# REGIONE DELL'UMBRIA

**GIUNTA REGIONALE – DIREZIONE REGIONALE POLITICHE TERRITORIALI AMBIENTE E INFRASTRUTTURE**

PROGRAMMA STRAORDINARIO D'INVESTIMENTI PER L'EDILIZIA E LE ATTREZZATURE SANITARIE ARTL. 20 L. 67/88
CONVENZIONE REGIONE DELL'UMBRIA
CUS DEL 09.01.1992 REP. N. 4003 E SUCCESSIVI ATTI AGGIUNTIVI

CONCESSIONARIO :
CUS – CONSORZIO UMBRIA SANITA'

# VERIFICHE DI VULNERABILITA' SISMICA

**OSPEDALI :**
**SILVESTRINI DI PERUGIA – SANTA MARIA DI TERNI –**
**SANTA MARIA DELLA STELLA DI ORVIETO – SAN MATTEO DI SPOLETO**

**ORDINANZA PRESIDENZA CONSIGLIO DEI MINISTRI N. 3362 DELL'8 LUGLIO 2004**


**GRUPPO DI LAVORO**
**ATTIVITA' PROGETTUALI**

**COORDINAMENTO E SUPERVISIONE GENERALE**

**CUS** – CONSORZIO UMBRIA SANITA'

ING. M. MARIANI

ARCH. M. MALANDRINO

ING. P. ROSI

**COORDINAMENTO PROVE E INDAGINI, SUPPORTO ALLE ANALISI NUMERICHE E SCIENTIFICHE**

ING. D. BONADIES

ING. M. RASIMELLI

GEOM. M. CIRIMBILLI

ING. C. BURINI

**COORDINAMENTO SCIENTIFICO E ANALISI NUMERICHE:**

PROF. ING. A. PARDUCCI

ING. F. COMODINI

ING. M. LUCARELLI


## AZIENDA OSPEDALIERA DI TERNI

PRESIDIO OSPEDALIERO
SANTA MARIA DI TERNI

## RELAZIONE DI CALCOLO DEI CORPI A-B-C-D-E-F-G-H-I

| Data | Pag. | Pratica | Identif. | Numero |
|---|---|---|---|---|
| Settembre 2007 | 1 di 258 | 2706DX | DXRS507a | - |

# *I N D I C E*

**1. RELAZIONE TECNICA ILLUSTRATIVA ..... 8**
1.1. OGGETTO ..... 8
1.2. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL TERRENO ..... 9
1.3. AZIONI SISMICHE DI RIFERIMENTO ..... 15
1.3.1. Fattore di importanza ..... 16
1.4. DESCRIZIONE SOMMARIA DEL COMPLESSO OSPEDALIERO ..... 16
1.5. DOCUMENTAZIONE PROGETTUALE ED INDAGINI PRELIMINARI ..... 18
1.5.1. Documentazione di progetto ..... 18
1.5.2. Visite sopralluogo ..... 19
1.6. RILIEVI DELLA GEOMETRIA E DEI DETTAGLI COSTRUTTIVI ..... 19
1.7. INDAGINI SUI MATERIALI ..... 20
1.7.1. Indagini sul calcestruzzo ..... 21
1.8. DIAGRAMMI COSTITUTIVI DELLE CERNIERE PLASTICHE ..... 23
1.9. ROTAZIONI RISPETTO ALLA CORDA ..... 25
1.10. VERIFICHE A TAGLIO ..... 26
1.11. VERIFICHE DEI NODI NON CONFINATI ..... 26
1.12. NOTE SPECIFICHE SU FATTI DI RILIEVO ..... 27
1.12.1. Separazione tra corpi di fabbrica ..... 27
1.12.2. Collassi a taglio e dei nodi ..... 27
**2. RELAZIONE DI CALCOLO CORPI A-C- ALA SUD ..... 28**
2.1 LIVELLO DI CONOSCENZA RAGGIUNTO ..... 28
2.2 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI ADOTTATE NELL'ANALISI ..... 28
2.3 ANALISI DEI CARICHI ..... 29
2.3.1 Valutazione carico neve ..... 29
2.3.2 Solaio piani degenze [laterocemento 24+5] ..... 29
2.3.3 Solaio piani degenze [laterocemento 20+4] ..... 29
2.3.4 Solaio copertura [laterocemento 24+5] ..... 29
2.3.5 Tamponatura perimetrale ..... 30
2.4 MODELLO STRUTTURALE ..... 30
2.4.1 Dettagli sulla modellazione ..... 30
2.5 RISULTATI DELLE ELABORAZIONI ..... 35
2.5.1 Analisi modale ..... 35
2.5.2 Analisi statica non lineare (Pushover) ..... 38
2.5.3 Pushover n°1 ..... 41
*2.5.3.1 Curva di push ..... 41*
*2.5.3.2 Curva di capacità e sistema SDOF bilineare equivalente ..... 41*
*2.5.3.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari Stati Limite (Push n°1) ..... 42*
2.5.4 Pushover n°2 ..... 44
*2.5.4.1 Curva di push ..... 44*
*2.5.4.2 Curva di capacità e sistema SDOF bilineare equivalente ..... 44*
*2.5.4.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari Stati Limite (Push n°2) ..... 45*
2.5.5 Pushover n°3 ..... 46
*2.5.5.1 Curva di push ..... 46*
*2.5.5.2 Curva di capacità e sistema SDOF bilineare equivalente ..... 47*
*2.5.5.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari Stati Limite (Push n°3) ..... 48*

2.5.6 Pushover n°4 ....50
*2.5.6.1 Curva di push ....50*
*2.5.6.2 Curva di capacità e sistema SDOF bilineare equivalente ....50*
*2.5.6.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari Stati Limite (Push n°4) ....51*
2.6 CONCLUSIONI ....53
**3. RELAZIONE DI CALCOLO CORPO B - ALA SUD ....56**
3.1 LIVELLO DI CONOSCENZA RAGGIUNTO ....56
3.2 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI ADOTTATE NELL'ANALISI ....56
3.3 ANALISI DEI CARICHI ....57
3.3.1 Valutazione carico neve ....57
3.3.2 Solaio piani degenze [laterocemento 24+5] ....57
3.3.3 Solaio piani degenze [laterocemento 20+4] ....57
3.3.4 Solaio copertura [laterocemento 24+5] ....58
3.3.5 Scala [soletta in c.a.] ....58
3.3.6 Tamponatura perimetrale ....58
3.4 MODELLO STRUTTURALE ....58
3.4.1 Dettagli sulla modellazione ....59
3.5 RISULTATI DELLE ELABORAZIONI ....64
3.5.1 Analisi modale ....64
3.5.2 Analisi statica non lineare (Pushover) ....67
3.5.3 Pushover n°1 ....69
*3.5.3.1 Curva di push ....69*
*3.5.3.2 Curva di capacità e sistema SDOF bilineare equivalente ....70*
*3.5.3.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari Stati Limite (Push n°1) ....71*
3.5.4 Pushover n°2 ....73
*3.5.4.1 Curva di push ....73*
*3.5.4.2 Curva di capacità e sistema SDOF bilineare equivalente ....74*
*3.5.4.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari Stati Limite (Push n°2) ....74*
3.5.5 Pushover n°3 ....76
*3.5.5.1 Curva di push ....76*
*3.5.5.2 Curva di capacità e sistema SDOF bilineare equivalente ....77*
*3.5.5.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari Stati Limite (Push n°3) ....78*
3.5.6 Pushover n°4 ....80
*3.5.6.1 Curva di push ....80*
*3.5.6.2 Curva di capacità e sistema SDOF bilineare equivalente ....80*
*3.5.6.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari Stati Limite (Push n°4) ....81*
3.6 CONCLUSIONI ....83
**4. RELAZIONE DI CALCOLO CORPO D – ALA NORD ....86**
4.1 PREMESSA ....86
4.2 LIVELLO DI CONOSCENZA RAGGIUNTO ....86
4.3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI ADOTTATE NELL'ANALISI ....86
4.4 ANALISI DEI CARICHI ....87
4.4.1 Valutazione carico neve ....87
4.4.2 Solaio piani dal 1° al 2° livello ....87
4.4.3 Solaio piani 3° al 8° livello ....87
4.4.4 Solaio copertura 9° livello ....88
4.4.5 Tamponatura perimetrale ....88
4.5 MODELLO STRUTTURALE ....88
4.5.1 Dettagli sulla modellazione ....88
4.6 RISULTATI DELLE ELABORAZIONI ....91
4.6.1 Analisi modale ....91

4.6.2 Analisi statica non lineare (pushover) ....94
4.6.3 Pushover n°1 ....95
*4.6.3.1 Curva di push ....95*
*4.6.3.2 Curva di capacità e sistema sdof bilineare equivalente ....97*
*4.6.3.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari stati limite ....98*
4.6.4 Pushover n°2 ....101
*4.6.4.1 Curva di push ....101*
*4.6.4.2 Curva di capacita' e sistema sdof bilineare equivalente ....102*
*4.6.4.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari stati limite ....103*
4.6.5 PUSHOVER N°3 ....105
*4.6.5.1 Curva di push ....105*
*4.6.5.2 Curva di capacita' e sistema sdof bilineare equivalente ....106*
*4.6.5.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari stati limite ....107*
4.6.6 Poushover n°4 ....108
*4.6.6.1 Curva di push ....108*
*4.6.6.2 Curva di capacita' e sistema sdof bilineare equivalente ....110*
*4.6.6.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari stati limite ....111*
4.7 CONCLUSIONI ....112
**5. RELAZIONE DI CALCOLO CORPO E ....115**
5.1 PREMESSA ....115
5.2 LIVELLO DI CONOSCENZA RAGGIUNTO ....115
5.3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI ADOTTATE NELL'ANALISI ....115
5.4 ANALISI DEI CARICHI ....116
5.4.1 Valutazione carico neve ....116
5.4.2 Solaio piani latero/cemento 1° livello (16+4) ....116
5.4.3 Solaio latero/cemento (25+4) livello tipo ....116
5.4.4 Solaio latero/cemento (20+4) 2° livello e livello tipo ....117
5.4.5 Solaio latero/cemento (25+4) livellocopertura ....117
5.4.6 Scala in C.A. ....117
5.4.7 Tamponatura perimetrale ....117
5.5 MODELLO STRUTTURALE ....118
5.5.1 Dettagli sulla modellazione ....118
5.6 RISULTATI DELLE ELABORAZIONI ....122
5.6.1 Analisi modale ....122
5.6.2 Analisi statica non lineare (pushover) ....125
5.6.3 Pushover n°1 ....126
*5.6.3.1 Curva di push ....127*
*5.6.3.2 Curva di capacita' e sistema sdof bilineare equivalente ....128*
*5.6.3.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari stati limite ....129*
5.6.4 Pushover n°2 ....131
*5.6.4.1 Curva di push ....131*
*5.6.4.2 Curva di capacita' e sistema sdof bilineare equivalente ....132*
*5.6.4.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari stati limite ....133*
5.6.5 Pushover n°3 ....135
*5.6.5.1 Curva di push ....135*
*5.6.5.2 Curva di capacita' e sistema sdof bilineare equivalente ....136*
*5.6.5.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari stati limite ....137*
5.6.6 Pushover n°4 ....139
*5.6.6.1 Curva di push ....139*
*5.6.6.2 Curva di capacita' e sistem a sdof bilineare equivalente ....140*
*5.6.6.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari stati limite ....141*
5.7 CONCLUSIONI ....142

**6 RELAZIONE DI CALCOLO CORPO F – ALA NORD ..... 144**
6.1 PREMESSA ..... 144
6.2 LIVELLO DI CONOSCENZA RAGGIUNTO ..... 144
6.3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI ADOTTATE NELL'ANALISI ..... 144
6.4 ANALISI DEI CARICHI ..... 145
6.4.1 Valutazione carico neve ..... 145
6.4.2 Solaio piani dal 1° al 2° livello ..... 145
6.4.3 Solaio piani 3° al 8° livello ..... 145
6.4.4 Solaio copertura 9° livello ..... 146
6.4.5 Tamponatura perimetrale ..... 146
6.5 MODELLO STRUTTURALE ..... 146
6.5.1 Dettagli sulla modellazione ..... 146
6.6 RISULTATI DELLE ELABORAZIONI ..... 150
6.6.1 Analisi modale ..... 150
6.6.2 Analisi statica non lineare (pushover) ..... 152
6.6.3 Pushover n°1 ..... 153
*6.6.3.1 Curva di push ..... 154*
*6.6.3.2 Curva di capacita' e sistema sdof bilineare equivalente ..... 155*
*6.6.3.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari stati limite ..... 156*
6.6.4 Pushover n°2 ..... 158
*6.6.4.1 Curva di push ..... 159*
*6.6.4.2 Curva di capacita' e sistema sdof bilineare equivalente ..... 160*
*6.6.4.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari stati limite ..... 161*
6.6.5 Pushover n°3 ..... 163
*6.6.5.1 Curva di push ..... 163*
*6.6.5.2 Curva di capacita' e sistema sdof bilineare equivalente ..... 164*
*6.6.5.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari stati limite ..... 165*
6.6.6 Pushover n°4 ..... 166
*6.6.6.1 Curva di push ..... 167*
*6.6.6.2 Curva di capacita' e sistem a sdof bilineare equivalente ..... 168*
*6.6.6.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari stati limite ..... 169*
6.7 CONCLUSIONI ..... 170
**7 RELAZIONE DI CALCOLO CORPO G ..... 173**
7.1 LIVELLO DI CONOSCENZA RAGGIUNTO ..... 173
7.2 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI ADOTTATE NELL'ANALISI ..... 173
7.3 ANALISI DEI CARICHI ..... 174
7.3.1 Valutazione carico neve ..... 174
7.3.2 Solaio piani degenze [laterocemento 14+4] ..... 174
7.3.3 Solaio piani degenze [laterocemento 18+4] ..... 174
7.3.4 Solaio piani degenze [laterocemento 25+5] ..... 175
7.3.5 Solaio copertura [laterocemento 18+4] ..... 175
7.3.6 Solaio copertura [laterocemento 25+5] ..... 175
7.3.7 Scala [soletta in c.a.] ..... 175
7.3.8 Tamponatura perimetrale ..... 176
7.4 MODELLO STRUTTURALE ..... 176
7.4.1 Dettagli sulla modellazione ..... 176
7.5 RISULTATI DELLE ELABORAZIONI ..... 182
7.5.1 Analisi modale ..... 182
7.5.2 Analisi statica non lineare (Pushover) ..... 184
7.5.3 Pushover n°1 ..... 186
7.5.4 Curva di push ..... 186

