Eurocodici .....	162
4.7	Fondamenti degli Eurocodici .....	164
4.8	Analisi strutturale .....	167
4.9	Teoria degli stati limite .....	168
4.9.1	Verifiche agli stati limite ultimi (SLU) .....	168
4.9.2	Stati limite di servizio o di esercizio (SLS o SLE) .....	169
<b>CAPITOLO 5 - Requisiti prestazionali e di sicurezza delle strutture</b>		<b>171</b>
5.1	Sicurezza e prestazioni attese (Cap. 2 NTC 2018) .....	171
5.1.1	Principi fondamentali (§ 2.1) .....	171
5.2	Requisiti delle opere strutturali (§ 2.2) .....	172
5.2.1	Stati Limite Ultimi (SLU) (§ 2.2.1) .....	172
5.2.2	Stati Limite di Esercizio (SLE) (§ 2.2.2) .....	172
5.2.3	Sicurezza antincendio (§ 2.2.3) .....	173
5.2.4	Durabilità (§ 2.2.4) .....	173
5.2.5	Robustezza (§ 2.2.5) .....	173
5.2.6	Verifiche (§ 2.2.6) .....	174
5.3	Valutazione della sicurezza (§ 2.3) .....	174
5.4	Vita nominale di progetto, classi d'uso e periodo di riferimento (§ 2.4) .....	175
5.4.1	Vita nominale di progetto (§ 2.4.1) .....	175
5.4.2	Classi d'uso (§ 2.4.2) .....	175
5.4.3	Periodo di riferimento per l'azione sismica (§ 2.4.3) .....	176

5.5 Azioni sulle costruzioni (§ 2.5) .....	176
5.5.1 Classificazione delle azioni (§ 2.5.1) .....	176
5.5.1.1 <i>Classificazione delle azioni in base al modo di</i> <i>esplicarsi (§ 2.5.1.1)</i> .....	176
5.5.1.2 <i>Classificazione delle azioni secondo la risposta</i> <i>strutturale (§ 2.5.1.2)</i> .....	177
5.5.1.3 <i>Classificazione delle azioni secondo la variazione</i> <i>della loro intensità nel tempo (§ 2.5.1.3)</i> .....	177
5.5.2 Caratterizzazione delle azioni elementari (§ 2.5.2) .....	177
5.5.3 Combinazioni delle azioni (§ 2.5.3) .....	179
5.6 Azioni nelle verifiche agli stati limite (§ 2.6) .....	181
5.6.1 Stati limite ultimi (§ 2.6.1) .....	181
5.6.2 Stati limite di esercizio (§ 2.6.2) .....	182
5.7 Valutare la sicurezza .....	183
5.7.1 Sulla conoscenza delle tensioni reali .....	183
5.7.2 Premessa: computare .....	184
5.7.3 Computo realistico .....	185
5.7.4 Computo realistico strutturale .....	187
5.7.4.1 <i>Valori caratteristici e valori di progetto</i> .....	188
5.7.5 Struttura in sicurezza .....	190
5.7.5.1 <i>Verifica strutturale come confronto tra valori</i> <i>probabilistici</i> .....	192
5.8 Capacity design - sistema strutturale "sotto attacco" .....	193
5.8.1 Progettare in capacità .....	195
5.8.2 Gerarchia delle resistenze o dei livelli di cemento relativi .....	195
5.8.3 Scenari possibili .....	196
<b>CAPITOLO 6 - Il progetto della struttura</b> .....	<b>199</b>
6.1 Generalità .....	199
6.2 Gli scenari .....	201
6.2.1 Situazioni di carico possibili allo Stato Limite Ultimo	203
6.2.2 Scenari significativi .....	206
6.3 Materiali e prodotti per uso strutturale .....	207
6.3.1 Generalità (§ 11.1 NTC 2018) .....	208
6.4 Norme per la redazione del progetto esecutivo .....	210
6.4.1 Caratteristiche generali (§ 10.1 NTC 2018) .....	210
6.4.2 Analisi e verifiche svolte con l'ausilio di codici di calcolo (§ 10.2) .....	212
6.4.2.1 <i>Relazione di calcolo (§ 10.2.1)</i> .....	212
6.4.2.2 <i>Valutazione indipendente del calcolo (§ 10.2.2)</i> .	213

