

# **aicap**

Associazione Italiana  
Calcestruzzo Armato e Precompresso

**NORME TECNICHE ED EUROCODICE 2**  
**NELLA PROGETTAZIONE STRUTTURALE**  
**DEGLI EDIFICI**  
**IN**  
**CALCESTRUZZO ARMATO**

**Pisa, 26 Gennaio 2007**  
**Facoltà di Ingegneria**  
**Dipartimento di Ingegneria Strutturale**  
**Università degli studi di Pisa**



- Sostenibilità
- Durabilità
- Qualità
- Innovazione
- Economicità

**aicap**  
Associazione Italiana  
Calcestruzzo Armato e Precompresso



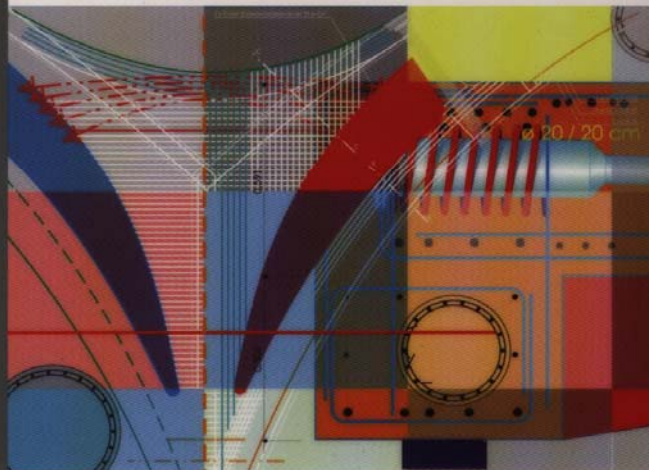
**GUIDA ALL'USO DELL'EUROCODICE 2**  
VOL. I **PROGETTAZIONE DI STRUTTURE  
IN CALCESTRUZZO ARMATO**

Promosso da AITEC • ASSOBETON • ATECAP



- Sostenibilità
- Durabilità
- Qualità
- Innovazione
- Economicità

**aicap**  
Associazione Italiana  
Calcestruzzo Armato e Precompresso



**GUIDA ALL'USO DELL'EUROCODICE 2**  
VOL. II **PROGETTO STRUTTURALE DI EDIFICI CIVILI ED  
INDUSTRIALI IN CALCESTRUZZO ARMATO**

Promosso da AITEC • ASSOBETON • ATECAP

**aicap**

1<sup>a</sup> parte

# EUROCODICE 2 - EN 1992-1-1

Guida all'uso dell'EC2:  
**Introduzione**

Franco Angotti – Università degli studi di Firenze

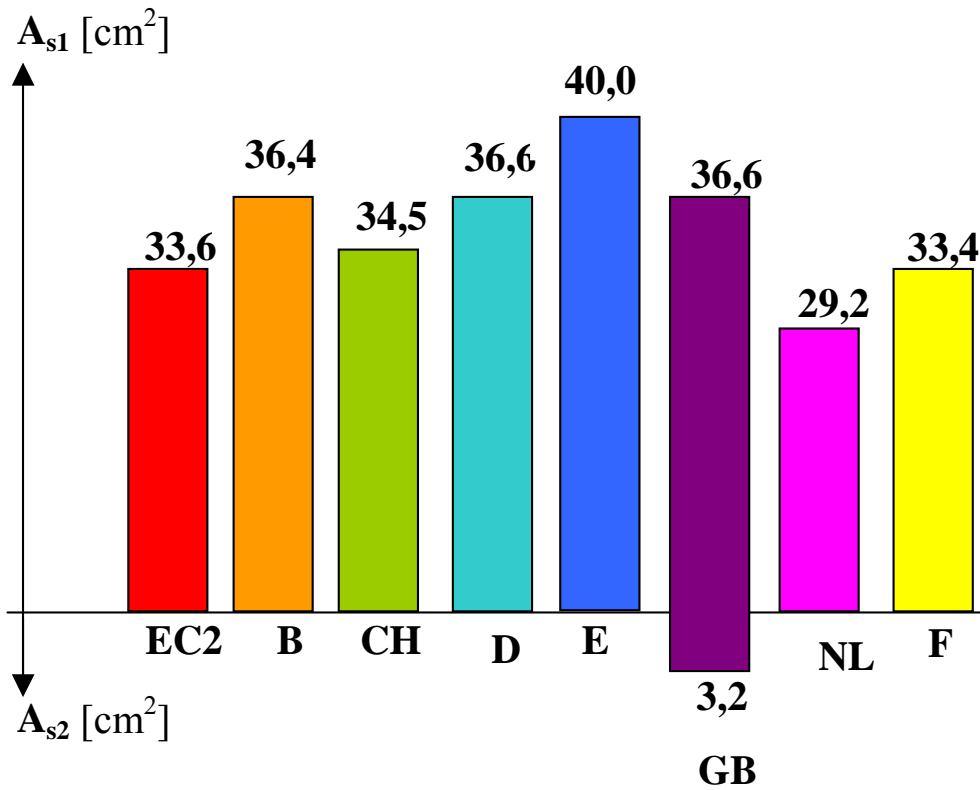
# Cosa sono gli eurocodici strutturali ?

corpo normativo  
organico ed aggiornato

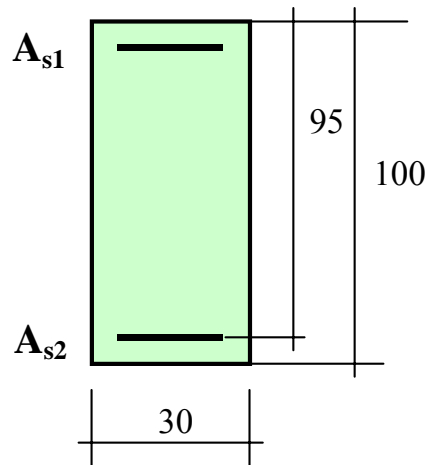
Sintesi della più prestigiosa  
tradizione europea

un insieme di regole unificate  
sicuramente di livello mondiale

Che si eviti una babele  
come questa:



H. -U Litzner  
Design of concrete structures



### Dati di progetto:

$$M_G = 500 \text{ kNm}$$

$$M_Q = 300 \text{ kNm}$$

**C 25/30;**

**S 500**

# PIANO GENERALE DEGLI EUROCODICI

**58 documenti raggruppati in 10 Eurocodici**

SIGLA	Denominazione	Titolo
EN 1990	Eurocodice 0	Principi di progettazione strutturale
EN 1991	Eurocodice 1	Azioni sulle strutture
EN 1992	Eurocodice 2	Progetto di strutture in calcestruzzo
EN 1993	Eurocodice 3	Progetto di strutture d'acciaio
EN 1994	Eurocodice 4	Progetto di strutture composte acciaio-calcestruzzo
EN 1995	Eurocodice 5	Progetto di strutture di legno
EN 1996	Eurocodice 6	Progetto di strutture in muratura
EN 1997	Eurocodice 7	Progetto geotecnico
EN 1998	Eurocodice 8	Progetto di strutture resistenti al sisma
EN 1999	Eurocodice 9	Progetto di strutture d'alluminio

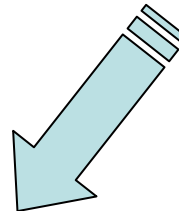
# EN 1990

## principi della sicurezza strutturale

è basato sul concetto  
di **stati limite**



verifica è condotta con il  
**metodo dei  
coefficienti parziali**



**Metodo semiprobabilistico agli stati limite**

# Progetto di un edificio

EN 1991

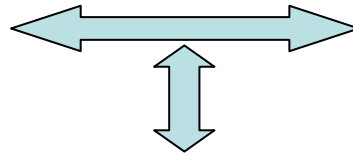


AZIONI

EN 1990



COMBINAZIONI



PROGETTAZIONE

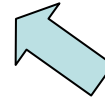
GEOTECNICA



EN 1997

EN 1992-1-1

EN 1992-1-2



SISMICA

EN 1998



# I Parametri Nazionali

Raccomandazione della Commissione UE:

11 dicembre 2003

favorire il riconoscimento degli Eurocodici da parte degli SM

**ENC**

Guidance Paper –  
Application and use of Eurocodes

Sicurezza agli SM

standard di prodotto  
marchi CE

**Parametri Nazionali**

**Appendici Nazionali**

# I Parametri Nazionali

## Situazione in Italia

Nel periodo Aprile 2004 - Marzo 2005

Sono state predisposte le

Appendici Nazionali

per

20 parti di Eurocodici

# I Parametri Nazionali

Inchiesta pubblica

Al 5 ottobre 2006:

dal giugno 2005 nel sito:

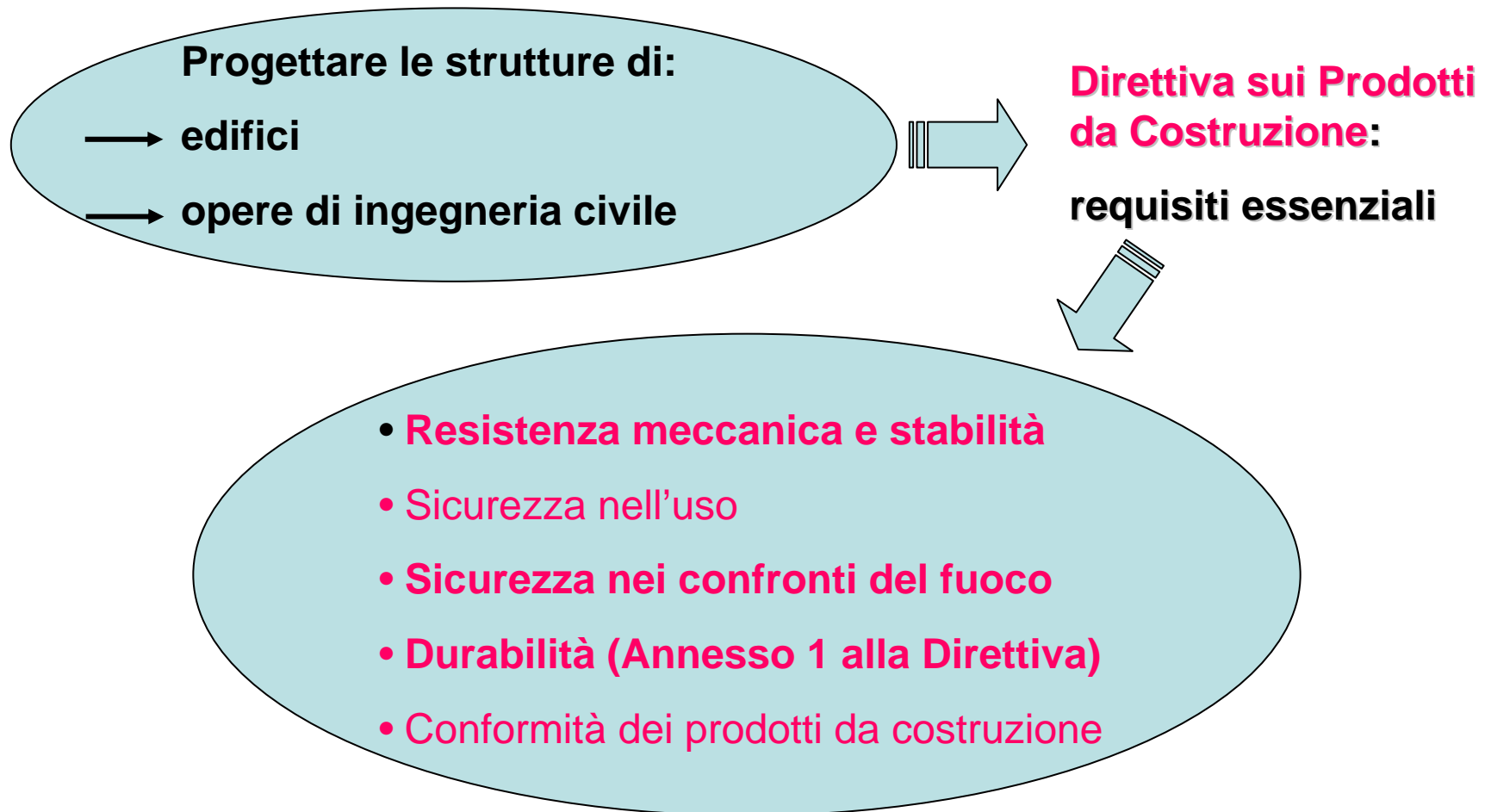
12.311 accessi

[www.coordinatore.it](http://www.coordinatore.it)

Il Gruppo di lavoro, dopo un periodo di sospensione, è stato riattivato dal Presidente del Consiglio dei Lavori Pubblici in data 26/10/2006.

