

NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI

MODULO 1

- ***PRINCIPI FONDAMENTALI*** -

Relatore: Ing. Federico Carboni

Dottore di Ricerca in "Strutture e Infrastrutture"
presso l'Università Politecnica delle Marche

STATI LIMITE

SLU

- *Stato Limite Ultimo* -

*E' lo stato limite che comporta in sostanza
il crollo totale o parziale dell'opera*

Esempi

*Perdita di equilibrio della struttura
Rottura delle membrane della struttura
Rottura dei collegamenti della struttura
Collasso del terreno*

SLE

- *Stato Limite di Esercizio* -

*E' lo stato limite che comporta in sostanza
la perdita della funzionalità dell'opera*

Esempi

*Eccessiva fessurazione del calcestruzzo
Spostamenti e/o deformazioni eccessive
Vibrazioni eccessive
Degrado dei materiali*

CLASSIFICAZIONE DELLE AZIONI

G

- permanenti -

Azioni che agiscono durante tutta la vita della struttura in modo **costante nel tempo**

Esempi

Peso proprio di elementi strutturali (G_1)

Peso proprio di terreno e acqua (G_1)

Peso proprio di elementi non strutturali (G_2)

Pretensione e precompressione (P)

Spostamenti e deformazioni imposti

Ritiro e viscosità

Q

- variabili -

Azioni che agiscono istantaneamente sulla struttura in modo **variabile nel tempo**

Esempi

Peso proprio di arredi e veicoli

Vento

Neve

Variazioni termiche

A

- eccezionali -

Azioni che agiscono nel corso della vita della struttura **solo eccezionalmente**

Incendi, esplosioni, urti ed impatti

E

- sismiche -

Azioni che agiscono sulla struttura **in caso di terremoti**

COMBINAZIONE DELLE AZIONI

Tipo di Combinazione	Carico Permanente Strutturale	Carico Permanente Portato	Pre-sollecitazione	Carico Sismico	Carico Eccezionale	Carico Variabile Dominante	Carichi Variabili Secondari
Fondamentale (SLU)	$\gamma_{G1} \cdot G_1$	$\gamma_{G2} \cdot G_2$	P	-	-	$\gamma_{Q1} \cdot Q_{K1}$	$\gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{K2}$
Rara (SLE)	G_1	G_2	P	-	-	Q_{K1}	$\psi_{02} \cdot Q_{K2}$
Frequente (SLE)	G_1	G_2	P	-	-	$\psi_{11} \cdot Q_{K1}$	$\psi_{22} \cdot Q_{K2}$
Quasi permanente (SLE)	G_1	G_2	P	-	-	$\psi_{21} \cdot Q_{K1}$	$\psi_{22} \cdot Q_{K2}$
Sismica ("SLU" e "SLE")	G_1	G_2	P	E	-	$\psi_{21} \cdot Q_{K1}$	$\psi_{22} \cdot Q_{K2}$
Eccezionale (SLE)	G_1	G_2	P	-	A_d	$\psi_{21} \cdot Q_{K1}$	$\psi_{22} \cdot Q_{K2}$

γ_G e γ_Q sono dei coefficienti parziali di sicurezza che amplificano le azioni sfavorevoli alla sicurezza e riducono le azioni favorevoli alla sicurezza

ψ_0 , ψ_1 e ψ_2 sono dei coefficienti di combinazione che forniscono rispettivamente il valore raro, frequente e quasi permanente del carico variabile

COEFFICIENTI DI COMBINAZIONE

Categoria/Azione variabile	Ψ_{0j}	Ψ_{1j}	Ψ_{2j}
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

In ogni caso, quando i carichi variabili danno un contributo favorevole ai fini della sicurezza, deve assumersi $\psi_0 = 0$, $\psi_1 = 0$ e $\psi_2 = 0$

CARICHI VARIABILI DOMINANTI

In presenza molteplici tipologie di carichi variabili, ciascuna di esse va alternativamente assunta come azione dominante nella determinazione della combinazione fondamentale, rara e frequente

Si consideri ad esempio di avere 3 categorie di carico:

- Q_{KA} : Categoria A Ambienti ad uso residenziale → $\psi_{0A} = 0,7$; $\psi_{1A} = 0,5$; $\psi_{2A} = 0,3$
- Q_{KV} : Vento → $\psi_{0V} = 0,6$; $\psi_{1V} = 0,2$; $\psi_{2V} = 0,0$
- Q_{KN} : Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.) → $\psi_{0N} = 0,5$; $\psi_{1N} = 0,2$; $\psi_{2N} = 0,0$

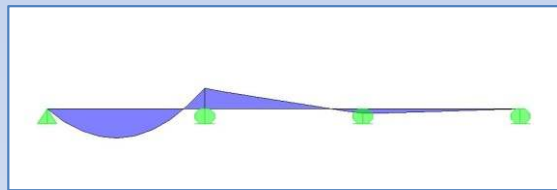
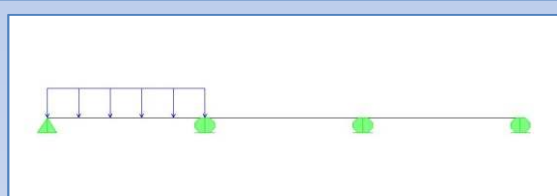
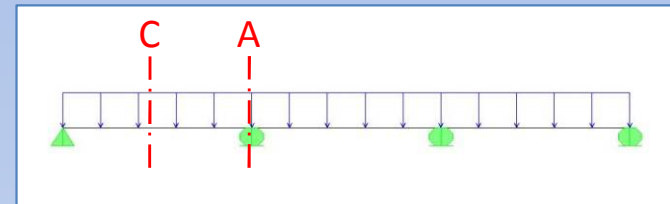
Combinazione fondamentale (SLU)	$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{K1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{K2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{K3}$
Carico Q_{KA} dominante	$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + P + \gamma_{QA} \cdot Q_{KA} + \gamma_{QV} \cdot 0,6 \cdot Q_{KV} + \gamma_{QN} \cdot 0,5 \cdot Q_{KN}$
Carico Q_{KV} dominante	$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + P + \gamma_{QV} \cdot Q_{KV} + \gamma_{QA} \cdot 0,7 \cdot Q_{KA} + \gamma_{QN} \cdot 0,5 \cdot Q_{KN}$
Carico Q_{KN} dominante	$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + P + \gamma_{QN} \cdot Q_{KN} + \gamma_{QV} \cdot 0,6 \cdot Q_{KV} + \gamma_{QA} \cdot 0,7 \cdot Q_{KA}$

In maniera del tutto analoga, si avranno 3 combinazioni rare e 3 combinazioni frequenti

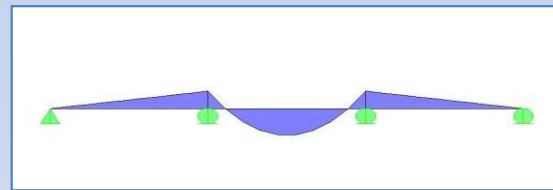
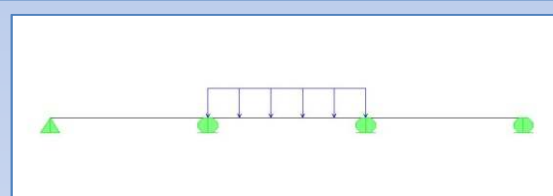
AZIONI FAVOREVOLI E SFAVOREVOLI

Nella determinazione delle combinazioni, è importante identificare, di caso in caso, quali carichi diano un contributo favorevole ai fini della sicurezza e quali invece no

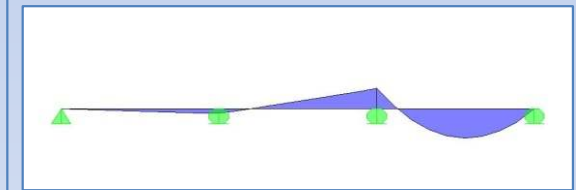
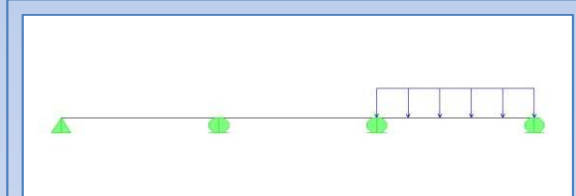
Si consideri ad esempio ad esempio di voler verificare le sezioni in **C**ampata e **A**ppoggio su di una trave continua su più appoggi (es: solaio)