6.5 Collaudo statico . . . . .	214
6.5.1 Prescrizioni generali (§ 9.1 NTC) . . . . .	214
6.5.2 Prove di carico (§ 9.2) . . . . .	214
6.5.2.1 Strutture prefabbricate (§ 9.2.1) . . . . .	215
6.5.2.2 Ponti stradali (§ 9.2.2) . . . . .	215
6.5.2.3 Ponti ferroviari (§ 9.2.3) . . . . .	216
<b>APPENDICE</b> . . . . .	<b>217</b>
Scheda operativa 1. Matrici . . . . .	217
Scheda operativa 2. Integrali . . . . .	220



**Pagine non disponibili  
in anteprima**



## 2.4 EFFETTI DI UNA FORZA

Una forza produce un *effetto traslante* nella direzione in cui esplica la sua azione imprimendo al corpo cui è applicata un'accelerazione di cui si dovrà tenere conto per la stabilità del corpo stesso.

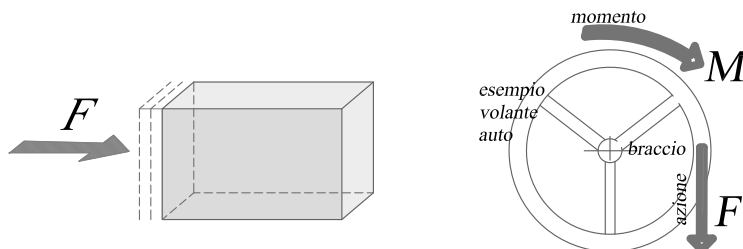


Figura 2.10 - Azione traslante e azione rotante di una forza

Congiuntamente all'azione traslante imposta al corpo si esplica in generale anche un'azione rotante sul corpo tale da imporre al corpo stesso una rotazione.

L'azione rotante imposta ad un corpo si quantifica come il prodotto tra l'intensità della forza e la distanza che la forza ha rispetto al punto preso come riferimento.

L'azione rotante si chiama *Momento della forza* e sarà indicata in genere con  $M$ . L'unità di misura del momento è una forza moltiplicata per una lunghezza (nel SI è in  $\text{N} \cdot \text{m}$ ).

In Figura 2.10 è rappresentata a dx l'azione rotante imposta dalla mano del guidatore sul volante di un'auto. Il momento di tale forza sarà pari al prodotto tra la forza e il raggio del volante, dato che il centro di rotazione del volante stesso è il centro del perno di sostegno.

In generale possiamo dire che una forza agente su di un corpo nel piano tende a produrre un'azione traslante nella direzione della forza e un'azione rotante.

Un corpo nel piano sul quale agisce una forza si muove e ruota.

Lo studio analitico del movimento e delle azioni è più agevole se invece dell'azione di una forza inclinata e dell'azione rotante ad essa connessa si considerano tre azioni elementari che, sommate tra loro, forniscono l'azione "complessa".

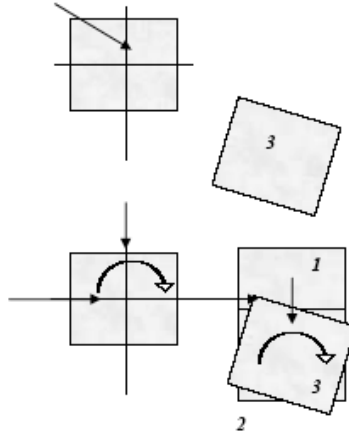
In modo più puntuale possiamo dire che per un corpo che si muove in un piano la generica azione che lo sollecita potrà scomporsi in tre azioni elementari:

- azione traslante orizzontale  $F_y$ ;
- azione traslante verticale  $F_z$ ;
- momento o azione rotante  $M$ .

In sintesi, invece che considerare il moto del corpo sottoposto alla forza qualsiasi si scompone tale moto in tre movimenti elementari, che portano il corpo nella medesima posizione finale.