- Revisione degli annessi già predisposti
- Coordinamento con la commissione “Monitoraggio”

# A cosa servono gli eurocodici strutturali ?



# 25 EU Countries + 3 EFTA



Franco Angotti  
Pisa 26 gennaio 2007

# IL CEB

IL COMITÉ  
EUROPEEN  
DU BETON  
1953

Novità: Stati-limite  
-ultimi  
- di esercizio  
Basi probabilistiche.

**1970 RACCOMANDAZIONI CEB-FIP**

L'idea degli eurocodici si può far risalire alla

Direttiva 71/305 : concorrenza nell'ambito dei lavori pubblici

Mancavano documenti pre-normativi riconosciuti

Fortunata coincidenza: le Associazioni tecnico scientifiche internazionali:

**CEB** c.a.

**FIP** c.a.p.

**CECM** acciaio

**CIB** legno e muratura

**RILEM** prove sui materiali

**Programma di una Collana di codici:**

Sistema internazionale di regolamenti tecnici internazionali unificati per le strutture

# 1979 – GLI EUROCODICI

**Eurocodice 2 – 1984**

**Eurocodice 3 – 1984**

Eurocodice 4 – 1985

Eurocodice 5 – 1987

**Eurocodice 6 – 1988**

**Eurocodice 8 – 1984**

## **industrial processes** BUILDING AND CIVIL ENGINEERING

### **EUROCODE No. 2: COMMON UNIFIED RULES FOR CONCRETE STRUCTURES**

Report prepared by:

Prof. Franco LEVI (Turin)

Prof. Jean PERCHAT (Paris)

Prof. Yves SAILLARD (Paris)

Dr. Andrew SHORT (London)

Dr. Manfred STILLER (Wiesbaden)

Dr. Hans-Ulrich LITZNER (Wiesbaden)

**Franco Levi**

### **EUROCODICE No. 3:**

Report prepared by:

Prof. P.J. Dowling, Londres

**Prof. L. Finzi, Milano**

Ir. J. Janss, Liège

Prof. A.G. Pousset, Paris

Prof. Sedlacek, Aix-la Chapelle

Ir. J.W.B. Stark, Delft

Dr. R.E. Hobbs, Londres

### **EUROCODICE No. 6:**

Report prepared by:

B.A. Haseltine, Londra

K. Kirtschig, Hanover

**G. Macchi, Milano**

1984

### **EUROCODICE No. 8:**

Report prepared by:

H. Bossenmayer, Stoccarda

**A. Giuffré, Roma**

B.A. Haseltine, Londra

E. Keintzel, Karlsruhe

G. Sedlacek, Aquisgrana

Directorate-General  
for the Medium and Industrial Affairs

EUR 8848 DE, EN, FR





Model Code 1978:

Capostipite degli euorcodici

LA  
CONTESA  
PROBABILISTICA

International System of  
Unified Standard Codes of Practice for Structures

Volume I

**COMMON UNIFIED RULES FOR DIFFERENT  
TYPES OF CONSTRUCTION AND MATERIAL**

Volume II

**CEB-FIP MODEL CODE FOR CONCRETE STRUCTURES**

CEB-FIP International Recommendations  
3rd Edition 1978

- Principi
- Regole d'applicazione

Alternativa:

- Reliability index  $\beta$
- Coefficienti parziali

**aicap**

2<sup>a</sup> parte

# EUROCODICE 2 - EN 1992-1-1

Guida all'uso dell'EC2:  
Criteri generali di progettazione  
strutturale

Franco Angotti, Maurizio Orlando – Università degli studi di Firenze

PISA 26 GENNAIO 2007

# Capitolo 1 – Sez. 2 di 1992-1-1

Franco Angotti, Maurizio Orlando

## **EN 1990 - CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE STRUTTURALE**

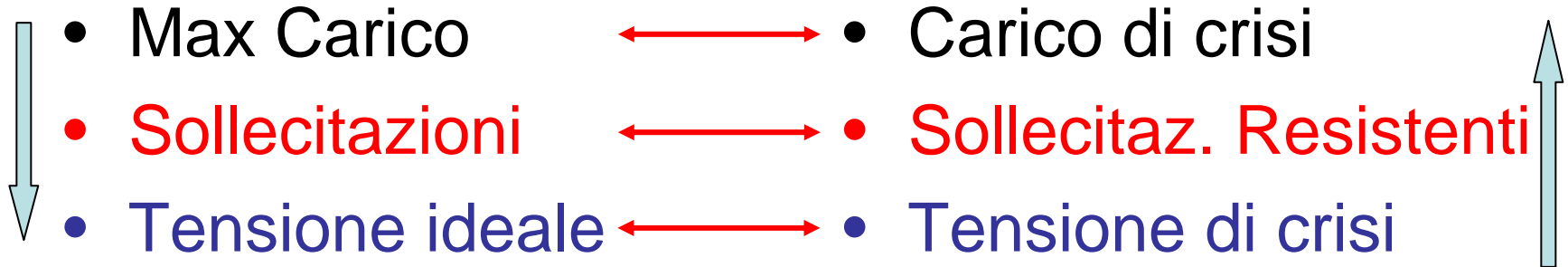
- progettazione agli stati limite con il metodo dei coefficienti parziali,
- le azioni in accordo con EN1991,
- le combinazioni di azioni in accordo con EN1990,

+

## **Prescrizioni supplementari specifiche**

- resistenza, durabilità ed esercizio in accordo con EN1992.