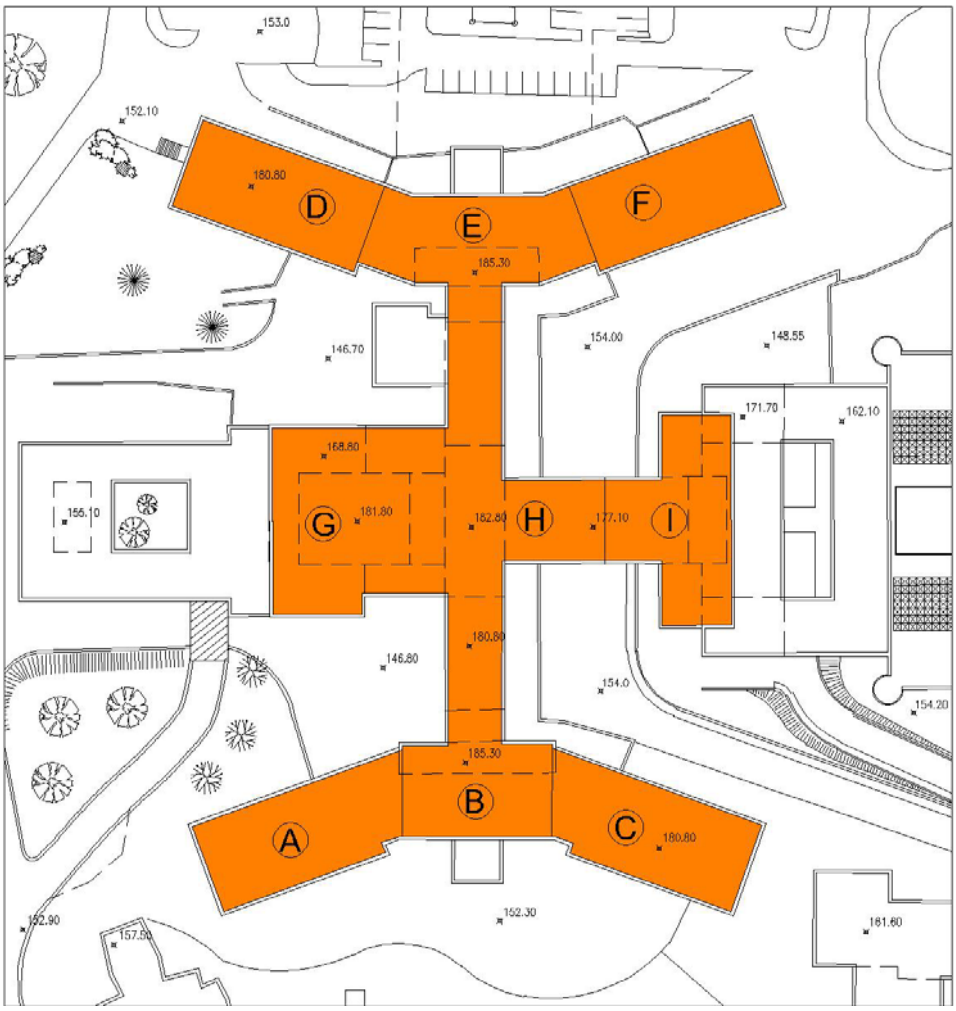
*7.5.4.1 Curva di capacità e sistema SDOF bilineare equivalente ..... 187*
*7.5.4.2 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari Stati Limite (Push n°1) ..... 188*
7.5.5 Pushover n°2 ..... 189
*7.5.5.1 Curva di push ..... 189*
*7.5.5.2 Curva di capacità e sistema SDOF bilineare equivalente ..... 190*
*7.5.5.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari Stati Limite (Push n°2) ..... 191*
7.5.6 Pushover n°3 ..... 193
*7.5.6.1 Curva di push ..... 193*
*7.5.6.2 Curva di capacità e sistema SDOF bilineare equivalente ..... 193*
*7.5.6.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari Stati Limite (Push n°3) ..... 194*
7.5.7 Pushover n°4 ..... 196
*7.5.7.1 Curva di push ..... 196*
*7.5.7.2 Curva di capacità e sistema SDOF bilineare equivalente ..... 196*
*7.5.7.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari Stati Limite (Push n°4) ..... 197*
7.6 CONCLUSIONI ..... 199
**8 RELAZIONE DI CALCOLO CORPO H ..... 202**
8.1 LIVELLO DI CONOSCENZA RAGGIUNTO ..... 202
8.2 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI ADOTTATE NELL'ANALISI ..... 202
8.3 ANALISI DEI CARICHI ..... 203
8.3.1 Valutazione carico neve ..... 203
8.3.2 Solaio piani degenze [laterocemento 14+4] ..... 203
8.3.3 Solaio piani degenze [laterocemento 18+4] ..... 203
8.3.4 Solaio piani degenze [laterocemento 25+5] ..... 204
8.3.5 Solaio copertura [laterocemento 18+4] ..... 204
8.3.6 Solaio copertura [laterocemento 25+5] ..... 204
8.3.7 Scala [soletta in c.a.] ..... 204
8.3.8 Tamponatura perimetrale ..... 205
8.4 MODELLO STRUTTURALE ..... 205
8.4.1 Dettagli sulla modellazione ..... 205
8.5 RISULTATI DELLE ELABORAZIONI ..... 209
8.5.1 Analisi modale ..... 209
8.5.2 Analisi statica non lineare (Pushover) ..... 211
8.5.3 Pushover n°1 ..... 213
*8.5.3.1 Curva di push ..... 213*
*8.5.3.2 Curva di capacità e sistema SDOF bilineare equivalente ..... 214*
*8.5.3.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari Stati Limite (Push n°1) ..... 215*
8.5.4 Pushover n°2 ..... 216
*8.5.4.1 Curva di push ..... 216*
*8.5.4.2 Curva di capacità e sistema SDOF bilineare equivalente ..... 217*
*8.5.4.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari Stati Limite (Push n°2) ..... 218*
8.5.5 Pushover n°3 ..... 220
*8.5.5.1 Curva di push ..... 220*
*8.5.5.2 Curva di capacità e sistema SDOF bilineare equivalente ..... 220*
*8.5.5.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari Stati Limite (Push n°3) ..... 221*
8.5.6 Pushover n°4 ..... 223
*8.5.6.1 Curva di push ..... 223*
*8.5.6.2 Curva di capacità e sistema SDOF bilineare equivalente ..... 224*
*8.5.6.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari Stati Limite (Push n°4) ..... 225*
8.6 CONCLUSIONI ..... 227
**9. RELAZIONE DI CALCOLO CORPO I ..... 230**
9.1 PREMESSA ..... 230

9.2 LIVELLO DI CONOSCENZA RAGGIUNTO ....230
9.3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI ADOTTATE NELL'ANALISI ....230
9.4 ANALISI DEI CARICHI ....231
9.4.1 Valutazione carico neve ....231
9.4.2 Solaio piani dal 1° al 8° livello (14+4) ....231
9.4.3 Solaio piani dal 1° al 8° livello (25+5) ....231
9.4.4 Solaio piani 1° al 8° livello (18+4) ....232
9.4.5 Solaio copertura 9° livello (14+4) ....232
9.4.6 Scala in C.A. ....232
9.4.7 Tamponatura perimetrale ....232
9.5 MODELLO STRUTTURALE ....233
9.5.1 Dettagli sulla modellazione ....233
9.6 RISULTATI DELLE ELABORAZIONI ....237
9.6.1 Analisi modale ....237
9.6.2 Analisi statica non lineare (pushover) ....239
9.6.3 Pushover n°1 ....240
*9.6.3.1 Curva di push ....241*
*9.6.3.2 Curva di capacita' e sistema sdof bilineare equivalente ....242*
*9.6.3.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari stati limite ....243*
9.6.4 Pushover n°2 ....246
*9.6.4.1 Curva di push ....246*
*9.6.4.2 246*
*9.6.4.3 Curva di capacita' e sistema sdof bilineare equivalente ....247*
*9.6.4.4 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari stati limite ....248*
9.6.5 Pushover n°3 ....250
*9.6.5.1 Curva di push ....250*
*9.6.5.2 250*
*9.6.5.3 Curva di capacita' e sistema sdof bilineare equivalente ....251*
*9.6.5.4 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari stati limite ....252*
9.6.6 Pushover n°4 ....253
*9.6.6.1 Curva di push ....253*
*9.6.6.2 Curva di capacita' e sistema sdof bilineare equivalente ....254*
*9.6.6.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari stati limite ....256*
9.7 CONCLUSIONI ....257

# 1. RELAZIONE TECNICA ILLUSTRATIVA

## 1.1. OGGETTO

La presente relazione illustra le verifiche tecniche svolte in attuazione di quanto richiesto dall'Ordinanza P.C.M. 3362/04 per quanto riguarda la valutazione della vulnerabilità sismica dei corpi di fabbrica principali A, B, C, D, E, F, G, H, ed I (vedi figura) appartenenti al complesso ospedaliero di Santa Maria, sito in Terni.




*Stralcio planimetrico del complesso ospedaliero di Terni, con l'individuazione dei corpi di fabbrica oggetto di analisi di vulnerabilità sismica.*

## 1.2. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL TERRENO

Per quanto riguarda la caratterizzazione sismica del terreno si è fatto riferimento alla Relazione Geologico-Geotecnica redatta dalla RPA in data novembre 2002, eseguita in occasione di un progetto di completamento.

Le indagini eseguite nel 2002 comprendevano:

- n° 4 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, spinti fino a profondità di 20 metri;
- prelievo di n° 3 campioni indisturbati per prove di laboratorio;

Dalla suddetta relazione inoltre si evince che: *"i litotipi presenti nell'area sono riferibili alle alluvioni fluvio-lacustri antiche terrazzate del Pleistocene medio-superiore. Nella zona i materiali costituenti sono argille, limi, sabbie e conglomerati e lo spessore dell'unità è notevole. La composizione litologica e la stratigrafia dei terreni sono note in base ai sondaggi effettuati nell'area dell'ampliamento in progetto.*

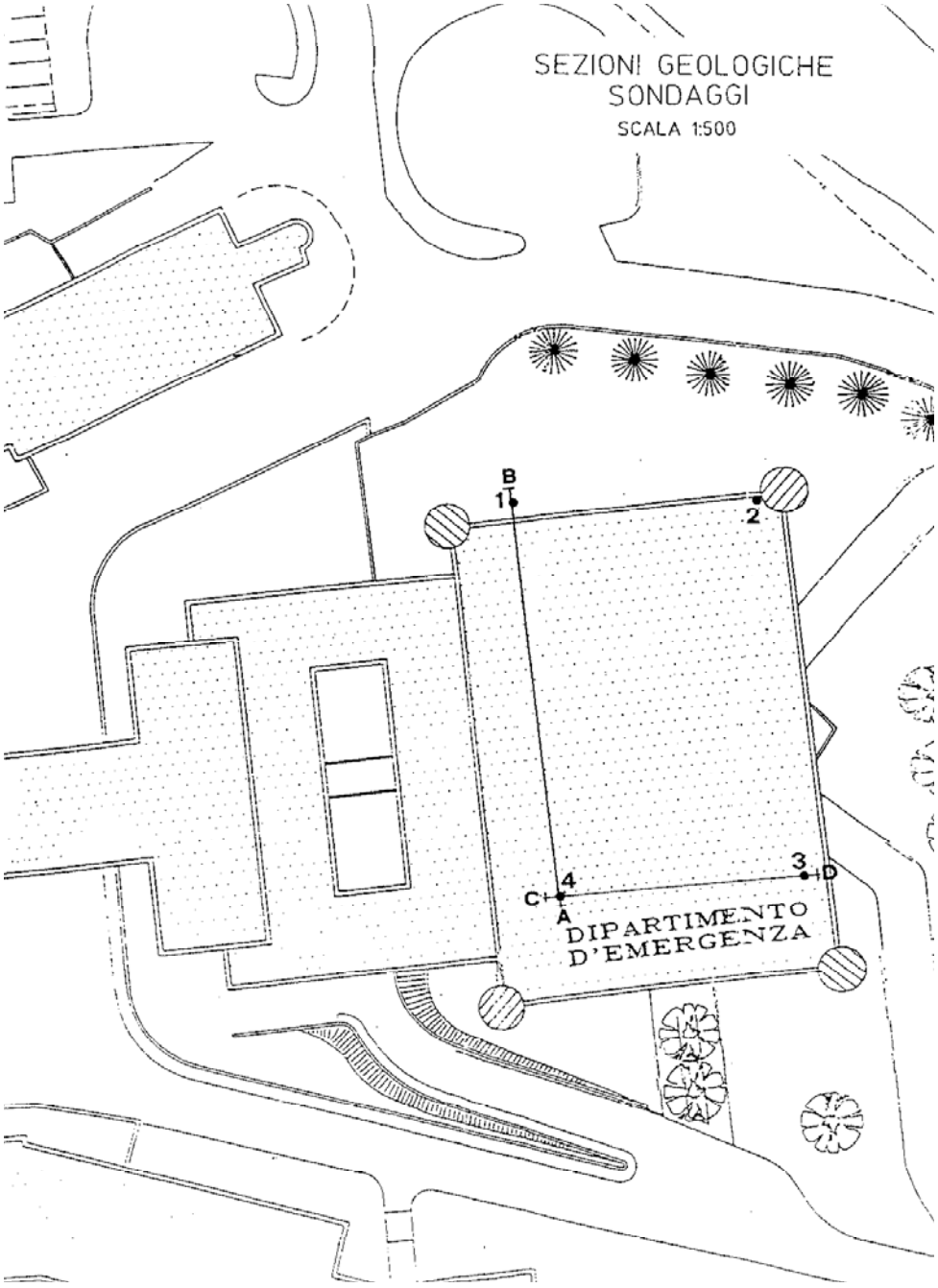
*Da questi sondaggi risulta quanto segue:*

- *da 0,00 m. a circa 1,00 m. dal piano campagna è presente materiale di riporto eterogeneo;*
- *seguono 1,50-2,00 m. di sabbie limose;*
- *quindi si hanno spessori da 9,00 a 11,00 m. di limo argilloso con sabbia, la cui consistenza aumenta con la profondità;*
- *seguono infine conglomerati ben cementati con spessori minimi di 5,00 m."*

[…] *Dal punto di vista della caratterizzazione geotecnica i terreni presenti vengono suddivisi in due livelli con caratteristiche nettamente diverse.*
*Per il livello A, costituito dai limi argillosi a comportamento prevalentemente coerente, dalle prove di taglio C.U. si valuta un valore di c = 30 KPa; di $\phi$ = 20°; di $\gamma \cong$ 19 KN/mc.*
*Il valore della coesione non drenata derivante dalle prove E.L.L. e dalla prova P.P. si valuta pari a 80 KPa.*
*Per il livello B, costituito da conglomerati sabbiosi a comportamento prevalentemente*

*attritivo, si valuta un angolo di attrito pari a 38° e peso dell'unità di volume pari a 19 KN/mc.*

Sulla base di queste indicazioni il sito in questione è stato valutato appartenente alla classe "**E**" delle categorie di suolo di fondazione indicate dall'Ordinanza P.C.M. 3431/05.



STUDIO GEOLOGICO-TECNICO
Dott. PIETRO TARQUINI
TERNI

sondaggio n° 1

COMMITTENTE : G.A.P. – Via Goldoni n. 28 – Terni.

LOCALITÀ : Ospedale Civile di Terni ( Dipartimento emergenza e blocco operatorio).

| cl | % di carotaggio | Profondità in m | LITOLOGIA | DESCRIZIONE LITOLOGICA | Caratteristiche |
|---|---|---|---|---|---|
| 105 | | p.c. | | Terreno eterogeneo di riporto. | |
| | | | | Sabbia limosa giallastra. | |
| | | 5 | | | |
| | | | | Limo argilloso con sabbia, di consistenza crescente con la profondità. | |
| | | | | → Campione analizzato. | |
| | | 10 | | | |
| | | | | Conglomerato. | |
| | | 15 | | | |
| | | 20 | | | |

Dott. PIETRO TARQUINI – GEOLOGO – ALBO NAZIONALE DEI GEOLOGI N° 1706

STUDIO GEOLOGICO-TECNICO
Dott. PIETRO TARQUINI
TERNI

sondaggio n° 2

COMMITTENTE : G.A.P. – Via Goldoni n. 28 – Terni.

LOCALITÀ :Ospedale Civile di Terni (Dipartimento emergenza e blocco operatorio ).

| ‹P› | % di carotaggio | Profondità in m | LITOLOGIA | DESCRIZIONE LITOLOGICA | Caratteristiche |
|---|---|---|---|---|---|
| 105 | | p.c. | | Terreno eterogeneo di riporto. | |
| | | | | Sabbia limosa giallastra. | |
| | | 5 | | | |
| | | | | Limo argilloso con sabbia, di colore giallastro e consistenza crescente con la profondità. | |
| | | 10 | | → Campione analizzato. | |
| | | | | Conglomerato. | |
| | | 15 | | | |
| | | 20 | | | |

Dott. PIETRO TARQUINI – ALBO NAZIONALE DEI GEOLOGI N° 1166 – GEOLOGO

STUDIO GEOLOGICO-TECNICO
Dott. PIETRO TARQUINI
TERNI

sondaggio n° 3

COMMITTENTE : G.A.P. – Via Goldoni n. 28 – Terni.

LOCALITÀ : Ospedale Civile di Terni. (Dipartimento emergenza e blocco operatorio ).

| CD | % di carotaggio | Profondità in m | LITOLOGIA | DESCRIZIONE LITOLOGICA | Caratteristiche |
|---|---|---|---|---|---|
| 105 | | p.c. | | Terreno eterogeneo di riporto. | |
| | | | | Sabbia limosa giallastra. | |
| | | 5 | | | |
| | | 10 | | Limo argilloso giallastro con sabbia e consistenza crescente con la profondità. | |
| | | | | Campione analizzato. | |
| | | 15 | | | |
| | | 20 | | | |

Dott. PIETRO TARQUINI – GEOLOGO – ALBO NAZIONALE DEI GEOLOGI N° 1156

STUDIO GEOLOGICO-TECNICO
Dott. PIETRO TARQUINI
TERNI

sondaggio n° 4

COMMITTENTE : G.A.P. – Via Goldoni n. 28 – Terni.