La posizione finale del corpo si ottiene dunque in tre "mosse": sotto l'azione tra-

slante orizzontale  $F_y$  il corpo trasla rigidamente (senza ruotare) in direzione  $y$  (ad es. orizzontale), portandosi nella posizione 1; sotto l'azione traslante verticale  $F_z$  il corpo trasla rigidamente (senza ruotare) in direzione  $z$  (verticale), portandosi nella posizione 2; giunto con il baricentro nella posizione finale, per portare il corpo allineato alla giusta direzione si fa agire il Momento  $M$ , che induce la rotazione che porta il corpo nella configurazione finale 3 (Figura 2.11).



**Figura 2.11** - In alto: moto del corpo soggetto a una forza qualsiasi nel piano. In basso: moto del corpo soggetto prima alla componente orizzontale, poi alla componente verticale e infine al momento  $M$

Nell'ambito della statica le forze applicate indurrebbero gli effetti suddetti se il corpo fosse libero di muoversi. Se il corpo è opportunamente vincolato, ovvero se esso non si sposta sotto l'effetto delle azioni applicate, significa che le forze applicate sono neutralizzate da altre forze uguali e contrarie.

Le forze inducono una distorsione interna.

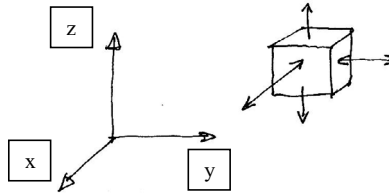
Il terzo principio della dinamica insegna che ad ogni azione corrisponde una reazione uguale e contraria e si applica ad un corpo fermo, in equilibrio.

In sintesi, nella statica le azioni esterne e le forze peso connesse al corpo stesso, se non producono alcuno spostamento, sono annullate da "reazioni" uguali e contrarie ad esse.

Nella statica su di un corpo globalmente, tra azioni e reazioni dei vincoli, agisce una risultante nulla.

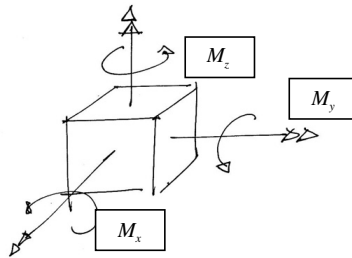
La situazione di un corpo fermo dal punto di vista delle forze fotografa un equilibrio dinamico che porta le forze ad annullarsi, sia come azione traslante sia come azione rotante.

Se per assurdo prevalessero alcune forze, si dovrebbe avere un'accelerazione nella direzione delle forze che prevalgono; dato che l'accelerazione è nulla, per la seconda legge della dinamica, la forza deve essere anch'essa nulla.



**Figura 2.12** - Moto del corpo nello spazio

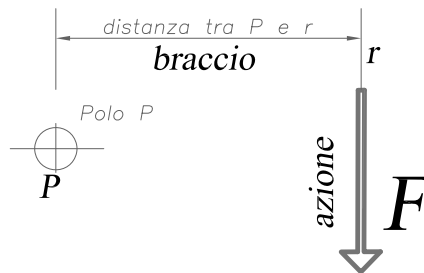
In generale per un corpo che è libero di spostarsi nello spazio sono possibili tre traslazioni rigide lungo i tre assi cartesiani, connesse alle componenti  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ , e tre rotazioni, connesse ai momenti  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$ , ciascuno dei quali, rispettivamente, induce una rotazione con asse rotante x, y, z.



**Figura 2.13** - Azioni su un corpo nello spazio

### 2.4.1 Momento di una forza

Il momento di una forza rispetto a un punto è pari al prodotto tra l'intensità della forza e la distanza tra il polo e la forza stessa.



**Figura 2.14** - Forza e polo

Praticamente il momento è l'azione rotante che la forza causerebbe sul corpo pensato fissato (ad es. con un chiodo) ad un supporto sottostante.