# verifica della sicurezza



Modello deterministico:

$$\max \sigma_{id} \leq \sigma_0$$

$$\max S \leq R$$

# Metodi probabilistici

Probabilità di crisi:

$$P_f = \text{Prob} (R \leq S)$$

Verifica di sicurezza:

$$P_f \leq P_f^*$$

# Metodi probabilistici

Confronto fra S R:

$M_s = R - S$  margine di affidabilità

Evento favorevole =  $M_s > 0$

ovvero

$E_s = R/S$  fattore di affidabilità

Evento favorevole =  $E_s > 1$

# Metodo di livello 3

R e S = variabili aleatorie

Se si conosce la distribuzione statistica di  $M_s$  ovvero di  $E_s$  :

$$P_f = P(M_s \leq 0) \leq P_f^* \qquad P_f = P(E_s \leq 1) \leq P_f^*$$

a) per s.l.u. (rottura fragile, instabilità, ecc.):

$$P_f^* = 10^{-5} - 10^{-7}$$

b) per s.l.u. (rottura duttile, cedimenti, ecc.):

$$P_f^* = 10^{-4} - 10^{-5}$$

c) per s.l.e. (deformazioni eccessive, sensibilità alle vibrazioni, ecc.):

$$P_f^* = 10^{-2} - 10^{-3}$$

# Metodo di livello 2 o metodo $\beta$

marginale di affidabilità =  $M_s = R - S$

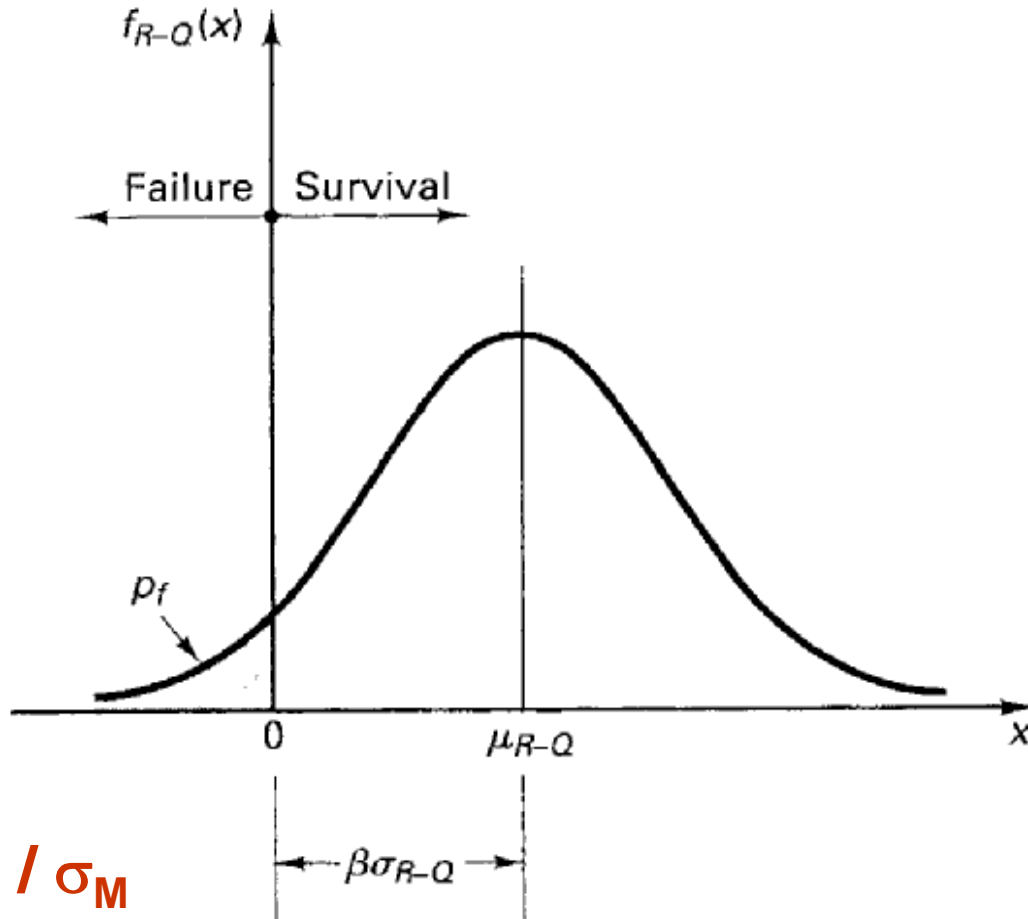
si conoscono solo media e  $\mu_M$

deviazione standard di  $M_s$  :  $\sigma_M$

Indice di affidabilità =  $\beta = \mu_M / \sigma_M$



$$f_{R-Q}$$



$$\beta = \mu_M / \sigma_M$$

Se R ed S non correlate

ovvero

R ed S sono normali e statisticamente indipendenti:

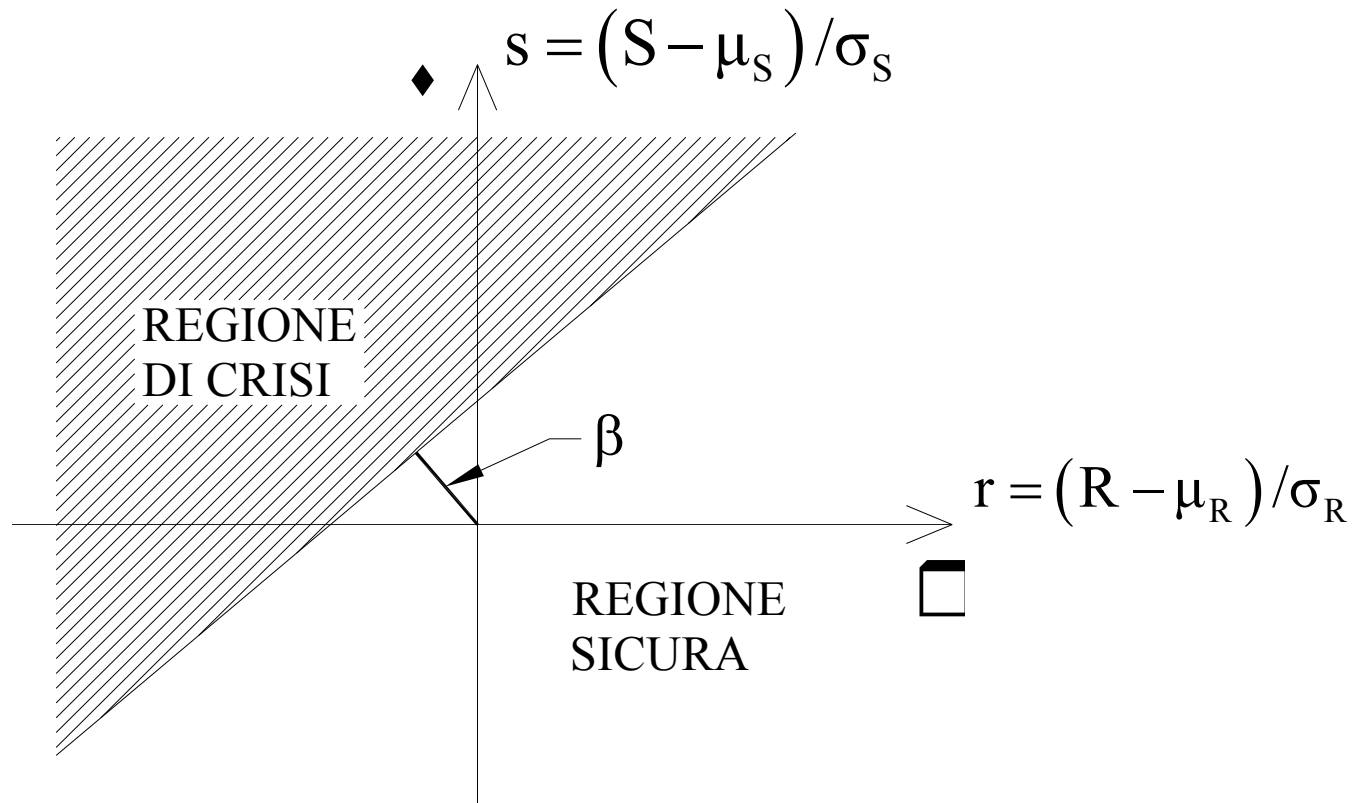
Media  $\mu_R$  e  $\mu_S$

Deviazione standard  $\sigma_R$  e  $\sigma_S$

Risulta:

$$\beta = (\mu_R - \mu_S) / \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}$$

# Interpretazione geometrica di $\beta$



Nella pratica progettuale anche il metodo di livello 2 è difficilmente applicabile perché non si dispone dei dati necessari

# Metodo di livello 1

## metodo dei coefficienti parziali

o

## semi-probabilistico

si basa sul rispetto di un insieme di regole utilizzando:

- **valori caratteristici** delle variabili
- **coefficienti parziali di sicurezza**  $\gamma_F$  e  $\gamma_M$
- **elementi additivi**  $\Delta$  per le altre incertezze (ad es. geometria) (si può ad es. ad esempio tenere conto dell'aleatorietà del valore del copriferro e quindi dell'altezza utile di una sezione di c.a.)

# Metodo di livello 1

metodo dei coefficienti parziali

o

semi-probabilistico

Il metodo non richiede alcuna  
conoscenza probabilistica da parte del  
progettista

gli aspetti probabilistici del problema di sicurezza sono già considerati nel **processo di calibrazione del metodo**, ossia nella scelta dei valori caratteristici, dei coefficienti parziali di sicurezza, ecc., fissati dalle Norme.

# metodo dei coefficienti parziali o semi-probabilistico

Ipotesi:

$R$  ed  $S$  sono variabili aleatorie indipendenti;

Si assumono i **valori caratteristici**:  $R_k$  ed  $S_k$  = frattili di un ordine prefissato

Si passa ai **valori di progetto**  $R_d$  ed  $S_d$  per coprire altre incertezze mediante l'applicazione di coefficienti parziali di sicurezza e di elementi additivi

Modello deterministico:

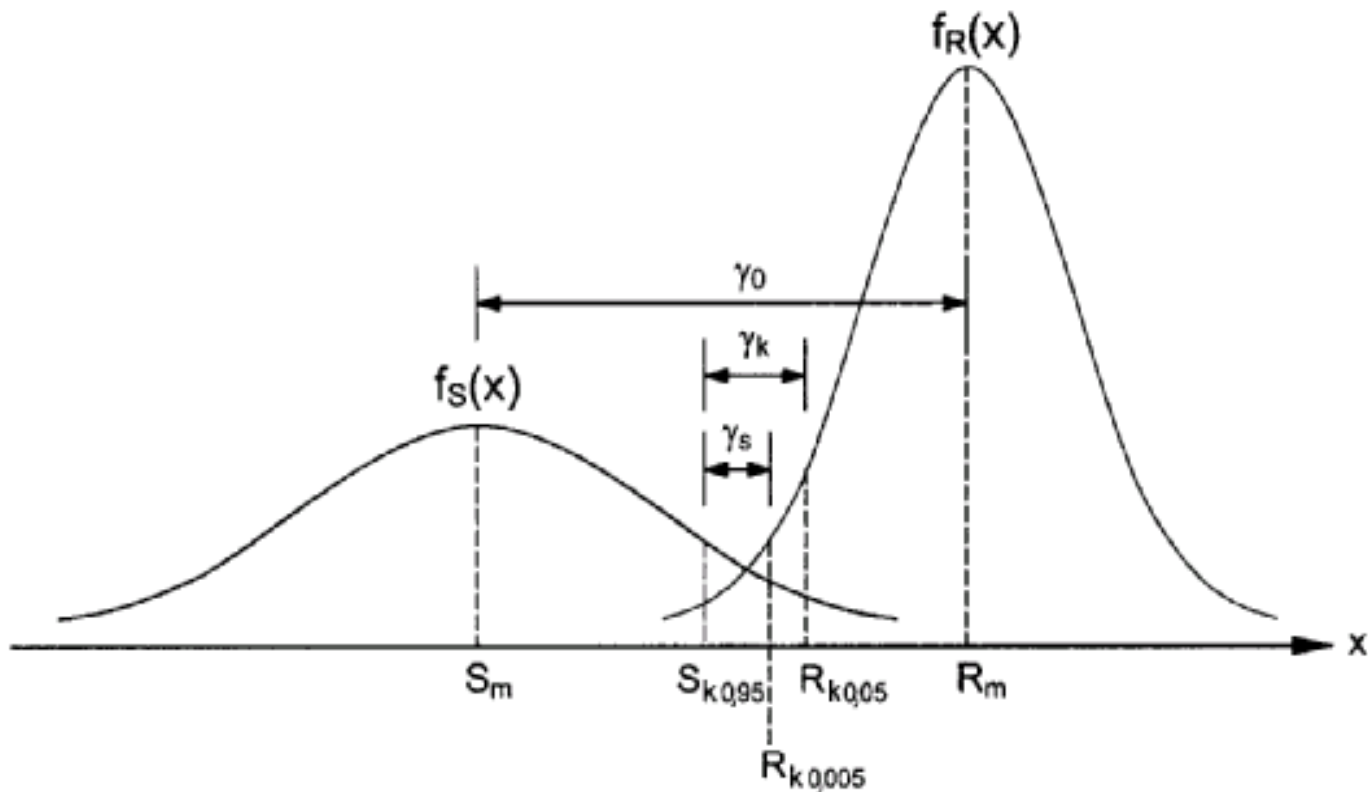
$$\max S \leq R$$



Modello semi-probabilistico:

$$S_d \leq R_d$$

# Valori caratteristici e valori di progetto



# Come si possono differenziare i livelli di affidabilità

si tiene conto di:

**cause** che portano al raggiungimento di uno stato limite;

- **conseguenze** del collasso in termini di rischio per la vita umana, danni alle persone, potenziali perdite economiche, rischi ambientali;

- **spesa** e procedure necessarie per ridurre il rischio di collasso.

Classi di conseguenze		Classi di affidabilità		Indice $\beta$ (50 anni)
CC1	→	RC1	→	3,3 ( $P_f \sim 10^{-3}$ )
CC2	→	RC2	→	3,8 ( $P_f \sim 10^{-4}$ )
CC3	→	RC3	→	4,3 ( $P_f \sim 10^{-5}$ )



# Esempio di relazione $\beta - \gamma_c$

$$\gamma_c = \frac{f_k}{f_d} = \frac{1}{\eta} e^{(\alpha\beta\delta_r - k\delta_c)}$$

$$\text{con } \delta_r = \sqrt{(\delta_c^2 + \delta_g^2 + \delta_m^2)}$$

$\beta$  = indice di affidabilità assunto pari a 3,8

$k$  = coefficiente moltiplicativo della formula ( $k = 1,645$ ):  $f_k = f_m - 1,645 \cdot \delta$

## Coefficienti di variazione

$\delta_c$  = della resistenza del calcestruzzo, assunto pari a 0,15

$\delta_g$  = tolleranze geometriche della sezione, assunto pari a 0,05

$\delta_m$  = modello di calcolo della sezione, assunto pari a 0,05

$\alpha$  = coefficiente di sensitività resistenza --> stato limite considerato, assunto pari a 0,8

$\eta$  = coefficiente di conversione tra la resistenza potenziale di laboratorio e quella effettiva della struttura, assunto pari a 0,85

**con questi valori si ottiene  $\gamma_c = 1,52$**

# valore di progetto di un'azione F

$$F_d = \gamma_f F_{rep} = \gamma_f \psi F_k$$

$F_k$  = valore caratteristico

$F_{rep}$  = valore rappresentativo pertinente

$$F_{rep} = \psi F_k$$

$\gamma_f$  = coeff. parziale che tiene conto di deviazioni sfavorevoli di F dal valore rappresentativo

$\psi$  = assume valori: 1,  $\psi_0$ ,  $\psi_1$ ,  $\psi_2$

# Valore di progetto degli effetti:

$$S_d = \gamma_{Sd} g_S(\Sigma \gamma_{fi}, \psi_i, F_{ki}; a_d)$$

$\Sigma$  = simbolo di combinazione

$\gamma_{Sd}$  = coeff. parziale che copre le incertezze nel modellare gli effetti delle azioni e le stesse azioni

$\gamma_{fi}$  = coeff. parziale che tiene conto di deviazioni sfavorevoli di  $F$  dal valore rappresentativo

$\psi_i$  = coefficiente di combinazione

$F_{ki}$  = valore caratteristico dell'azione

$a_d$  = valore di progetto dei dati geometrici

**Prospetto 1.10. Valori raccomandati dei coefficienti  $\psi$  per gli edifici [Prospetto (A1.1)-EN1990].**

<i>Sovraccarichi sugli edifici per categoria</i>	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Categoria A: abitazioni, aree residenziali	0,7	0,5	0,3
Categoria B: uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C: aree congressuali	0,7	0,7	0,6
Categoria D: aree commerciali	0,7	0,7	0,6
Categoria E: magazzini	1,0	0,9	0,8
Categoria F: area aperta al traffico, con peso dei veicoli $\leq 30$ kN	0,7	0,7	0,6
Categoria G: area aperta al traffico, con peso dei veicoli $> 30$ kN e $\leq 160$ kN	0,7	0,5	0,3
Categoria H: coperture	0	0	0
Carichi di neve sugli edifici (siti sopra i 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Carichi di neve sugli edifici (siti sotto i 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0
Carichi da vento sugli edifici	0,6	0,2	0