LOCALITÀ :Ospedale Civile di Terni. (Dipartimento emergenza e blocco operatorio ).

| «J» | % di carotaggio | Profondità in m | LITOLOGIA | DESCRIZIONE LITOLOGICA | Caratteristiche |
|---|---|---|---|---|---|
| 105 | | p.c. | | Terreno eterogeneo di riporto. | |
| | | | | Sabbia limosa giallastra. | |
| | | 5 | | | |
| | | | | Limo argilloso giallastro con sabbia e consistenza crescente con la profondità. | |
| | | 10 | | | |
| | | 15 | | Conglomerato. | |
| | | 20 | | | |

Dott. PIETRO TARQUINI – GEOLOGO – ALBO NAZIONALE DEI GEOLOGI N° 1106

## 1.3. AZIONI SISMICHE DI RIFERIMENTO

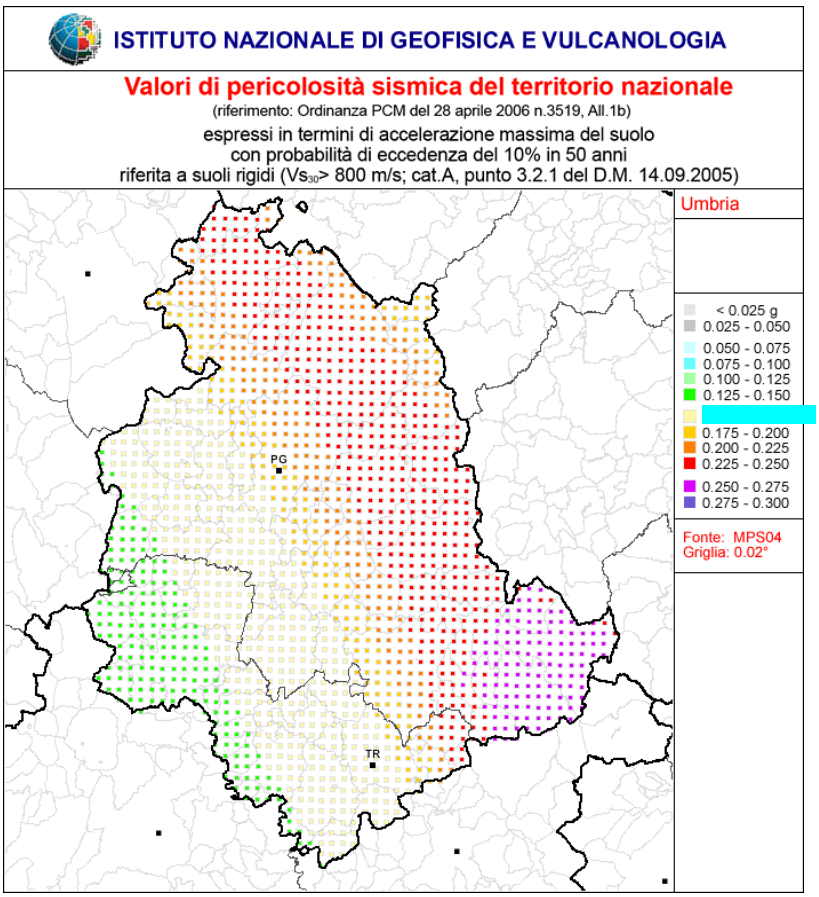
Per quanto riguarda le accelerazioni sismiche di riferimento relative ai tre livelli di rischio considerati nelle analisi, relativi alle probabilità del 50%, del 10% e del 2% in 50 anni, sono stati assunti i seguenti valori corrispondenti alla classificazione ufficiale del sito (zona **2**, suolo **E**, **S** = **1.25**):

**$PGA_{50\%}$** = 1.25×0.100 = **0.125 g**

**$PGA_{10\%}$** = 1.25×0.250 = **0.313 g**

**$PGA_{2\%}$** = 1.25×0.375 = **0.469 g**

Da notare che tali valori risultano più alti rispetto a quelli proposti indicati dall'aggiornamento INGV delle zone sismiche riportato nell'Ordinanza PCM 3519 del 28 aprile 2006, come risulta dalla mappa illustrata di seguito.




Aggiornamento delle zone sismiche INGV (D.M. 3519/06)

### 1.3.1. Fattore di importanza

Il fattore di importanza richiesto dalle norme per il progetto strutturale delle costruzioni in esame risulta uguale a $\gamma_I$ **= 1.4** (vedi tabella). Le analisi di rischio sono state svolte assumendo $\gamma_I$ **= 1.0**; gli indicatori di rischio richiesti dalle Ordinanze sono stati calcolati per entrambi i valori.

| Categoria | Edifici | Fattore di importanza |
|---|---|---|
| I | Edifici la cui funzionalità durante il terremoto ha importanza fondamentale per la protezione civile (ad esempio ospedali, municipi, caserme dei vigili del fuoco) | 1.4 |
| II | Edifici importanti in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso (ad esempio scuole, teatri) | 1.2 |
| III | Edifici ordinari, non compresi nelle categorie precedenti | 1.0 |

## 1.4. DESCRIZIONE SOMMARIA DEL COMPLESSO OSPEDALIERO

Il complesso ospedaliero in esame è formato da più corpi di fabbrica che si differenziano, oltre che per la loro conformazione, anche per le diverse epoche in cui sono stati realizzati; da tal punto di vista, si possono distinguere due blocchi principali, il primo dei quali consta dei corpi di fabbrica costituenti l'asse centrale, mentre il secondo è costituito dalle ali nord e sud a forma di "Y".

***Primo blocco***

Il primo blocco costituito dai corpi G, H ed I, è stato costruito nei primi anni '60 e progettato nel 1959-60.

I corpi G, H ed I aventi forma in pianta a T sono stati realizzati in adiacenza l'uno all'altro e disposti lungo un asse orizzontale che si sviluppa secondo la direzione est-ovest.

In altezza i tre corpi si sviluppano per dieci piani in maniera irregolare, all'interno di ciascuno di essi si svolgono giornalmente svariate attività ospedaliere.

La struttura portante è formata da telai di cemento armato, eseguiti mediante getto in opera.

I telai principali sono disposti non sempre parallelamente ai lati lunghi della struttura e non è sempre presente l'orditura secondaria.

I pilastri e le travi hanno tutti sezione rettangolare di varie dimensioni; gli orizzontamenti,, realizzati mediante solai a travetti prefabbricati e blocchi di laterizio con getto di completamento, hanno spessori compresi tra 18 e 30 cm.

Le strutture di fondazione sono state realizzate mediante plinti su pali di cemento armato.

***Secondo blocco***

Il secondo blocco costituito dai corpi A-B-C (ala sud) e D-E-F (ala nord), è stato progettato in ampliamento al precedente blocco 1 negli anni 1967-1970 e realizzato nei primi anni '70.

I corpi B ed E aventi forma in pianta a T sono stati realizzati in adiacenza al blocco 1; mentre i restanti corpi A, C, D ed F ne rappresentano i prolungamenti est ed ovest.

In altezza i vari corpi in oggetto si sviluppano per nove piani, ad eccezione di alcuni locali tecnici per montacarichi e ascensori, che si elevano per ulteriori due piani in copertura all'interno di ciascuno di essi si svolgono giornalmente svariate attività ospedaliere.

La struttura portante è formata da telai di cemento armato eseguiti mediante getto in opera.

I telai principali sono disposti parallelamente ai lati lunghi della struttura e non è sempre presente l'orditura secondaria.

I pilastri hanno tutti sezione rettangolare; gli orizzontamenti, realizzati mediante solai a travetti prefabbricati e blocchi di laterizio con getto di completamento, hanno spessori compresi tra 24 e 29 cm.

Le travi in c.a. sono a sezione rettangolare di varie dimensioni; ad eccezione di quelle perimetrali che hanno per lo più sezione ad L e sono state gettate insieme ai parapetti.

Le strutture di fondazione sono state realizzate mediante plinti su pali di cemento armato.

## 1.5. DOCUMENTAZIONE PROGETTUALE ED INDAGINI PRELIMINARI

### 1.5.1. Documentazione di progetto

La documentazione progettuale delle opere realizzate è stata acquisita da diverse fonti.

Il rilievo plano-altimetrico ed architettonico dell'intera costruzione è stato messo a disposizione dalla società RPA la quale, aveva provveduto ad effettuare il rilievo del vecchio complesso ospedaliero costituito dai corpi A, B, C, D ,E ,F ,G ,H , I.

La documentazione progettuale delle strutture oggetto della presente analisi di vulnerabilità sismica è stata reperita presso l'Archivio dell'Ufficio tecnico dell'Ospedale di Terni.

La conoscenza geologica e geotecnica del sito è stata basato su uno studio geologico e sulle analisi geotecniche del 2002 eseguite dalla RPA.

Per quanto riguarda la zonazione sismica del sito si è fatto riferimento ai valori indicati

dalla nuova normativa sismica (Ordinanza P.C.M. 3274/03).

### 1.5.2. Visite sopralluogo

In data 10.01.2007 è stato effettuato un sopralluogo preliminare allo scopo di individuare le zone idonee per eseguire le indagini sperimentali sui materiali delle strutture di cemento armato. L'ubicazione delle prove è stata scelta tenendo in considerazione le esigenze dell'Azienda Ospedaliera al fine di non intralciare il regolare funzionamento delle attività. Sono state individuate per lo più zone poco accessibili, quali depositi e magazzini ai piani seminterrati, centrali tecniche, torrini in copertura e locali macchine ascensori.
Si è anche evitato di concentrare i sondaggi nelle zone della struttura dove non hanno luogo attività ospedaliere di particolare delicatezza, quali sale operatorie, degenze, laboratori d'analisi, ecc.
In tal modo si sono potuti esaminare gli elementi strutturali di cemento armato a vista senza particolari difficoltà, andando quindi ad indagare più in dettaglio quelli dei piani seminterrati e di copertura.
Si è scelto di eseguire indagini più approfondite sugli elementi resistenti verticali (pilastri) rispetto alle travi, stante la loro maggior importanza ai fini della resistenza sismica del fabbricato.
La corrispondenza tra gli elaborati di cui sopra e lo stato di fatto, come pure lo stato fessurativo della struttura, sono stati verificati mediante un'attenta indagine visiva svolta nel corso di varie visite sopralluogo.

## 1.6. RILIEVI DELLA GEOMETRIA E DEI DETTAGLI COSTRUTTIVI

Gli elaborati relativi alle carpenterie ed armature degli elementi strutturali dei corpi A-B-C-D-E-F-G-H-I, sono state ricavate dai disegni originali, verificandoli mediante un rilievo visivo a campione.
I dettagli strutturali e le caratteristiche meccaniche dei materiali sono stati desunti dai disegni costruttivi originali e dalle verifiche effettuate in sito tramite prove e sondaggi di cui si rimanda all'allegato A.
Nel corso dei controlli non sono state riscontrate difformità di rilevante importanza.

## 1.7. INDAGINI SUI MATERIALI

L'esecuzione delle indagini sperimentali sui materiali delle strutture di cemento armato è stata commissionata dalla RPA alla ditta S.G.M. s.r.l. con sede in Via Y. Gagarin, S. Mariano di Corciano (PG). I risultati sono riportati come allegato A alla presente relazione.
Negli elaborati originali di progetto sono specificate le caratteristiche dei materiali utilizzati per la realizzazione dell'opera. Si è scelto di eseguire limitate prove in sito sui materiali, grazie al presentarsi di numerose situazioni ripetitive, sia dal punto di vista della geometria che dello schema strutturale, oltre che da un'evidente omogeneità del calcestruzzo a vista.
Le indagini sperimentali eseguite comprendono venti prelievi di carote di cemento armato da sottoporre a prove di laboratorio, dieci prelievi di barre di armatura in acciaio, dieci indagini ultrasoniche effettuate sul calcestruzzo in sito, quarantatre indagini pacometriche effettuate tramite ferroscan, e quindici saggi diretti per il rilievo delle armature.

Le indagini sperimentali eseguite si articolano come specificato nella seguente tabella, distinguendo le prove effettuate per ogni corpo di fabbrica:

INDAGINI PREVISTE

| | INDAGINI E PROVE IN SITÙ | BLOCCO A | BLOCCO B | BLOCCO C | BLOCCO G | BIOCCO H | BLOCCO I | BLOCCO D | BLOCCO E | BLOCCO F | TOTALE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **PC** | Prelievo di carote in cls ed esecuzione di prove di laboratorio (indagine ultrasonica e prova di compressione). | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 20 |
| **PA** | Prelievo barre di armatura ed esecuzione di prove di laboratorio (trazione e piegamento). | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10 |
| **PS** | Prove soniche | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10 |
| **RB** | Rilievo barre di armatura mediante pachometro scanner | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 43 |
| **SS** | Saggi strutturali per rilievo barre di armatura | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 15 |

Tabella 1: Indicazione numerica e tipologia delle prove indagini da effettuare.

### 1.7.1. Indagini sul calcestruzzo

Le prove effettuate, di tipo distruttivo e non, sono state quelle illustrate nei punti seguenti.

***Prove con ultrasuoni (prove non distruttive)***

Le prove con ultrasuoni consentono di valutare la densità, l'omogeneità e la compattezza dei calcestruzzi. Le indagini si eseguono applicando due sonde, di cui una è sorgente di ultrasuoni emessi con frequenze superiori a 20.000 Hz, mentre l'altra ricevente è posta ad una distanza determinata L. Rilevando il tempo T intercorso dall'istante dell'emissione a quello della ricezione del treno di onde, si ottiene la velocità V di propagazione nel mezzo

(V = L/T). La velocità V costituisce un indice della compattezza e della qualità del calcestruzzo, in quanto velocità dipende dal modulo elastico del materiale. Le prove si basano sul principio che una struttura omogenea e compatta trasmette treni di onde elastiche in maniera migliore rispetto ad una disomogenea, fratturata o anelastica. Il metodo permette anche di evidenziare l'esistenza di soluzioni di continuità del tessuto strutturale quali cavità, nidi di ghiaia, fratture interne, difetti di ripresa, ecc.
Poiché nella valutazione dei risultati le armature influenzano la velocità di trasmissione, è stata eseguita un'indagine preliminare mediante parcometro onde eseguire le misurazioni in zone il più possibilmente lontane da esse.

***Prelievo di carote (prove non distruttive)***

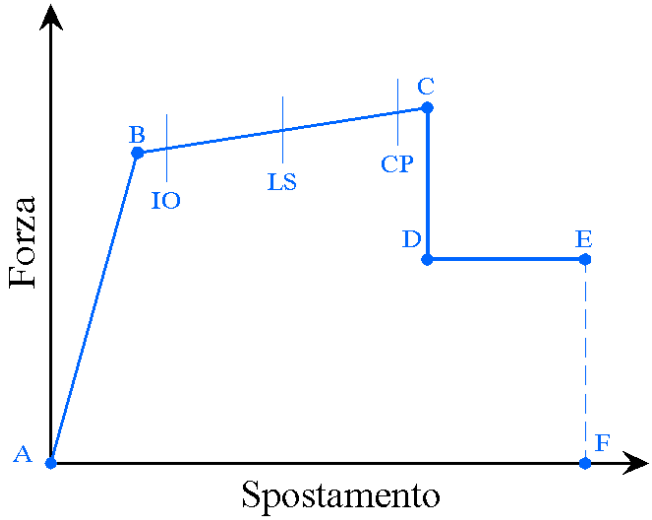
Queste prove sono eseguite per ottenere campioni cilindrici di calcestruzzo da sottoporre in laboratorio alle prove di schiacciamento. I carotaggi si eseguono estraendo dal corpo della struttura un campione con le cautele necessarie per evitare di alterarne lo stato.
Sono stati utilizzati diametri di circa $\phi$ = 100 mm.
Al fine di convertire le N resistenze ottenute sulle carote $f_{car,i}$ nelle corrispondenti resistenze in sito $f_{cis,i}$, è stata adottata la seguente relazione

$$f_{cis,i} = \left(C_{h/D} \cdot C_{dia} \cdot C_a \cdot C_d\right) f_{car,i}$$

dove:
$C_{h/D}$ = coefficiente correttivo per i rapporti h/D ≠ 2, pari a $C_{h/D}$ = 2/(1.5+D/h).
$C_{dia}$ = coefficiente correttivo relativo al diametro d, da assumere uguale a 1.06, 1.00 e 0.98 per D pari rispettivamente a 50, 100 e 150mm.
$C_a$ = coefficiente correttivo relativo alla presenza di armature incluse variabile tra 1.03 per barre di piccolo diametro a 1.13 per barre di diametro elevato.
$C_d$ = coefficiente correttivo per tenere conto del disturbo arrecato alla carota nelle operazioni di estrazione. $C_d$ = 1.20 per $f_{car}$ < 20Mpa e $C_d$ = 1.10 per $f_{car}$ > 20Mpa.
La resistenza adottata è pari al valore medio delle N resistenze in sito $f_{cis,i}$ modificato in funzione del valore del fattore di confidenza FC.