Per dare un esempio dell'entità di un momento di  $1 \text{ daN} \cdot \mathbf{M}$  possiamo dire che è l'azione rotante esercitata da un daN tenuto sospeso con la mano quando il braccio è di un metro (Figura 2.15).



**Pagine non disponibili  
in anteprima**



Fase 2: nella seconda fase si sceglie un polo a caso posto sulla destra del poligono e si uniscono i vertici del poligono delle forze al polo in questione.

### Polo e poligono funicolare

La posizione del polo si può assimilare alla posizione della mano che tiene la fune di un arco che sta per scoccare una freccia. Infatti se il punto è troppo vicino la fune dell'arco è troppo lenta, e la fune del poligono funicolare sarà molto "appesa", mentre se il polo è molto lontano la corda dell'arco ideale sarà troppo tesa e il poligono funicolare con i lati troppo appiattiti. Dato che il fine del poligono funicolare è trovare un punto e che tale punto viene determinato come intersezione tra il primo e l'ultimo lato del poligono funicolare, è opportuno che il polo sia scelto in una zona tale da ottenere tra i vertici estremi del poligono delle forze e il polo stesso un triangolo simile ad un equilatero.

Fase 3: nella terza fase si portano le parallele ai segmenti che uniscono il polo ai vertici del poligono delle forze; il primo lato, che parte in una posizione a caso, arriva fino alla retta d'azione della prima forza, il secondo lato parte da tale punto di intersezione e arriva alla retta di applicazione della seconda; la parallela al terzo lato arriva alla retta della terza forza e così via. Alla fine si ha l'ultimo lato. L'intersezione tra il prolungamento del primo lato e dell'ultimo fornisce un punto in cui far passare la retta di azione della risultante.

## 2.12 COMPOSIZIONE DI FORZE GENERICHE: SOLUZIONI CON IL COMPUTER

### 2.12.1 Composizione di forze generiche con Excel

#### COMPOSIZIONE di FORZE NEL PIANO applicate a punti diversi

intensità (N)	angolo risp. all'orizz.	componente orizzontale	componente verticale	DATI			
$F_i$	$\alpha_i$ (gradi)	$F_x$	$F_y$	$x_i$	$y_i$	$x_i F_{yi}$	$y_i F_{xi}$
300,00	272	10,47	-299,82	0,10	0,10	-29,98	1,05
250,00	277	30,47	-248,14	0,30	0,40	-74,44	12,19
45,00	330	38,97	-22,50	0,50	0,70	-11,25	27,28
0,00	100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
componente orizz. $R_x$		79,91		somme		-115,67	40,52
componente vertic. $R_y$			-570,45				

Intensità della risultante  $R = (R_x^2 + R_y^2)^{0.5}$

**576,02** — RISULTATI

angolo risp. all'orizzontale di R **82,0**

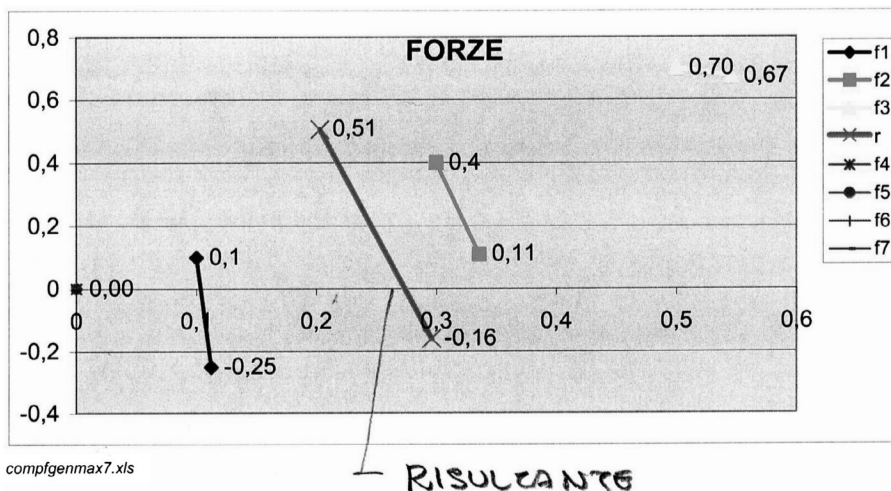
angolo rispetto all'asse delle x (rot. antioraria) **278,0**

ascissa punto di applic. di R  $x_R =$  **0,20**

ordinata punto di applic. di R  $y_R =$  **0,51**

date le forze , di cui si conosce l'inclinazione e le coordinate del punto di applicazione si vuole conoscere la risultante e le coordinate di un punto in cui essa è applicata e l'inclinazione  $\alpha$  di R rispetto all'orizzontale