*Carico sfavorevole a C
Carico sfavorevole ad A*



*Carico favorevole a C
Carico sfavorevole ad A*



*Carico sfavorevole a C
Carico favorevole ad A*

Una medesima tipologia di carico può dunque necessitare di diversi coefficienti di sicurezza e/o di combinazione, rendendo necessarie più combinazioni delle azioni

STATI LIMITE ULTIMI

EQU: Stato limite di **EQU**ilibrio

- Verifiche a ribaltamento dei muri di sostegno

STR: Stato limite di resistenza della **STR**uttura

- Verifiche di tutti gli elementi strutturali
- Verifiche strutturali delle opere di fondazione
- Verifiche strutturali delle opere di sostegno del terreno

GEO: Stato limite di resistenza **GEO**tecnica del terreno

- Verifiche geotecniche delle opere di fondazione
- Verifiche geotecniche delle opere di sostegno del terreno
- Verifiche di stabilità globale

COEFFICIENTI PARZIALI DI SICUREZZA

Nella combinazione fondamentale delle azioni allo SLU, i valori dei coefficienti γ_G e γ_Q sono funzione del tipo di stato limite affrontato (EQU, STR o GEO)

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

Potendo adottare $\gamma_{G2} = \gamma_{G1}$ se il permanente non strutturale è compiutamente definito

Nelle verifiche nei confronti degli stati limite ultimi strutturali e geotecnici, in alternativa all'applicazione delle 2 differenti combinazioni di carico, è possibile adottare 1 unica combinazione (da considerarsi generalmente cautelativa)

APPROCCIO PROGETTUALE 1

Combinazione 1: Dimensionamento e verifica strutturale

Combinazione 2: Dimensionamento e verifica geotecnica

Combinazione Fondamentale	$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{K1} + \gamma_{Q2} \cdot \Psi_{02} \cdot Q_{K2}$
Combinazione 1	$\gamma_{G1(STR)} \cdot G_1 + \gamma_{G2(STR)} \cdot G_2 + 1,0 \cdot P + \gamma_{Q1(STR)} \cdot Q_{K1} + \gamma_{Q2(STR)} \cdot \Psi_{02} \cdot Q_{K2}$
Combinazione 2	$\gamma_{G1(GEO)} \cdot G_1 + \gamma_{G2(GEO)} \cdot G_2 + 1,0 \cdot P + \gamma_{Q1(GEO)} \cdot Q_{K1} + \gamma_{Q2(GEO)} \cdot \Psi_{02} \cdot Q_{K2}$

Dove il valore delle resistenze geotecniche va calcolato dividendo i valori dei parametri geotecnici per i coefficienti parziali γ_{M1} per la verifica strutturale e γ_{M2} per la verifica geotecnica

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
<i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i>	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
<i>Coesione efficace</i>	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
<i>Resistenza non drenata</i>	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
<i>Peso dell'unità di volume</i>	γ	γ_{γ}	1,0	1,0

APPROCCIO PROGETTUALE 2

Combinazione Unica: Dimensionamento e verifica strutturale e geotecnica

Combinazione Fondamentale	$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{K1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{K2}$
Combinazione Unica	$\gamma_{G1(STR)} \cdot G_1 + \gamma_{G2(STR)} \cdot G_2 + 1,0 \cdot P + \gamma_{Q1(STR)} \cdot Q_{K1} + \gamma_{Q2(STR)} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{K2}$

Dove il valore delle resistenze geotecniche va calcolato dividendo i valori dei parametri geotecnici per il coefficiente parziale γ_{M1}

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
<i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i>	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
<i>Coesione efficace</i>	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
<i>Resistenza non drenata</i>	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
<i>Peso dell'unità di volume</i>	γ	γ_{γ}	1,0	1,0