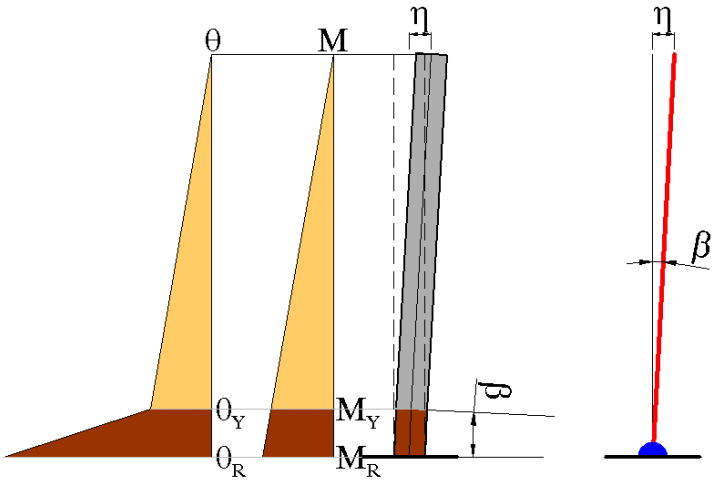
## 1.8. DIAGRAMMI COSTITUTIVI DELLE CERNIERE PLASTICHE

Le modalità di risposta delle zone con comportamento non lineare dei vari elementi strutturali (travi e pilastri) sono state inserite nelle zone critiche dei modelli di calcolo assegnando le caratteristiche locali delle cerniere plastiche. Il programma agli elementi finiti SAP-2000-nl utilizzano nei calcoli permette di definire il comportamento di una cerniera plastica mediante un diagramma generalizzato del tipo rappresentato in figura, che può essere stabilito assegnando 5 punti raccordati da tratti lineari.




La versione utilizzata nei calcoli prevede la presenza di cerniere plastiche puntiformi, funzionanti con un comportamento rigido-plastico, che si attivano seguendo la legge di comportamento assegnata solo dopo il raggiungimento di un certo valore della caratteristica di sollecitazione in esame.

I legami costitutivi previsti dal programma sono definiti pertanto non in termini di diagrammi momento-curvatura ($M$-$\theta$), ma in termini di diagrammi momento-rotazione ($M$-$\beta$) con comportamento rigido-plastico. E' quindi necessario integrare preliminarmente la curvatura alla quale è soggetto l'elemento strutturale nelle zone che sono uscite dal comportamento elastico; perché ciò sia possibile occorre valutare a priori la lunghezza della cerniera plastica $L_{pl}$ (vedi la figura seguente).




Per stimare la lunghezza delle cerniere plastiche, la letteratura scientifica indica varie espressioni di natura empirica, basate sui risultati di determinazioni sperimentali. Ai fini delle analisi si è fatto riferimento alla seguente espressione, consigliata dalle norme:

$$L_{pl} = 0.1L_V + 0.17h + 0.24\frac{d_{bL}f_y}{\sqrt{f_c}}$$

nella quale i simboli hanno i significati indicati di seguito:

- $L_V$ = M/T = distanza equivalente del punto di flesso.
- h = altezza utile della sezione.
- $d_{bL}$ = diametro medio delle barre longitudinali.
- $f_c$ e $f_y$ = valori di calcolo delle resistenze del CLS e dell'acciaio.

Nella valutazione dei diagrammi momento-rotazione, come valore della forza assiale mediamente presente è stato considerato quello statico calcolato in assenza di sisma.

Per le pareti in C.A. sono stati considerati legami analoghi tra sforzo di taglio e scorrimento.

## 1.9. ROTAZIONI RISPETTO ALLA CORDA

Per quanto riguarda la definizione delle rotazioni rispetto alla corda, richieste dalle norme per la valutazione dello SLDL, sono state utilizzate direttamente le espressioni indicate dalla norme medesime (espressioni 11.1a del punto 11.3.2.1 dell'O.3431/05):

$$\theta_y = \phi_y \frac{L_V}{3} + 0{,}0013\left(1 + 1{,}5\frac{h}{L_V}\right) + 0{,}13\phi_y \frac{d_b f_y}{\sqrt{f_c}}$$

Per le rotazioni allo SLDS, conformemente alla norme, è stato considerato un valore pari ai ¾ di quello per lo SLCO.

Per quanto riguarda la rotazione alla corda allo SLCO l'espressione di norma (espressione 11.A.1 dell'allegato 11.A dell'O.3431/05)

$$\theta_u = \frac{1}{\gamma_{el}} 0{,}016 \cdot (0{,}3^{\nu}) \left[\frac{\max(0{,}01;\omega')}{\max(0{,}01;\omega)} f_c\right]^{0.225} \left(\frac{L_V}{h}\right)^{0{,}35} 25^{\left(\alpha\rho_{sx}\frac{f_{yw}}{f_c}\right)} (1{,}25^{100\rho_d})$$

fornisce valori maggiori di quelli che sono stati presi effettivamente in considerazione nelle valutazioni di calcolo; è stata infatti assunta come rotazione plastica massima quella valutata come ultimo step della curva di pushover calcolata dal SAP. Ciò in quanto il codice di calcolo si interrompe automaticamente quando nel modello si è prodotto un elevato numero di cerniere plastiche, pur non essendo stato raggiunto uno dei due limiti del diagramma costitutivo (deformazione max del calcestruzzo pari allo 0.35% o deformazione massima dell'acciaio pari al valore estremo assunto pari al 4%, valori corrispondenti a riferimenti normativi).

## 1.10. VERIFICHE A TAGLIO

Le verifiche a taglio degli elementi fragili sono state effettuate con riferimento allo SLU di resistenza.
Ai fini dello SLCO non è stato preso in considerazione il collasso di alcuni elementi secondari caratterizzati da un comportamento rigido fragile, come le pareti dei nuclei ascensori di dimensioni molto piccole ed alcune travi secondarie molto tozze. Si è ritenuto infatti che questi elementi non rivestano un ruolo determinante nella risposta globale dell'intero edificio. Pertanto, non è stata considerata significativa la loro rottura se questa avviene durante i primi step dell'analisi statica non lineare.
Nelle travi dei vari corpi sono presenti armature inclinate a 45° disposte per resistere alla sollecitazione di taglio prodotta dai carichi verticali. Nelle analisi numeriche si è tenuto conto del fatto che queste armature non sono efficaci ai fini della resistenza a taglio nel caso di un'inversione di segno dovuta all'azione sismica; salvo poi controllare se c'è stata effettivamente un'inversione di tale segno, provvedendo nel caso di conseguenza.

## 1.11. VERIFICHE DEI NODI NON CONFINATI

Per quanto riguarda le verifiche dei nodi di cemento armato non confinati il procedimento proposto dalla norma per le strutture esistenti (punto 11.3.2.3. dell'O.3431/05) non tiene conto di eventuali armature di confinamento presenti all'interno dei nodi stessi, ma fa riferimento soltanto a tensioni interne di trazione o compressione del calcestruzzo. Questo criterio non è pertanto utilizzabile se si vuole tenere conto di effetti di confinamento dovuti al prolungamento delle staffe dei pilastri. Per risolvere il problema si è utilizzata l'espressione indicata dalle norme per il progetto delle nuove costruzioni (espressione 5.6 del punto 5.4.3.2 dell'O.3431/05) per la verifica dei nodi di cemento armato. In questo modo è stato possibile stimare un aumento equivalente $\Delta R_{ck}$ del calcestruzzo in funzione dell'armatura trasversale presente.

## 1.12. NOTE SPECIFICHE SU FATTI DI RILIEVO

### 1.12.1. Separazione tra corpi di fabbrica

Un problema di rilievo in aggiunta a quanto rilevato mediante le analisi, si presenta a causa del fatto che l'ampiezza dei giunti di separazione tra i vari corpi di fabbrica (analizzati separatamente) risulta ampiamente insufficiente ad evitare il martellamento ancor prima del raggiungimento dello Stato Limite di Danno Severo valutato con le analisi di comportamento dei sistemi strutturali. Questo aspetto dovrà essere tenuto in debita considerazione nel caso di in intervento di adeguamento sismico della costruzione.

### 1.12.2. Collassi a taglio e dei nodi

Nello svolgimento delle analisi numeriche per la valutazione dei vari stati limite, non si è tenuto conto del fatto che in alcuni corpi di fabbrica (A, B, C, G, H, ***) i collassi di tipo fragile riguardanti i nodi ed i pilastri (quali risultano da specifiche verifiche di resistenza) precedono di fatto la stessa condizione di Stato Limite di Danno Lieve. Pertanto i valori delle accelerazioni e degli indicatori di rischio riportati in tabella presuppongono l'eliminazione di tali carenze critiche di resistenza (si veda a tal proposito quanto suggerito al paragrafo 26 delle note per la compilazione delle schede di sintesi).

# 2. RELAZIONE DI CALCOLO CORPI A-C- ALA SUD

## 2.1 LIVELLO DI CONOSCENZA RAGGIUNTO

La determinazione del livello di conoscenza è necessaria per definire i parametri meccanici ed i fattori di confidenza (FC).
In relazione alla Tabella 11.1 della normativa di riferimento si specifica:
- **Geometria**: è stata ottenuta da disegni di carpenteria originali; è stato eseguito inoltre un rilievo visivo a campione.
- **Dettagli strutturali**: sono stati desunti dai disegni costruttivi completi e da **"limitate verifiche in situ"**.
- **Materiali**: sono state eseguite **"limitate prove in situ"**.

Considerato quanto sopra si conclude che il livello di conoscenza acquisito per l'edificio in oggetto è **LC2** che comporta un Fattore di Confidenza **FC = 1.2**.

## 2.2 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI ADOTTATE NELL'ANALISI

Sulla base delle prescrizioni progettuali, delle prove effettuate e considerato il fattore di confidenza **FC = 1.2**, si è scelto di adottare per i materiali le seguenti caratteristiche di calcolo:

- **CLS**

$f_c$ = 18 N/mm$^2$
E = 29300 N/mm$^2$
G = 11300 N/mm$^2$
$w_{CLS}$ = 25.0 kN/m$^3$

- **ACCIAIO (AQ50/60)**

$f_y$ = 295 N/mm$^2$
E = 206000 N/mm$^2$
G = 79000 N/mm$^2$

## 2.3 ANALISI DEI CARICHI

Per la valutazione dei carichi agenti sono stati adottati valori tradizionalmente riportati in letteratura.

### 2.3.1 Valutazione carico neve

E' stato considerato $\Rightarrow$ $\mathbf{q_{neve} = 1.20\ kN/m^2}$

### 2.3.2 Solaio piani degenze [laterocemento 24+5]

**Permanenti:**

| | | |
|---|---|---|
| peso proprio solaio: | | = 3.20 kN/m$^2$ |
| sovracc. perm.: | | = 1.80 kN/m$^2$ |
| tramezzature: | | = 1.00 kN/m$^2$ |
| | **P** | **= 6.00 kN/m$^2$** |
| **Accidentale (ospedale):** | **Q** | **= 3.00 kN/m$^2$** |

### 2.3.3 Solaio piani degenze [laterocemento 20+4]

**Permanenti:**

| | | |
|---|---|---|
| peso proprio solaio: | | = 2.70 kN/m$^2$ |
| sovracc. perm.: | | = 1.80 kN/m$^2$ |
| tramezzature: | | = 1.00 kN/m$^2$ |
| | **P** | **= 5.50 kN/m$^2$** |
| **Accidentale (ospedale):** | **Q** | **= 3.00 kN/m$^2$** |

### 2.3.4 Solaio copertura [laterocemento 24+5]

**Permanenti:**

| | | |
|---|---|---|
| peso proprio solaio: | | = 3.20 kN/m$^2$ |
| sovracc. perm.: | | = 0.80 kN/m$^2$ |
| | **P** | **= 4.00 kN/m$^2$** |
| **Accidentale (neve):** | **Q** | **= 1.20 kN/m$^2$** |

### 2.3.5 Tamponatura perimetrale

**Permanenti:**

muratura a doppio intonaco: = 3.00 kN/m$^2$

**P = 3.00 kN/m$^2$**

**N.B.** Per le pareti finestrate sono state valutate opportune riduzioni del carico dovuto alle tamponature.

## 2.4 MODELLO STRUTTURALE

Il modello di calcolo utilizzato è di tipo tridimensionale ed è stato costruito adottando elementi di tipo "frame" per la schematizzazione degli elementi snelli (travi e pilastri); anche i setti in C.A. sono stati modellati a "pilastro equivalente", ossia con l'ausilio di elementi tipo frame deformabili dotati della sezione della parete e braccetti rigidi per modellare il mantenimento della sezione piana. Le pareti di contenimento al piano seminterrato è stata invece modellato con elementi bidimensionali di tipo "shell".

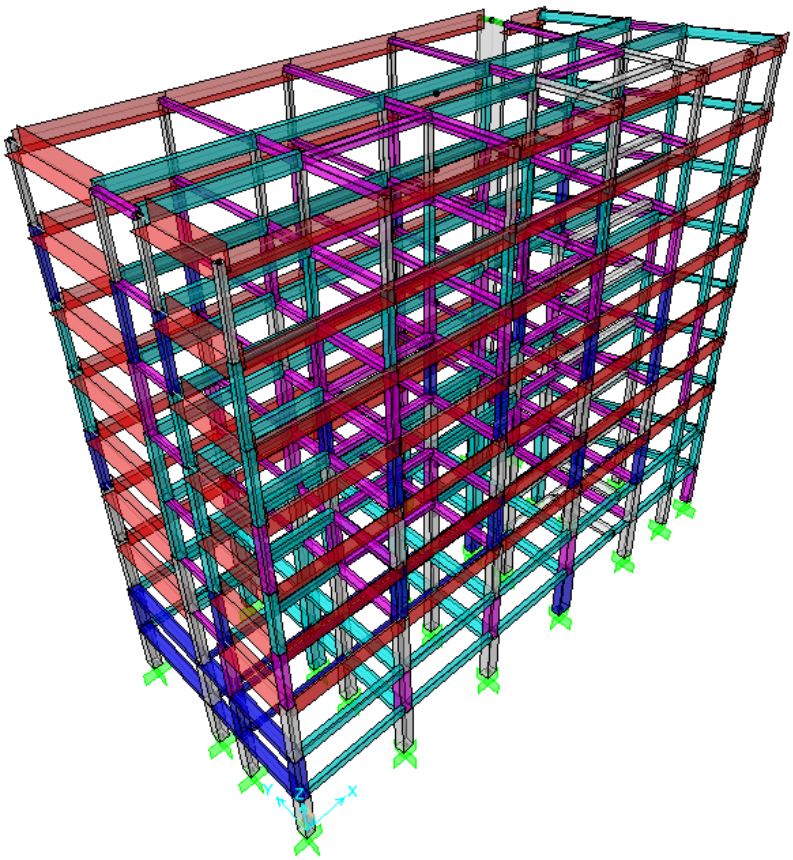
### 2.4.1 Dettagli sulla modellazione

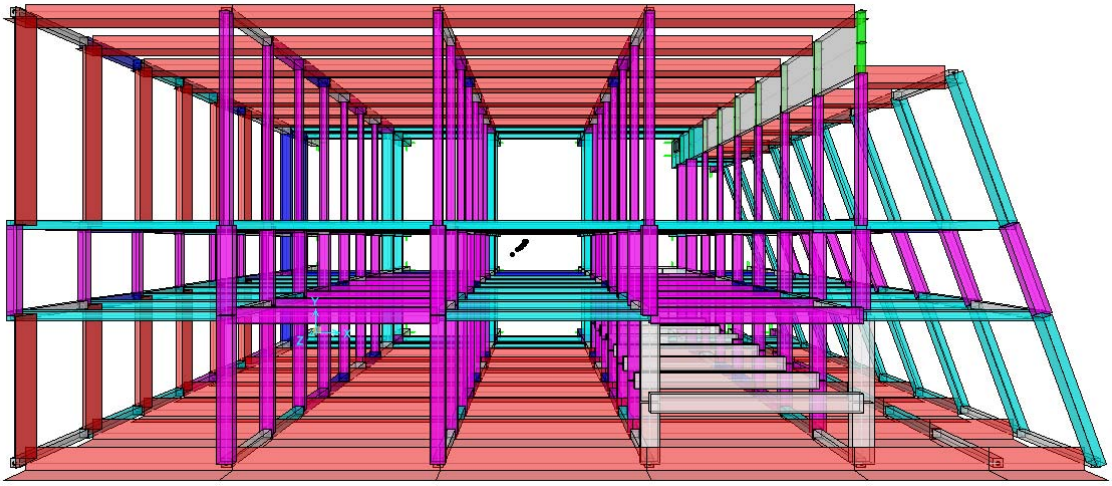
Nella modellazione della struttura sono stati utilizzati i seguenti accorgimenti:

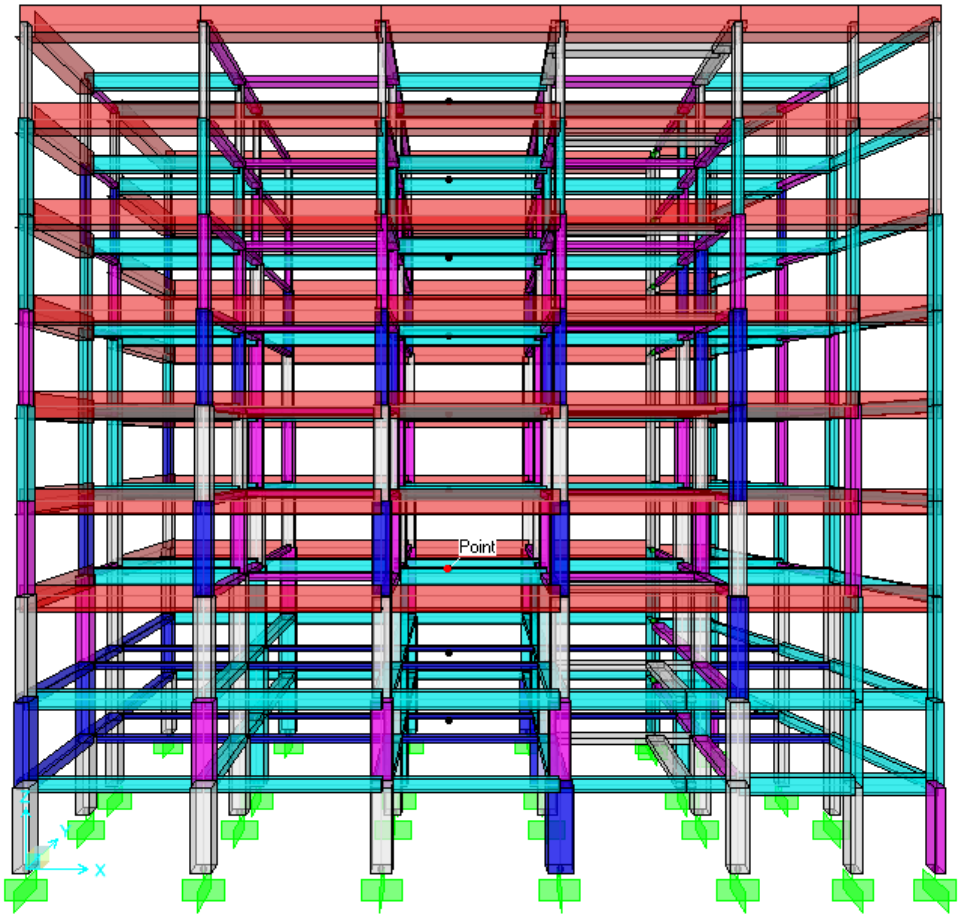
- Tutti gli impalcati sono stati considerati infinitamente rigidi nel loro piano essendo costituiti da solai in laterocemento con getto di soletta di completamento.
- I pilastri del primo ordine sono stati considerati incastrati a terra.
- Ove ritenuto necessario sono stati inseriti degli elementi infinitamente rigidi ("braccetti rigidi") al fine di riprodurre in maniera più accurata la presenza di nodi di grandi dimensioni e quindi di elementi tozzi.
- Le rigidezze a taglio e flessionali degli elementi trave sono state ridotte al 50% (come consigliato dalla normativa di riferimento) al fine di tenere in considerazione l'effetto della fessurazione delle sezioni in C.A. sottoposte a notevoli curvature; le rigidezze dei pilastri, in virtù dello sforzo assiale presente, non sono invece state abbattute.

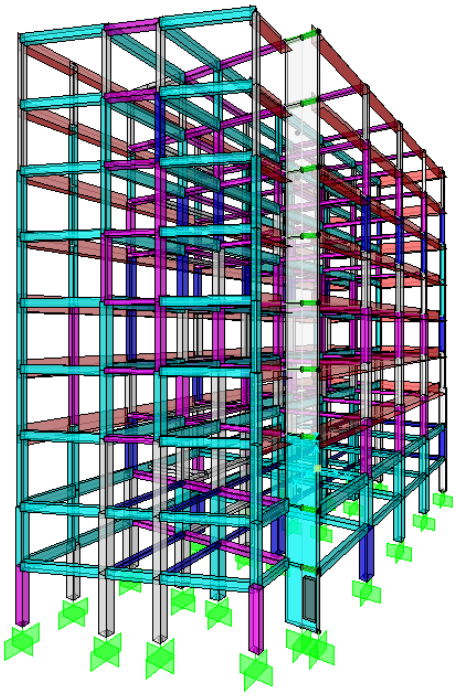
- Per le zone degli elementi strutturali ove è possibile che abbiano luogo fenomeni di escursione in campo post-elastico, sono state adottate opportune leggi di comportamento (cerniere plastiche o plastic hinges) in grado di riprodurre il comportamento della sezione in campo non-lineare nei confronti di varie caratteristiche di sollecitazione (solitamente momento flettente e taglio).
- Le cerniere plastiche dei pilastri sono state valutate tenendo in considerazione lo sforzo assiale presente in condizioni statiche, essendo quest'ultimo un fattore in grado di influenzare fortemente la capacità di rotazione delle stesse.

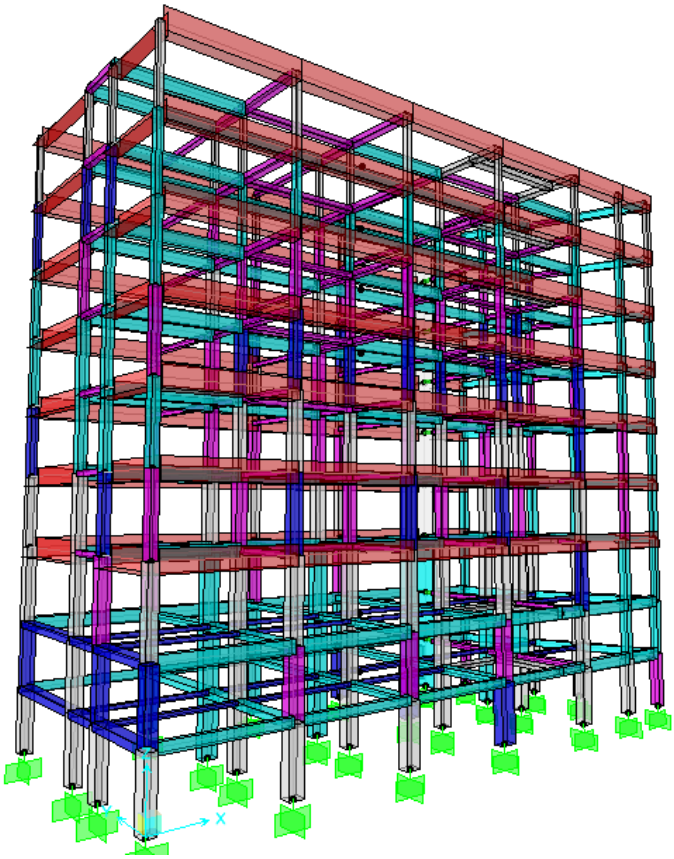
⇒ **Immagini modello 3D**



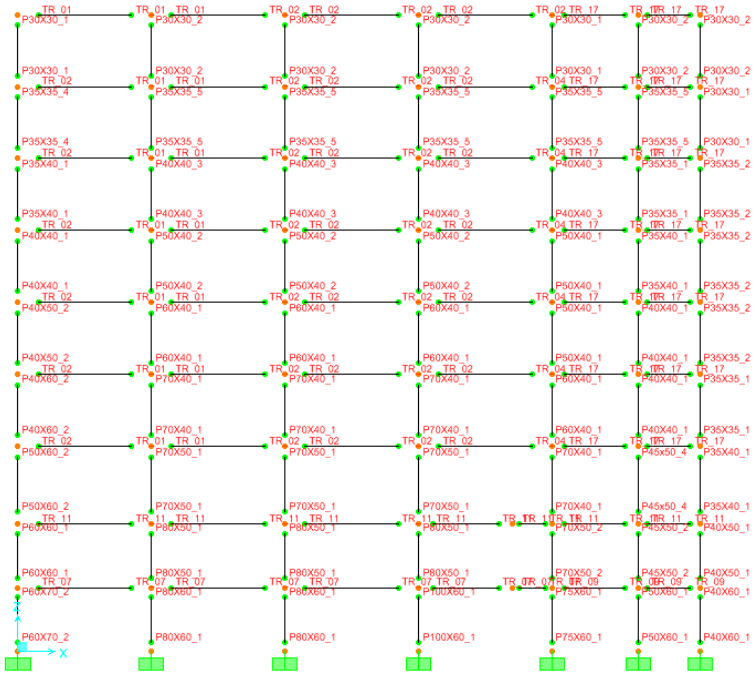


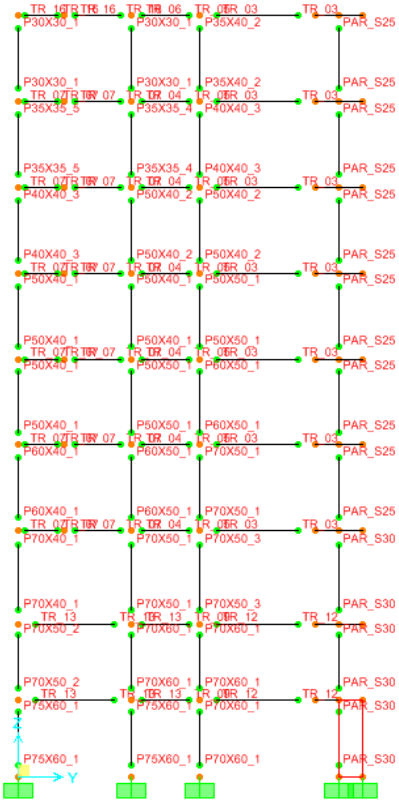

Point
Z
Y
X

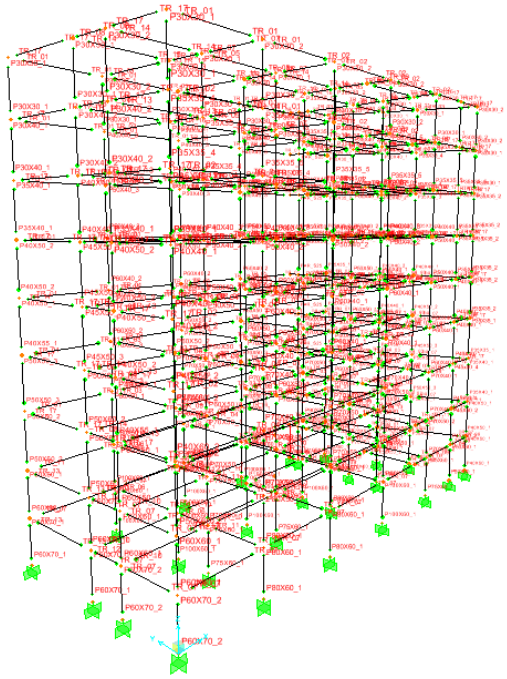



X

## ⇒ Posizionamento delle cerniere plastiche







## 2.5 RISULTATI DELLE ELABORAZIONI

### 2.5.1 Analisi modale

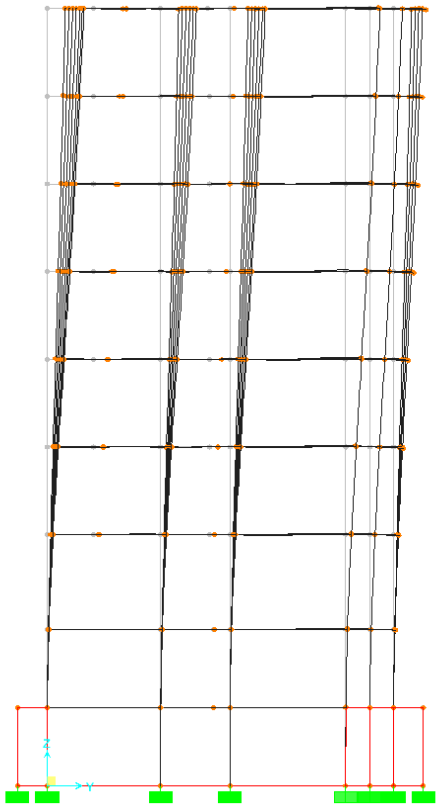
Di seguito si riportano i principali risultati dell'analisi modale (elastica) condotta sulla struttura ed alcune immagini relative ai modi principali.