Per il calcolo in questione si scompongono le forze iniziali, si cercano le due componenti della risultante in modo che la somma delle componenti verticali sia uguale alla componente verticale della risultante e che la somma delle componenti orizzontali sia pari alla componente orizzontale della risultante



**Figura 2.64** - Esempio di composizione di forze nel piano applicate a punti diversi tramite il file compfgenmax7.xlsx

Nella Figura 2.64 viene riprodotto il risultato in fase di stampa del foglio di calcolo; i dati sono riportati in caselle con fondo colorato di giallo. Il risultato è la risultante  $R$ , l'angolo rispetto all'orizzontale e le coordinate del suo punto di applicazione.

Il file "compfgenmax7.xlsx" consente la composizione analitica e la visualizzazione grafica approssimata di un numero di forze nel piano da due a sette. Per ottenere risultante, angolo con l'orizzontale e punto di applicazione è sufficiente inserire le intensità delle forze e l'angolo di ciascuna forza computato ruotando in senso antiorario l'asse delle  $x$ , nonché le coordinate del suo punto di applicazione. La visualizzazione in scala è approssimata.

Anche questo software, come quelli illustrati nei paragrafi precedenti, è disponibile nell'Area download collegata al volume.





**Pagine non disponibili  
in anteprima**



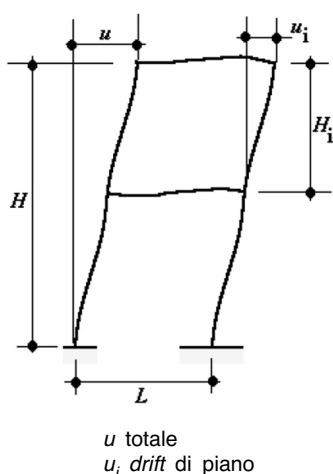


Figura 5.2 - Deformazione di un telaio sotto carico: da UNI EN 1990 (EC0)

## 5.7 VALUTARE LA SICUREZZA

La valutazione della sicurezza strutturale non è facile da ottenere. I carichi che possono agire nel corso della vita utile della struttura sono alquanto variabili; gli effetti indotti nella struttura sono anch'essi variabili; le capacità resistenti degli elementi strutturali o semplicemente le resistenze sono anch'esse variabili, in quanto tengono conto della matrice interna, delle lavorazioni subite, del montaggio, della storia di carico della struttura, dei cedimenti fondali e di tanti altri fattori.

La valutazione viene effettuata maneggiando con cura valori probabilistici, e si conclude con un giudizio che compara tali valori probabilistici per cui la sicurezza non è certa ma condizionata sempre da un margine di errore.

Deve essere chiaro sia per il progettista che per il committente come per l'utente che ogni costruzione ha una capacità di sopportazione probabile, con una certa, piccolissima magari, probabilità di crisi.

In prima istanza nel capitolo si puntualizza l'aleatorietà dei dati a disposizione e si sottolinea che non si tratta di computare ma di calcolare effettuando un computo realistico con valori probabilistici.

### 5.7.1 Sulla conoscenza delle tensioni reali

Quando una struttura è relativamente poco sollecitata le azioni possono "scegliere" varie strade per addivenire ad un globale equilibrio. In pratica il regime statico è alquanto complesso e indeterminato.

Solo quando il livello sollecitante relativo diviene "importante" e l'intera struttura è impegnata in tutte le sue parti, solo allora il regime statico interno si avvia a

divenire “*univoco*”. In pratica solo quando il cemento della struttura è importante, come avviene in campo plastico, solo allora si incominciano ad avere certezze.