La Verifica di sicurezza va condotta  
nei confronti di:

stati limite ultimi (**classificati in 4 tipi**)

stati limite di esercizio

## classificazione degli SLU secondo EN1990

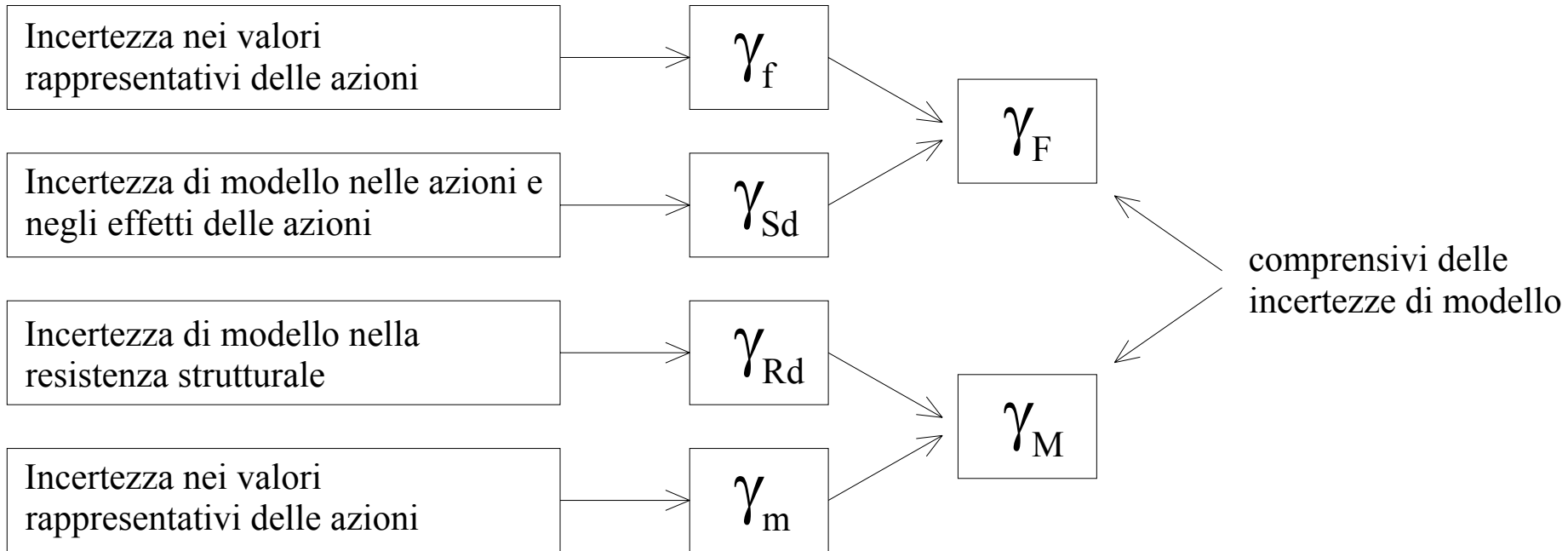
<i>Notazione</i>	<i>Definizione</i>
<b>EQU</b>	perdita dell'equilibrio statico della struttura o di una qualsiasi sua parte considerata come un corpo rigido, quando: <ul style="list-style-type: none"><li>• piccole variazioni nell'intensità o nella distribuzione spaziale delle azioni provocate da una sola sorgente sono significative (es. variazioni del peso proprio, vedere Esempio 1.1)</li><li>• le resistenze dei materiali da costruzione o del terreno non sono generalmente determinanti</li></ul>
<b>STR</b>	collasso interno o deformazione eccessiva della struttura o degli elementi strutturali, incluse le fondazioni, i pali, i muri di contenimento, ecc., quando il collasso è governato dalla resistenza dei materiali da costruzione della struttura
<b>GEO</b>	collasso o deformazione eccessiva del terreno quando le resistenze del terreno o della roccia sono determinanti nel garantire la resistenza
<b>FAT</b>	collasso per fatica della struttura o degli elementi strutturali

# Situazioni di progetto

- **Persistente** (condizione di uso normale)
- **Transiente** (condizioni temporanee- es. durante esecuzione o riparazione)
- **Eccezionale** (es. fuoco, urti, esplosioni, effetti di crolli locali ecc.)
- **Sismica**

# COMBINAZIONI DELLE AZIONI

## SIMBOLOGIA





## COMBINAZIONI FONDAMENTALI per gli SLU

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

In alternativa:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

dove  $\xi_j$  sono coefficienti di riduzione per le azioni permanenti sfavorevoli G.

# COMBINAZIONI DELLE AZIONI AGLI STATI LIMITE ULTIMI PER LA VERIFICA DI UN EDIFICIO

Prospetto 1.15. **Insiemi A, B e C dei coefficienti parziali  $\gamma$  delle azioni.**

Azioni	Azioni permanenti $G_k$		Azione variabile dominante $Q_{k,1}$ (Nota 2)	Azioni variabili non dominanti $Q_{k,i}$ (Nota 2)	
	Sfavorevole	Favorevole			
<b>Insieme A</b>	<b>1,10</b>	<b>0,90</b>	<b>1,5</b>	<b><math>1,5 \cdot \psi_{0,i}</math></b>	
<b>Insieme B</b> (Nota 1)	(eq.6.10)- EN1990	<b>1,35</b>	<b>1,00</b>	<b><math>1,5 \cdot \psi_{0,i}</math></b>	
	o in alternativa la più gravosa tra le seguenti due combinazioni:				
	(eq.6.10a)- EN1990	1,35	1,00	$1,5 \cdot \psi_{0,1}$	$1,5 \cdot \psi_{0,i}$
	(eq.6.10b)- EN1990	$0,85 \cdot 1,35$	1,00	1,5	$1,5 \cdot \psi_{0,i}$
<b>Insieme C</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,30</b>	<b>1,30</b>	
<p><i>Nota 1: si utilizza l'eq.6.10 o in alternativa la più gravosa tra l'eq.6.10a e l'eq.6.10b; a scelta è effettuata nell'Appendice Nazionale.</i></p> <p><i>Nota 2: il coefficiente parziale delle azioni variabili ove favorevoli è da assumersi pari a 0.</i></p>					