**TABLE: Modal Participating Mass Ratios**

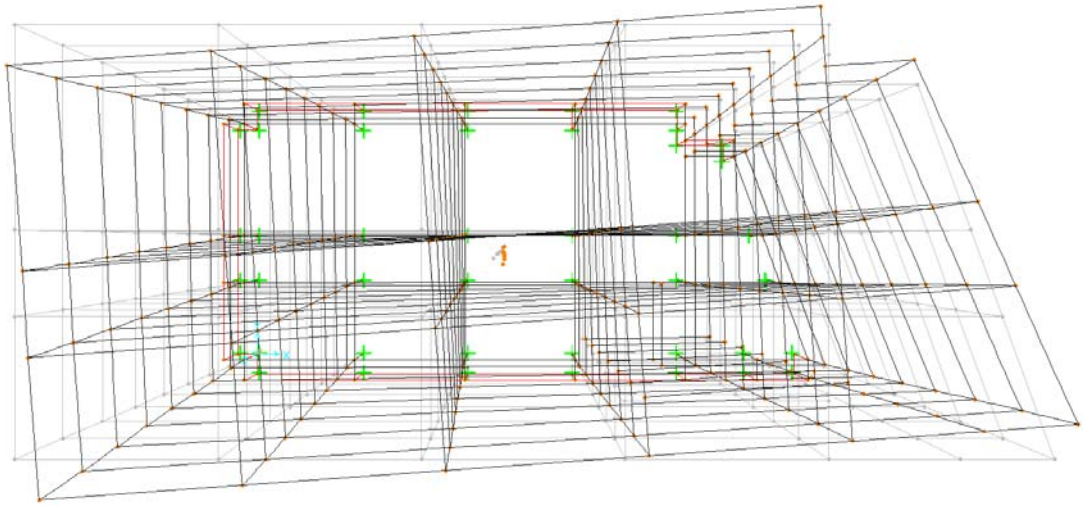
| OutputCase | StepType | StepNum | Period | UX | UY | RZ | SumUX | SumUY | SumRZ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Text | Text | Unitless | Sec | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless |
| AnalisiModale | Mode | 1 | 2,30 | 0,00 | 0,59 | 0,03 | 0,00 | 0,59 | 0,03 |
| AnalisiModale | Mode | 2 | 1,44 | 0,07 | 0,04 | 0,53 | 0,08 | 0,63 | 0,57 |
| AnalisiModale | Mode | 3 | 1,33 | 0,59 | 0,00 | 0,07 | 0,67 | 0,63 | 0,64 |
| AnalisiModale | Mode | 4 | 0,74 | 0,00 | 0,12 | 0,00 | 0,67 | 0,75 | 0,64 |
| AnalisiModale | Mode | 5 | 0,57 | 0,04 | 0,00 | 0,07 | 0,71 | 0,75 | 0,71 |
| AnalisiModale | Mode | 6 | 0,53 | 0,06 | 0,00 | 0,04 | 0,77 | 0,75 | 0,75 |
| AnalisiModale | Mode | 7 | 0,39 | 0,00 | 0,03 | 0,00 | 0,77 | 0,78 | 0,75 |
| AnalisiModale | Mode | 8 | 0,33 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,80 | 0,79 | 0,75 |
| AnalisiModale | Mode | 9 | 0,30 | 0,00 | 0,02 | 0,02 | 0,80 | 0,80 | 0,78 |
| AnalisiModale | Mode | 10 | 0,27 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,80 | 0,81 | 0,79 |
| AnalisiModale | Mode | 11 | 0,24 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,81 | 0,81 | 0,79 |
| AnalisiModale | Mode | 12 | 0,20 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,81 | 0,82 | 0,79 |
| AnalisiModale | Mode | 13 | 0,18 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,82 | 0,83 | 0,79 |
| AnalisiModale | Mode | 14 | 0,17 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,82 | 0,83 | 0,81 |
| AnalisiModale | Mode | 15 | 0,15 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,82 | 0,83 | 0,81 |
| AnalisiModale | Mode | 16 | 0,15 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,82 | 0,83 | 0,81 |
| AnalisiModale | Mode | 17 | 0,15 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,82 | 0,83 | 0,81 |
| AnalisiModale | Mode | 18 | 0,15 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,82 | 0,84 | 0,81 |
| AnalisiModale | Mode | 19 | 0,14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,82 | 0,84 | 0,81 |
| AnalisiModale | Mode | 20 | 0,14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,82 | 0,84 | 0,81 |
| AnalisiModale | Mode | 21 | 0,13 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,83 | 0,84 | 0,81 |
| AnalisiModale | Mode | 22 | 0,13 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,83 | 0,84 | 0,81 |
| AnalisiModale | Mode | 23 | 0,13 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,83 | 0,84 | 0,81 |
| AnalisiModale | Mode | 24 | 0,13 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,83 | 0,84 | 0,81 |
| AnalisiModale | Mode | 25 | 0,13 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,83 | 0,84 | 0,81 |
| AnalisiModale | Mode | 26 | 0,13 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,83 | 0,84 | 0,81 |
| AnalisiModale | Mode | 27 | 0,13 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,83 | 0,84 | 0,81 |

Si riportano di seguito le deformate corrispondenti ai primi tre modi della struttura:

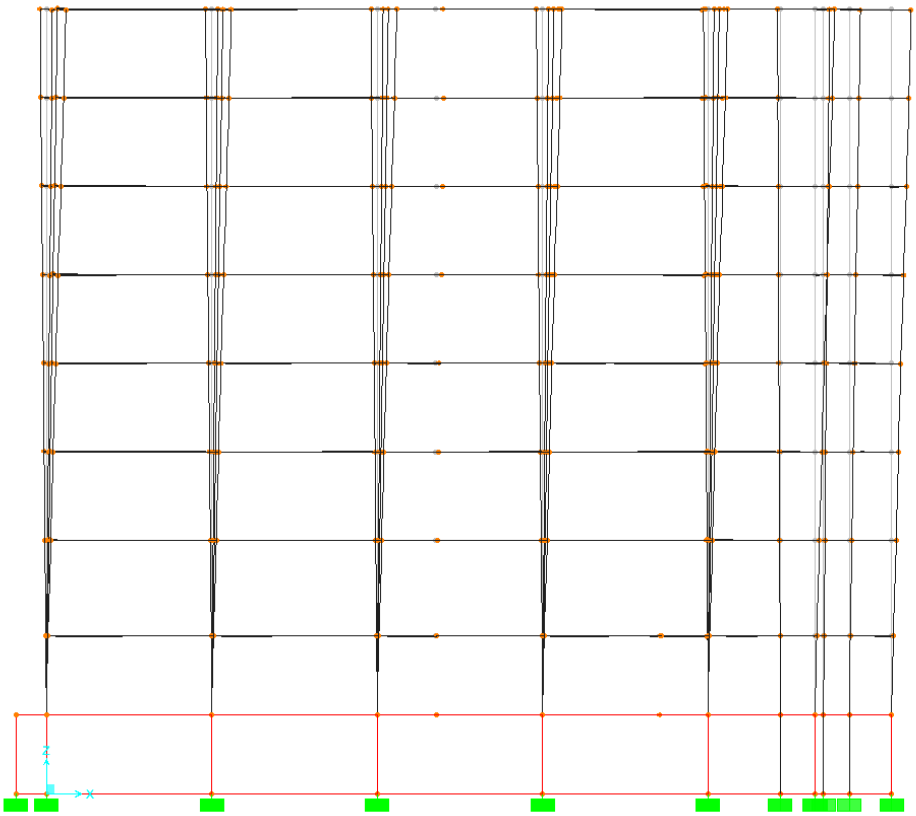
⇒ **Modo 1 – T = 2.29 s (traslazionale lungo Y)**



⇒ **Modo 2 – T = 1.44 s (rotazionale attorno Z)**



⇒ **Modo 3 – T = 1.33 s (traslazionale lungo X)**



### 2.5.2 Analisi statica non lineare (Pushover)

Di seguito si riportano:

- gli autovettori (deformate modali) per i modi traslazionali 1 e 3;
- gli autovettori normalizzati allo spostamento del centro di massa del 7° livello;
- le masse assemblate ai baricentri dei vari piani
- i fattori di partecipazione modale.

**1° MODO DIR X** (modo 3)

**Autovettore nodi MASSA - comp X**

| | |
|---|---|
| $\phi_1$ | 0,0000 |
| $\phi_2$ | -0,0021 |
| $\phi_3$ | -0,0054 |
| $\phi_4$ | -0,0079 |
| $\phi_5$ | -0,0106 |
| $\phi_6$ | -0,0132 |
| $\phi_7$ | -0,0159 |
| $\phi_8$ | -0,0187 |
| $\phi_9$ | -0,0208 |

**Autovettore nodi MASSA - comp X (normalizzato)**

| | |
|---|---|
| $\phi_{1,norm}$ | 0,002 |
| $\phi_{2,norm}$ | 0,099 |
| $\phi_{3,norm}$ | 0,259 |
| $\phi_{4,norm}$ | 0,380 |
| $\phi_{5,norm}$ | 0,508 |
| $\phi_{6,norm}$ | 0,634 |
| $\phi_{7,norm}$ | 0,767 |
| $\phi_{8,norm}$ | 0,902 |
| $\phi_{9,norm}$ | 1,000 |

**MASSE traslazionali X**

| | | |
|---|---|---|
| $M_1$ | 701 | t |
| $M_2$ | 685 | t |
| $M_3$ | 755 | t |
| $M_4$ | 726 | t |
| $M_5$ | 710 | t |
| $M_6$ | 696 | t |
| $M_7$ | 680 | t |
| $M_8$ | 662 | t |
| $M_9$ | 480 | t |

**COEFFICIENTE DI PARTECIPAZIONE**

**$\Gamma x$** **1,44**

**$\Sigma mi*\phi i$** **2943** t

**1° MODO DIR Y** (modo 1)

**Autovettore nodi MASSA - comp Y**

| | |
|---|---|
| $\phi_1$ | 0,0001 |
| $\phi_2$ | 0,0012 |
| $\phi_3$ | 0,0039 |
| $\phi_4$ | 0,0070 |
| $\phi_5$ | 0,0103 |
| $\phi_6$ | 0,0137 |
| $\phi_7$ | 0,0169 |
| $\phi_8$ | 0,0198 |
| $\phi_9$ | 0,0223 |

**Autovettore nodi MASSA - comp Y (normalizzato)**

| | |
|---|---|
| $\phi_{1,norm}$ | 0,003 |
| $\phi_{2,norm}$ | 0,054 |
| $\phi_{3,norm}$ | 0,174 |
| $\phi_{4,norm}$ | 0,312 |
| $\phi_{5,norm}$ | 0,463 |
| $\phi_{6,norm}$ | 0,615 |
| $\phi_{7,norm}$ | 0,761 |
| $\phi_{8,norm}$ | 0,890 |
| $\phi_{9,norm}$ | 1,000 |

**MASSE traslazionali Y**

| | | |
|---|---|---|
| $M_1$ | 701 | t |
| $M_2$ | 685 | t |
| $M_3$ | 755 | t |
| $M_4$ | 726 | t |
| $M_5$ | 710 | t |
| $M_6$ | 696 | t |
| $M_7$ | 680 | t |
| $M_8$ | 662 | t |
| $M_9$ | 480 | t |

**COEFFICIENTE DI PARTECIPAZIONE**

**$\Gamma y$** **1,44**

**$\Sigma mi*\phi i$** **2740** t

I due sistemi di forze sono di seguito riportati:

**SISTEMI DI FORZE DIR X**

| | |
|---|---|
| 700 | 0 |
| 690 | 70 |
| 760 | 200 |
| 730 | 280 |
| 710 | 360 |
| 700 | 440 |
| 680 | 520 |
| 660 | 600 |
| 480 | 480 |

**SISTEMI DI FORZE DIR Y**

| | |
|---|---|
| 700 | 0 |
| 690 | 40 |
| 760 | 130 |
| 730 | 230 |
| 710 | 330 |
| 700 | 430 |
| 680 | 520 |
| 660 | 590 |
| 480 | 480 |

Sulla struttura in oggetto sono state quindi eseguite le seguenti analisi pushover:

**1.** Pushover n.1 - Direzione X Sistema di forze Tipo 1
**2.** Pushover n.2 - Direzione X Sistema di forze Tipo 2
**3.** Pushover n.3 - Direzione Y Sistema di forze Tipo 1
**4.** Pushover n.4 - Direzione Y Sistema di forze Tipo 2

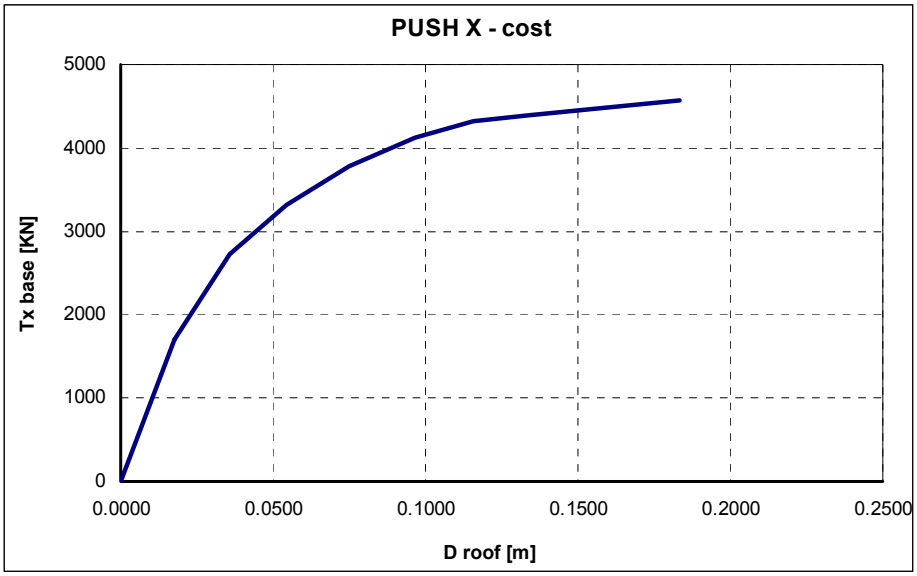
Di seguito si riportano le Curve di Push, le Curve di Capacità e le relative conversioni nel sistema elasto-plastico equivalente.

### 2.5.3 Pushover n°1

Pushover in direzione X con applicato alla struttura il sistema di forze Tipo 1.

#### *2.5.3.1 Curva di push*

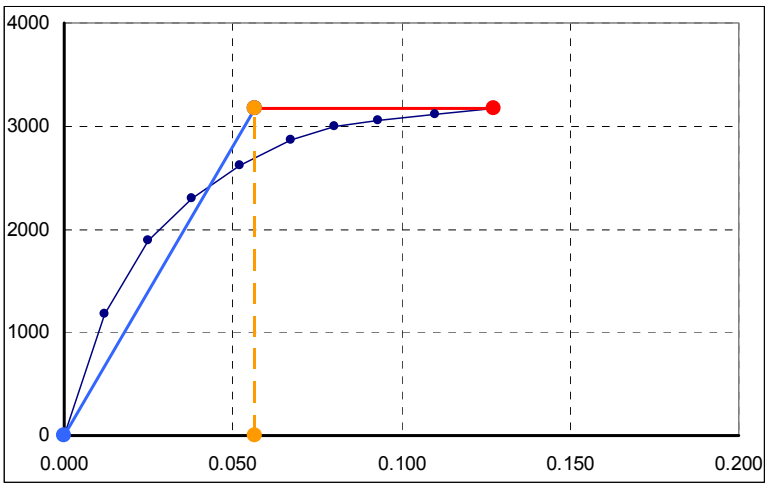
Si riporta la curva di push in termini di taglio totale alla base nella direzione considerata e spostamento del baricentro del 9°piano ($T_{base}$ – $D_{roof}$).




#### *2.5.3.2 Curva di capacità e sistema SDOF bilineare equivalente*

**PUSH X COST**

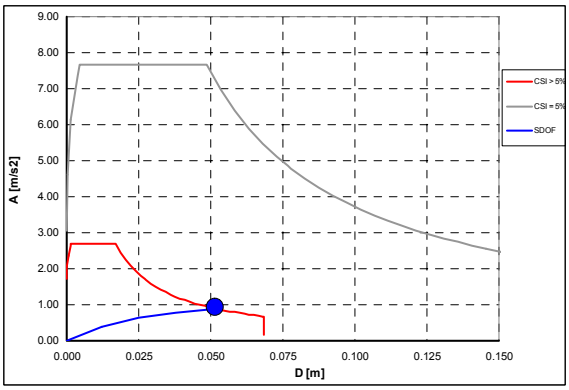
| STEP [ ] | SPOST [m] | TAGLIO [KN] |
|---|---|---|
| 0 | 0.0000 | 0 |
| 1 | 0.0176 | 1696 |
| 2 | 0.0359 | 2719 |
| 3 | 0.0546 | 3309 |
| 4 | 0.0748 | 3773 |
| 5 | 0.0968 | 4120 |
| 6 | 0.1155 | 4321 |
| 7 | 0.1337 | 4396 |
| 8 | 0.1586 | 4486 |
| 9 | 0.1835 | 4562 |
| 10 | 0.1835 | 4562 |




| | | |
|---|---|---|
| **Fbu** | 4562 | KN |
| **du** | 0.184 | m |
| **Γx** | 1.44 | |
| **F*y** | 3171 | KN |
| **d*u** | 0.128 | m |
| **k*** | 56046 | KN/m |
| **d*y** | 0.057 | m |
| **m*** | 2943 | t |
| **T*** | 1.44 | s |

### *2.5.3.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari Stati Limite (Push n°1)*

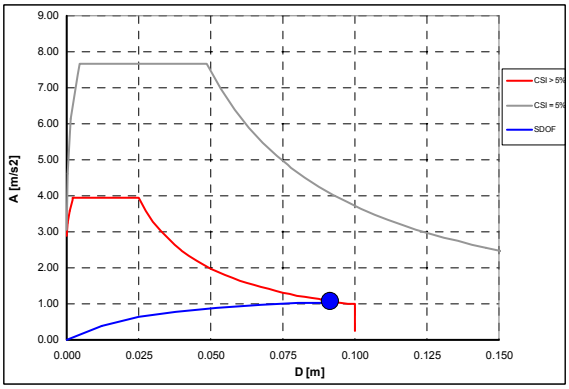
## ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA ALLO SNERVAMENTO