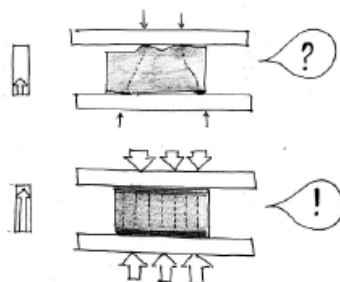


Figura 5.3 - Situazione interna più decifrabile al crescere del livello di cemento

### 5.7.2 Premessa: computare

Che cosa significa computare? Vuol dire eseguire con dati certi operazioni che partono da e giungono a numeri ben definiti (ad es.:  $5 + 1 = 6$ ).

Il computo algebrico è rassicurante e lascia “*soddisfatto*” l’operatore: se i dati sono 3 kg di patate + 5 kg di mele, l’operatore calcola che nella bilancia ci sono “*esattamente*” 8 kg.

Per secoli nessuno si è posto o nessuno ha saputo porsi il problema dell’incertezza che accompagna ogni dato che esprima una quantità misurata o comunque connessa a un elemento “*reale*”.

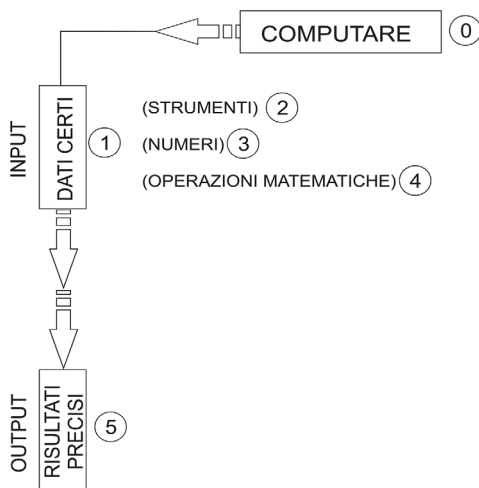


Figura 5.4 - Esempificazione del computare

Le seguenti definizioni di base costituiscono la legenda delle voci contenute in Figura 5.4:

- 0) *computare*: l'insieme di strumenti, tecniche e regole per ottenere risultati operando sui dati di partenza;
- 1) *dati certi*: numeri considerati "esatti" matematicamente;
- 2) *strumenti*: simboli, elementi matematici, unità di misura, operazioni matematiche e quanto altro in grado di permettere un "passaggio" (*step*) che sposti le "operazioni" da una sottozona di calcolo all'altra;
- 3) *numeri*: si usano i numeri arabi, nella forma (intero, decimali), per "grandi numeri" la forma  $x10^n$  ( $x10$  con un numero  $n$  di zeri), per "piccoli numeri" la forma  $x10^{-n}$  (:1 con un numero  $n$  di zeri);
- 4) operazioni matematiche:
  - a) operazioni *algebriche*:  $+$ ,  $\times$ ,  $-$ ,  $:$ ,  $\sqrt[n]{\phantom{x}}$ ,  $n^x$ ,  $\log$ , costituiscono il campo di operazioni che permette di effettuare dei computi analitici;
  - b) operazioni "infinitesimali": derivate, limiti, integrali, permettono di "manipolare" elementi "infinitesimali";
- 5) *risultati "precisi"*: es.  $3 + 2 = 5$ ; il risultato è "preciso" in quanto l'operazione matematica manipola dati "precisi".

### 5.7.3 Computo realistico

Il computo "realistico" parte dal presupposto che le grandezze manipolate dalle operazioni non sono "precise" ma condizionate da incertezze, in generale sono di tipo probabilistico.

Che cosa significa calcolare in modo realistico? Vuol dire operare con valori non ben definiti da un numero "certo" ovvero valori di tipo probabilistico accompagnati da incertezze che sono più o meno affidabili. Per giudicare della loro "vicinanza" al valore più probabile si fa riferimento allo scarto quadratico medio e al tipo di andamento (curva di Gauss) con cui nel calcolo delle probabilità si presenterebbero i valori reali.