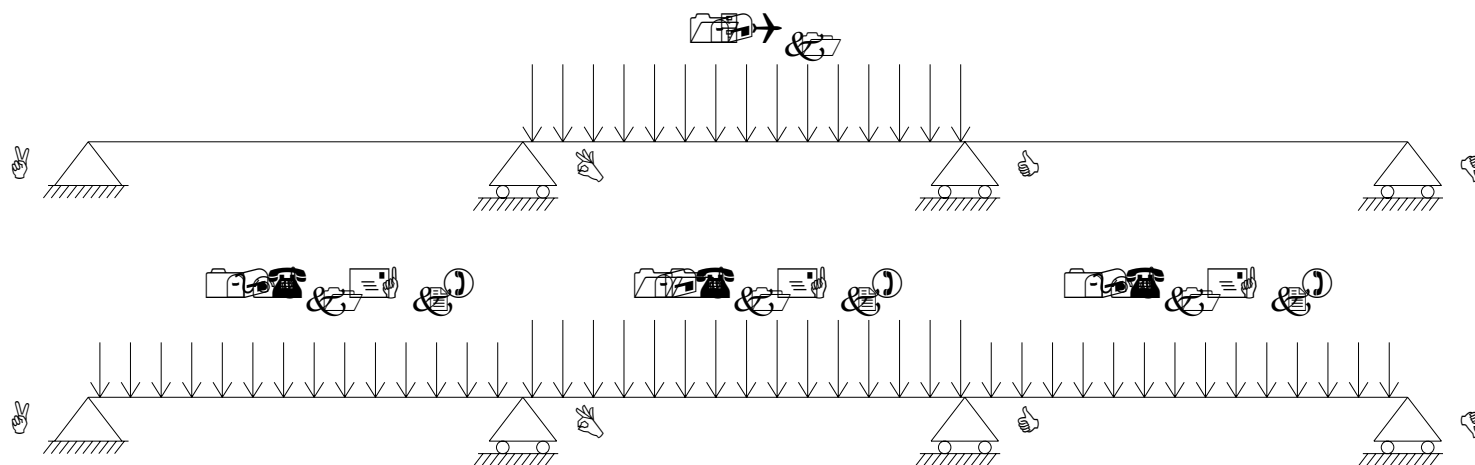
# COMBINAZIONI DELLE AZIONI AGLI STATI LIMITE ULTIMI PER LA VERIFICA DI UN EDIFICIO

Prospetto 1.16. Insiemi di coefficienti parziali da utilizzare per gli SLU

<i>Stato limite</i>	<i>Insieme dei coefficienti parziali da utilizzare</i>
<b>EQU – Equilibrio statico</b>	<b>Insieme A</b>
<b>STR – Resistenza delle strutture degli edifici non soggette ad azioni geotecniche</b>	<b>Insieme B</b>
STR – Resistenza delle strutture degli edifici <b>soggette</b> alle azioni geotecniche (fondazioni, pali, muri di contenimento, ecc.) GEO – Rottura o deformazione eccessiva del terreno	<b>Approccio 1<sup>(*)</sup></b> : Insieme C ed Insieme B per tutte le azioni in due calcoli separati (nei casi comuni il dimensionamento delle fondazioni è governato dall'Insieme C e la resistenza strutturale dall'Insieme B)
	<b>Approccio 2</b> : <b>Insieme B</b> per tutte le azioni
	<b>Approccio 3</b> : <b>Insieme B</b> per le azioni applicate alla struttura ed <b>Insieme C</b> per le azioni geotecniche, applicate in contemporanea nello stesso calcolo
<sup>(*)</sup> L'approccio da utilizzare per la verifica nei confronti di STR/GEO è stabilito nell'Appendice Nazionale.	

## Esempio 1.1. Combinazioni delle azioni agli SLU di una trave continua

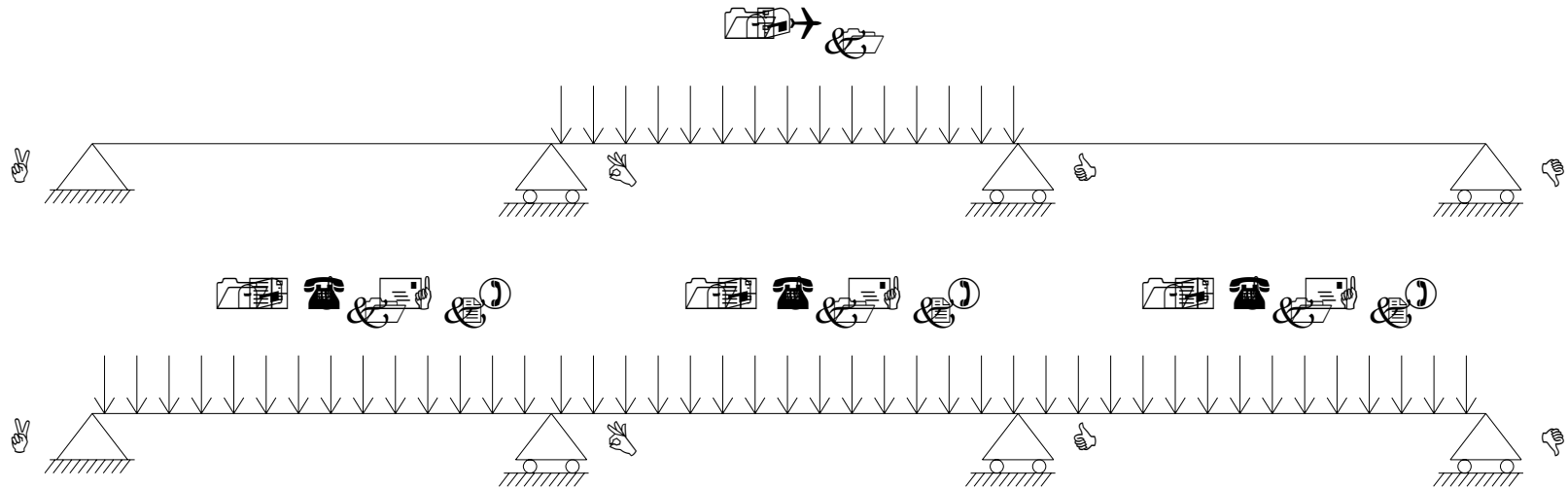
Per la verifica dei dispositivi antisollevamento degli appoggi di estremità EQU



i coefficienti da adottare sono quelli dell'**Insieme A**

# Esempio 1.1. Combinazioni delle azioni agli SLU di una trave continua

STR - Verifica a flessione in campata (*Insieme B*)



Nota:  $\gamma_G = 1,35$  per tutta la campata