Viscosità equivalente = 20.2%

Step 4 ⇒ **PGA = 1.717 m/s²**

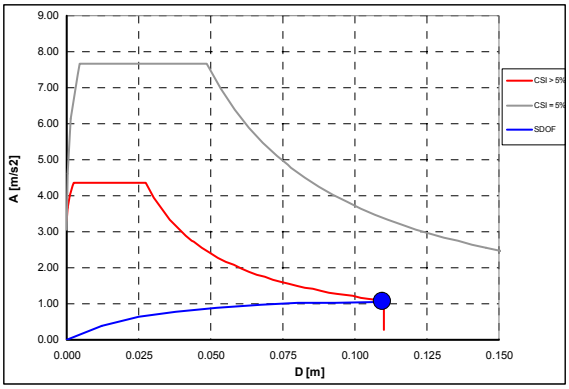
## ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA DI DANNO SEVERO




Viscosità equivalente = 28.3%

Step 7 ⇒ **PGA = 2.882 m/s²**

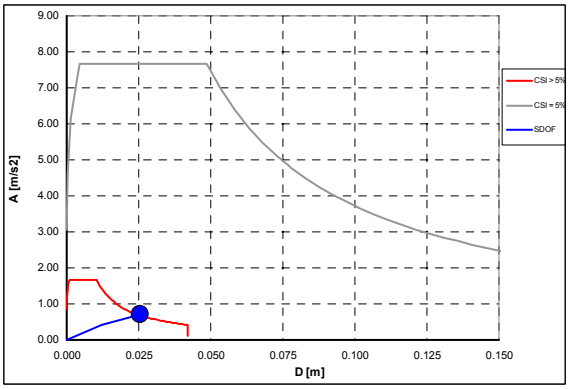
## ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA DI COLLASSO




Viscosità equivalente = 31.2%

Step 8 ⇒ **PGA = 3.311 m/s$^2$**

## COLLASSO A TAGLIO




Viscosità equivalente = 11.8%

Step 2 ⇒ **PGA = 0.858 m/s$^2$**

## RIEPILOGO

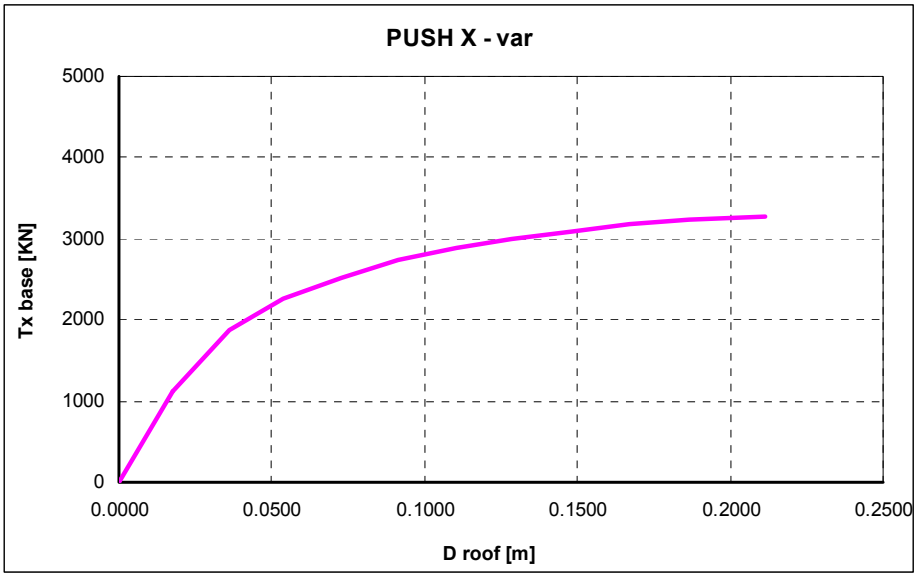
| | | | |
|---|---|---|---|
| Step 2 | ⇒ | **$PGA_{TAGLIO}$ = 0.858 m/s$^2$** | (collasso a taglio) |
| Step 4 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ Y}$ = 1.717 m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |
| Step 7 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ DS}$ = 2.882 m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |
| Step 8 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ CO}$ = 3.311 m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |

### 2.5.4 Pushover n°2

Pushover in direzione X con applicato alla struttura il sistema di forze Tipo 2.

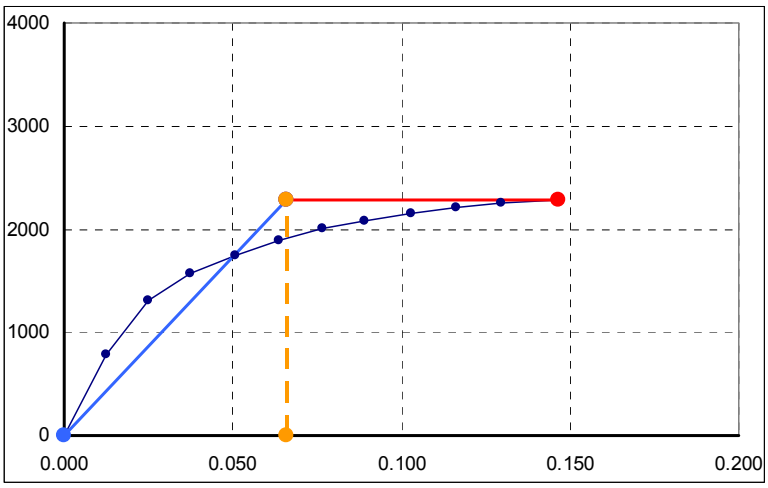
#### *2.5.4.1 Curva di push*

Si riporta la curva di push in termini di taglio totale alla base nella direzione considerata e spostamento del baricentro del 9°piano ($T_{base}$ – $D_{roof}$).




#### *2.5.4.2 Curva di capacità e sistema SDOF bilineare equivalente*

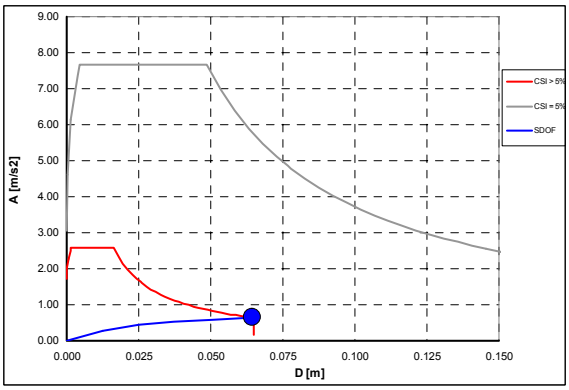
| PUSH X VAR | | |
|---|---|---|
| STEP [ ] | SPOST [m] | TAGLIO [KN] |
| 0 | 0.0000 | 0 |
| 1 | 0.0178 | 1127 |
| 2 | 0.0359 | 1880 |
| 3 | 0.0537 | 2256 |
| 4 | 0.0728 | 2519 |
| 5 | 0.0915 | 2730 |
| 6 | 0.1103 | 2884 |
| 7 | 0.1283 | 2995 |
| 8 | 0.1479 | 3092 |
| 9 | 0.1671 | 3173 |
| 10 | 0.1867 | 3239 |
| 11 | 0.2112 | 3277 |




| | | |
|---|---|---|
| **Fbu** | 3277 | KN |
| **du** | 0.211 | m |
| **Γx** | 1.44 | |
| **F*y** | 2277 | KN |
| **d*u** | 0.147 | m |
| **k*** | 34606 | KN/m |
| **d*y** | 0.066 | m |
| **m*** | 2943 | t |
| **T*** | 1.83 | s |

### *2.5.4.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari Stati Limite (Push n°2)*

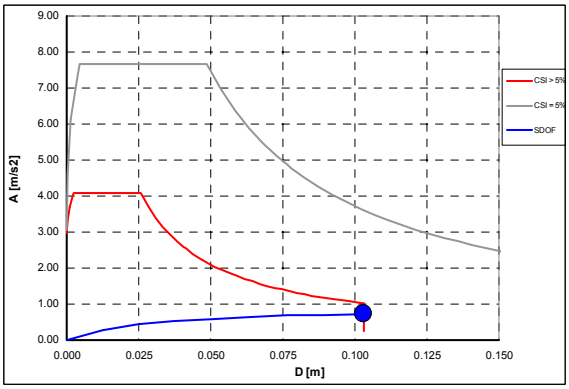
## ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA ALLO SNERVAMENTO




Viscosità equivalente = 22.9%

Step 5 ⇒ **PGA = 1.717 m/s²**

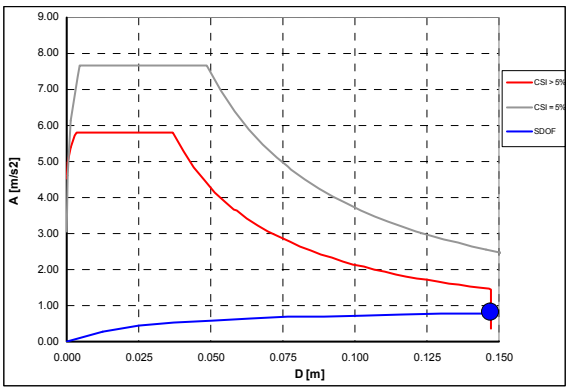
## ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA DI DANNO SEVERO




Viscosità equivalente = 28.5%

Step 8 ⇒ **PGA = 2.980 m/s²**

**ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA DI COLLASSO**




Viscosità equivalente = 33.1%

Step 11 ⇒ **PGA = 4.537 m/s$^2$**

**RIEPILOGO**

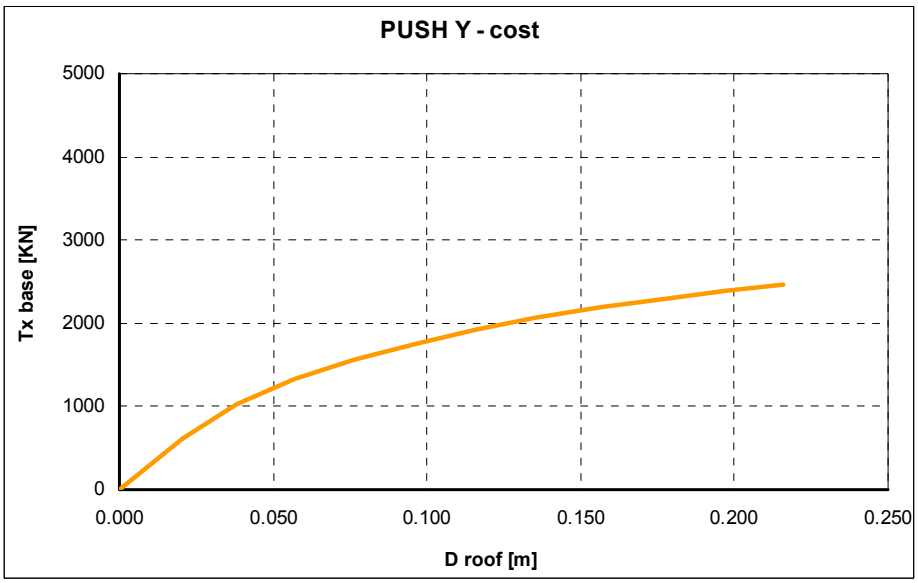
| | | | |
|---|---|---|---|
| Step 5 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ Y}$ = 1.717 m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |
| Step 8 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ DS}$ = 2.980 m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |
| Step 11 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ CO}$ = 4.537 m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |

### 2.5.5 Pushover n°3

Pushover in direzione Y con applicato alla struttura il sistema di forze Tipo 1.

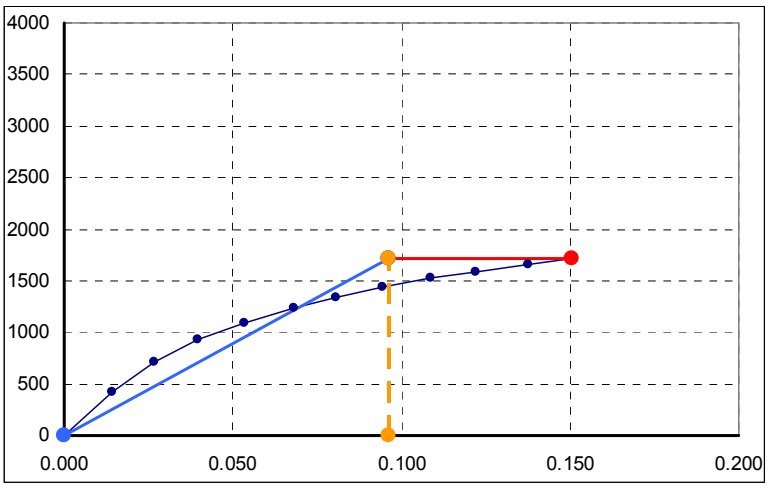
#### *2.5.5.1 Curva di push*

Si riporta la curva di push in termini di taglio totale alla base nella direzione considerata e spostamento del baricentro del 9°piano ($T_{base}$ – $D_{roof}$).




### *2.5.5.2 Curva di capacità e sistema SDOF bilineare equivalente*

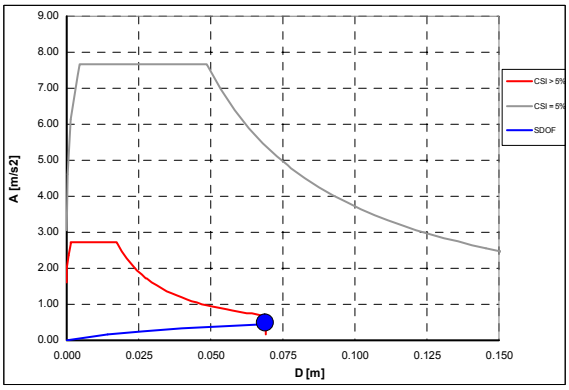
| PUSH Y COST | | |
|---|---|---|
| STEP [ ] | SPOST [m] | TAGLIO [KN] |
| 0 | 0.0000 | 0 |
| 1 | 0.0203 | 614 |
| 2 | 0.0381 | 1019 |
| 3 | 0.0571 | 1334 |
| 4 | 0.0767 | 1567 |
| 5 | 0.0977 | 1769 |
| 6 | 0.1160 | 1924 |
| 7 | 0.1357 | 2066 |
| 8 | 0.1562 | 2187 |
| 9 | 0.1752 | 2286 |
| 10 | 0.1974 | 2390 |
| 11 | 0.2159 | 2471 |




| | | |
|---|---|---|
| **Fbu** | 2471 | KN |
| **du** | 0.216 | m |
| **Γy** | 1.44 | |
| **F*y** | 1720 | KN |
| **d*u** | 0.150 | m |
| **k*** | 17873 | KN/m |
| **d*y** | 0.096 | m |
| **m*** | 2740 | t |
| **T*** | 2.46 | s |

### *2.5.5.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari Stati Limite (Push n°3)*

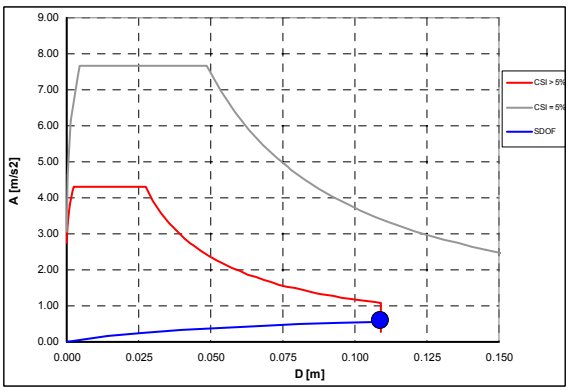
## ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA ALLO SNERVAMENTO




Viscosità equivalente = 16.9%

Step 5 ⇒ **PGA = 1.619 m/s²**

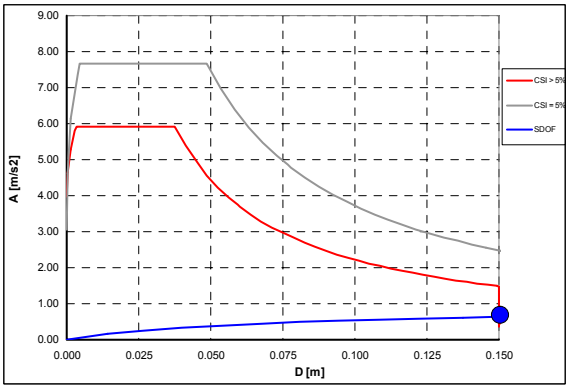
## ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA DI DANNO SEVERO