L' **Approccio 2** è formalmente analogo alla Combinazione 1 dell' **Approccio 1**, differenziandosi tuttavia da quest'ultima per l'adozione di coefficienti parziali geotecnici γ_R più gravosi in modo da tenere in conto del fatto che non si siano ridotti i valori dei parametri geotecnici per mezzo di γ_M

DIFFERENZA TRA I 2 APPROCCI

Il coefficiente di sicurezza parziale γ_R esprime il valore per cui dividere le resistenze geotecniche ottenibili dai parametri geotecnici corretti con il coefficiente parziale γ_M

Tipo di Approccio	Coefficiente parziale γ_R da utilizzare
Approccio 1 – Combinazione 1 – (STR)	γ_{R1}
Approccio 1 – Combinazione 2 – (GEO)	γ_{R2}
Approccio 3 – (STR) e (GEO)	γ_{R3}

Il valore del coefficiente di sicurezza parziale γ_R viene riportato al capitolo 6 "Progettazione Geotecnica" delle nuove "Norme tecniche per le costruzioni", differenziando separatamente il caso di fondazioni superficiali, pali soggetti a carico assiale, pali soggetti a taglio e muri di sostegno

Per fondazioni superficiali, a titolo di esempio, si riscontrano i seguenti valori

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,8$	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$	$\gamma_R = 1,1$

(Per rocce, il valore caratteristico della resistenza a compressione deve essere diviso per 1,6)

CONFRONTO TRA I 2 APPROCCI

Ipotizzando che la totalità dei carichi abbia un effetto sfavorevole, si otterrebbe dunque:

Combinazioni con approccio di TIPO 1	Parametri geotecnici	Capacità portante
$1,3 \cdot G_1 + 1,5 \cdot G_2 + 1,0 \cdot P + 1,5 \cdot Q_{K1} + 1,5 \cdot \psi_{02} \cdot Q_{K2}$	$\tan \phi'_k / 1,00$ $c'_k / 1,00$ $c_{uk} / 1,00$ $\gamma / 1,00$	$q_{lim} / 1,00$
$1,0 \cdot G_1 + 1,3 \cdot G_2 + 1,0 \cdot P + 1,3 \cdot Q_{K1} + 1,3 \cdot \psi_{02} \cdot Q_{K2}$	$\tan \phi'_k / 1,25$ $c'_k / 1,25$ $c_{uk} / 1,40$ $\gamma / 1,00$	$q_{lim} / 1,80$
Combinazione con approccio di TIPO 2	Parametri geotecnici	Capacità portante
$1,3 \cdot G_1 + 1,5 \cdot G_2 + 1,0 \cdot P + 1,5 \cdot Q_{K1} + 1,5 \cdot \psi_{02} \cdot Q_{K2}$	$\tan \phi'_k / 1,00$ $c'_k / 1,00$ $c_{uk} / 1,00$ $\gamma / 1,00$	$q_{lim} / 2,30$

TENSIONI AMMISSIBILI

E' consentito l'utilizzo del metodo di verifica alle tensioni ammissibili per costruzioni ad affollamento normale od occasionale (*Classi d'uso I e II*) in Zona Sismica di tipo 4

(si osserva che la classificazione sismica del territorio, rilevata ai sensi dell'Ordinanza 2003, diviene scollegata dalla determinazione dell'azione sismica di progetto)

In particolare, la classificazione sismica nazionale, prevede per la Regione Marche:

Zona 1

- Castelsantangelo sul Nera, Monte Cavallo, Muccia, Pieve Torina, Serravalle di Chienti, Visso

Zona 2

- Tutti i comuni non elencati nella Zona 1 e 2

Zona 3

- Acquaviva Picena, Altidona, Campofilone, Cupra Marittima, Grottammare, Lapedona, Massignano, Montefiore dell'Aso, Ripatransone, San Benedetto del Tronto

Per cui, di fatto, nella Regione Marche è obbligatorio l'uso del Metodo agli stati limite

BIBLIOGRAFIA

Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008

Circolare applicativa del D.M. 14 gennaio 2008

Ordinanza P.C.M. 20 marzo 2003 n. 3274

Ordinanza P.C.M. 3 maggio 2005, n. 3431

Decreto Ministeriale 16 gennaio 1996

Circolare Ministeriale 10 aprile 1997, n.65