Viscosità equivalente = 23.3%

Step 8 ⇒ **PGA = 2.759 m/s²**

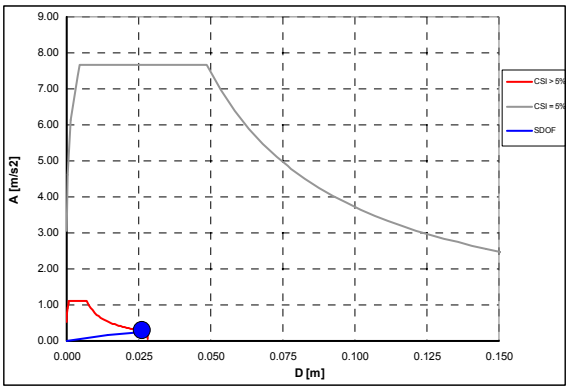
## ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA DI COLLASSO




Viscosità equivalente = 23.3%

Step 11 ⇒ **PGA = 3.985 m/s$^2$**

## COLLASSO A TAGLIO




Viscosità equivalente = 8.6%

Step 2 ⇒ **PGA = 0.515 m/s$^2$**

## RIEPILOGO

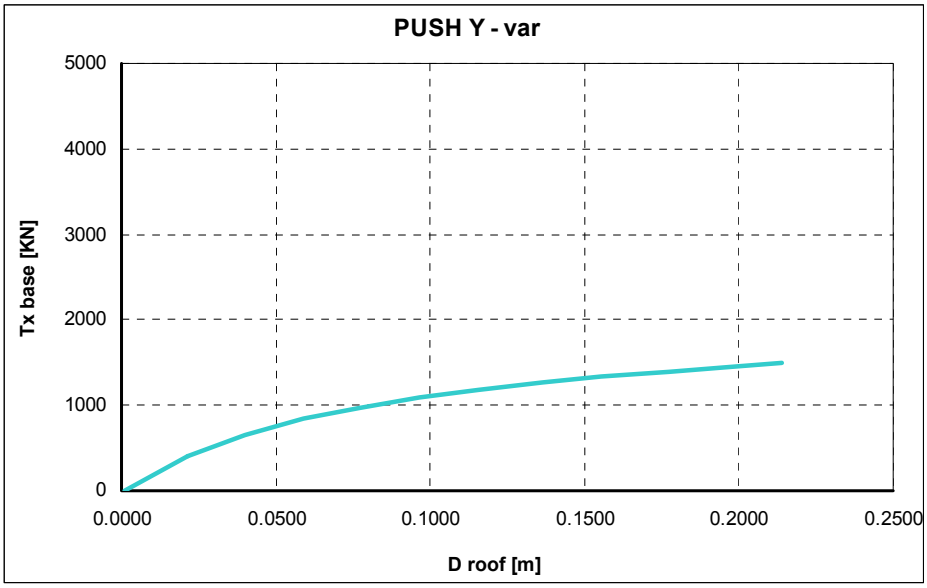
| | | | |
|---|---|---|---|
| Step 2 | ⇒ | **$PGA_{TAGLIO}$ = 0.515 m/s$^2$** | (collasso a taglio) |
| Step 5 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ Y}$ = 1.619 m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |
| Step 8 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ DS}$ = 2.759 m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |
| Step 11 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ CO}$ = 3.985 m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |

### 2.5.6 Pushover n°4

Pushover in direzione Y con applicato alla struttura il sistema di forze Tipo 2.

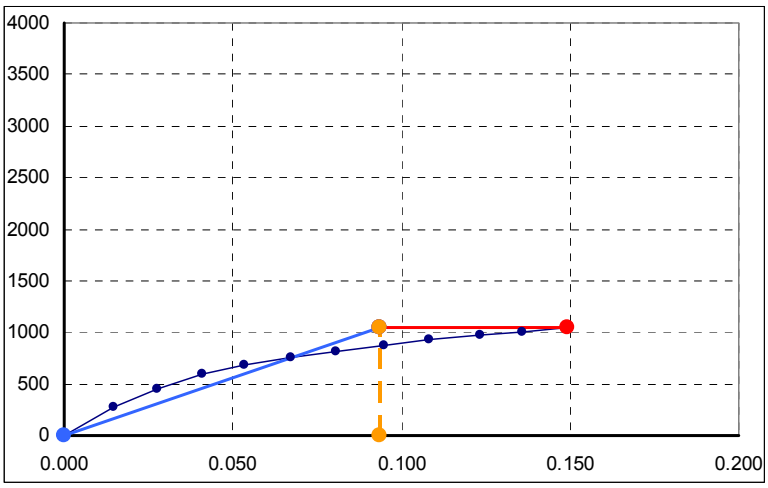
#### *2.5.6.1 Curva di push*

Si riporta la curva di push in termini di taglio totale alla base nella direzione considerata e spostamento del baricentro del 9°piano ($T_{base}$ – $D_{roof}$).




#### *2.5.6.2 Curva di capacità e sistema SDOF bilineare equivalente*

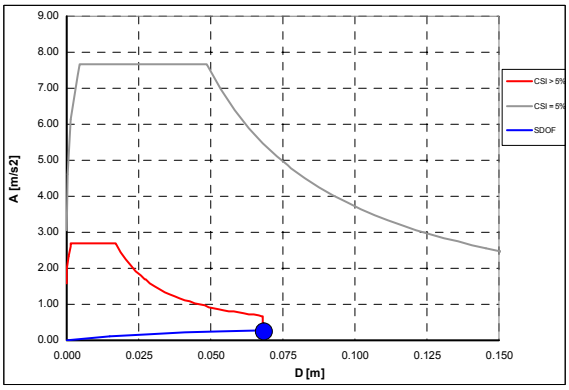
| PUSH Y VAR | | |
|---|---|---|
| STEP | SPOST | TAGLIO |
| [ ] | [m] | [KN] |
| 0 | 0.0009 | 0 |
| 1 | 0.0212 | 400 |
| 2 | 0.0398 | 656 |
| 3 | 0.0589 | 850 |
| 4 | 0.0769 | 975 |
| 5 | 0.0965 | 1083 |
| 6 | 0.1156 | 1175 |
| 7 | 0.1364 | 1263 |
| 8 | 0.1553 | 1332 |
| 9 | 0.1773 | 1399 |
| 10 | 0.1954 | 1450 |
| 11 | 0.2140 | 1497 |




| | | |
|---|---|---|
| **Fbu** | 1497 | KN |
| **du** | 0.214 | m |
| **Γy** | 1.44 | |
| **F*y** | 1042 | KN |
| **d*u** | 0.149 | m |
| **k*** | 11133 | KN/m |
| **d*y** | 0.094 | m |
| **m*** | 2740 | t |
| **T*** | 3.12 | s |

### *2.5.6.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari Stati Limite (Push n°4)*

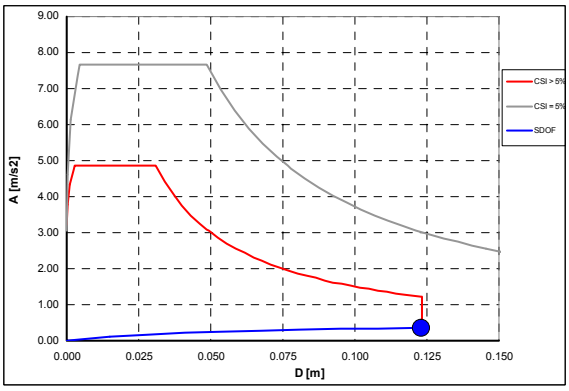
## ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA ALLO SNERVAMENTO




Viscosità equivalente = 17.4 %

Step 5 ⇒ **PGA = 1.594 m/s²**

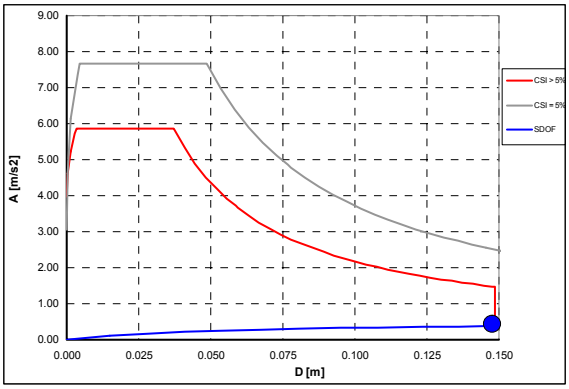
## ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA DI DANNO SEVERO




Viscosità equivalente = 22.4 %

Step 9 ⇒ **PGA = 3.225 m/s²**

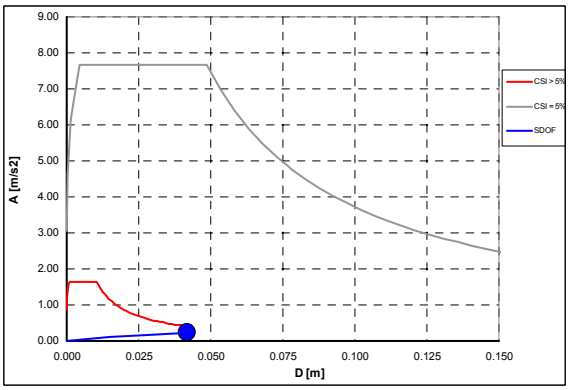
## ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA DI COLLASSO




Viscosità equivalente = 23.9 %

Step 11 ⇒ **PGA = 3.985 m/s$^2$**

## COLLASSO A TAGLIO




Viscosità equivalente = 12.0 %

Step 3 ⇒ **PGA = 0.858 m/s$^2$**

## RIEPILOGO

| | | | |
|---|---|---|---|
| Step 3 | ⇒ | **$PGA_{TAGLIO}$ = 0.858 m/s$^2$** | (collasso a taglio) |
| Step 5 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ Y}$ = 1.594m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |
| Step 9 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ DS}$ = 3.225 m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |
| Step 11 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ CO}$ = 3.985 m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |

## 2.6 CONCLUSIONI

I valori degli indicatori di rischio da inserire nelle schede di sintesi, risultano:

INDICATORE DI RISCHIO DI INAGIBILITA'

$$\alpha_e = \frac{PGA_{DL}}{PGA_{50\%}} = 1.300$$

INDICATORE DI RISCHIO DI COLLASSO 2

$$\alpha_{U2} = \frac{PGA_{DS}}{PGA_{10\%}} = 0.900$$

INDICATORE DI RISCHIO DI COLLASSO 1

$$\alpha_{U1} = \frac{PGA_{CO}}{PGA_{2\%}} = 0.112$$

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva con i risultati dei quattro casi sopra descritti:

| **RIEPILOGO INDICATORI DI RISCHIO SETTORE A - C** | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **MODELLI** | | **Distribuzione triangolare** | | | | **Distribuzione uniforme** | | | |
| | | **Direzione X** | | **Direzione Y** | | **Direzione X** | | **Direzione Y** | |
| **STATO LIMITE** | **PGA Rif.** | **PGA Analisi** | **α** | **PGA Analisi** | **α** | **PGA Analisi** | **α** | **PGA Analisi** | **α** |
| Danno lieve rotazione alla corda | 1.226 | 1.717 | **1.400** | 1.594 | **1.300** | 1.717 | **1.400** | 1.619 | **1.321** |
| Danno severo rotazione alla corda | 3.066 | 2.980 | **0.972** | 3.225 | **1.052** | 2.882 | **0.940** | 2.759 | **0.900** |
| Collasso rotazione alla corda | 4.598 | 4.537 | **0.987** | 3.985 | **0.861** | 3.311 | **0.720** | 3.985 | **0.866** |
| Collasso nodo | 4.598 | - | **-** | - | **-** | - | **-** | - | **-** |
| Collasso taglio | 4.598 | - | **-** | 0.858 | **0.186** | 0.858 | **0.186** | 0.515 | **0.112** |

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva con i risultati dei quattro casi sopra descritti:

| **RIEPILOGO INDICATORI DI RISCHIO SETTORE A - C** | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **MODELLI** | | **Distribuzione triangolare** | | | | **Distribuzione uniforme** | | | |
| | | **Direzione X** | | **Direzione Y** | | **Direzione X** | | **Direzione Y** | |
| **STATO LIMITE** | **PGA Rif.** | **PGA Analisi** | **α** | **PGA Analisi** | **α** | **PGA Analisi** | **α** | **PGA Analisi** | **α** |
| Danno lieve rotazione alla corda | 1.716 | 1.717 | **1.000** | 1.594 | **0.928** | 1.717 | **1.000** | 1.619 | **0.944** |
| Danno severo rotazione alla corda | 4.292 | 2.980 | **0.694** | 3.225 | **0.751** | 2.882 | **0.671** | 2.759 | **0.643** |
| Collasso rotazione alla corda | 6.439 | 4.537 | **0.705** | 3.985 | **0.615** | 3.311 | **0.514** | 3.985 | **0.619** |
| Collasso nodo | 6.439 | - | **-** | - | **-** | - | **-** | - | **-** |
| Collasso taglio | 6.439 | - | **-** | 0.858 | **0.133** | 0.858 | **0.133** | 0.515 | **0.080** |

# 3. RELAZIONE DI CALCOLO CORPO B - ALA SUD

## 3.1 LIVELLO DI CONOSCENZA RAGGIUNTO

La determinazione del livello di conoscenza è necessaria per definire i parametri meccanici ed i fattori di confidenza (FC).
In relazione alla Tabella 11.1 della normativa di riferimento si specifica:
- **Geometria**: è stata ottenuta da disegni di carpenteria originali; è stato eseguito inoltre un rilievo visivo a campione.
- **Dettagli strutturali**: sono stati desunti dai disegni costruttivi completi e da **"limitate verifiche in situ"**.
- **Materiali**: sono state eseguite **"limitate prove in situ"**.

Considerato quanto sopra si conclude che il livello di conoscenza acquisito per l'edificio in oggetto è **LC2** che comporta un Fattore di Confidenza **FC = 1.2**.

## 3.2 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI ADOTTATE NELL'ANALISI

Sulla base delle prescrizioni progettuali, delle prove effettuate e considerato il fattore di confidenza **FC = 1.2**, si è scelto di adottare per i materiali le seguenti caratteristiche di calcolo:

- **CLS**

$f_c$ = 18 N/mm$^2$
E = 29300 N/mm$^2$
G = 11300 N/mm$^2$
$w_{CLS}$ = 25.0 kN/m$^3$

- **ACCIAIO (AQ50/60)**

$f_y$ = 295 N/mm$^2$

E = 206000 N/mm$^2$

G = 79000 N/mm$^2$

## 3.3 ANALISI DEI CARICHI

Per la valutazione dei carichi agenti sono stati adottati valori tradizionalmente riportati in letteratura.

### 3.3.1 Valutazione carico neve

E' stato considerato $\Rightarrow$ **$q_{neve}$ = 1.20 kN/m$^2$**

### 3.3.2 Solaio piani degenze [laterocemento 24+5]

**Permanenti:**

| | | |
|---|---|---|
| peso proprio solaio: | | = 3.20 kN/m$^2$ |
| sovracc. perm.: | | = 1.80 kN/m$^2$ |
| tramezzature: | | = 1.00 kN/m$^2$ |
| | **P** | **= 6.00 kN/m$^2$** |
| **Accidentale (ospedale):** | **Q** | **= 3.00 kN/m$^2$** |

### 3.3.3 Solaio piani degenze [laterocemento 20+4]

**Permanenti:**

| | | |
|---|---|---|
| peso proprio solaio: | | = 2.70 kN/m$^2$ |
| sovracc. perm.: | | = 1.80 kN/m$^2$ |
| tramezzature: | | = 1.00 kN/m$^2$ |
| | **P** | **= 5.50 kN/m$^2$** |
| **Accidentale (ospedale):** | **Q** | **= 3.00 kN/m$^2$** |

### 3.3.4 Solaio copertura [laterocemento 24+5]

**Permanenti:**

| | | |
|---|---|---|
| peso proprio solaio: | | = 3.20 kN/m$^2$ |
| sovracc. perm.: | | = 0.80 kN/m$^2$ |
| | **P** | **= 4.00 kN/m$^2$** |
| **Accidentale (neve):** | **Q** | **= 1.20 kN/m$^2$** |

### 3.3.5 Scala [soletta in c.a.]

**Permanenti:**

| | | |
|---|---|---|
| peso proprio: | | = 6.50 kN/m$^2$ |
| sovracc. perm.: | | = 1.50 kN/m$^2$ |
| | **P** | **= 8.00 kN/m$^2$** |
| **Accidentale (scale):** | **Q** | **= 4.00 kN/m$^2$** |

### 3.3.6 Tamponatura perimetrale

**Permanenti:**

| | | |
|---|---|---|
| muratura a doppio intonaco: | | = 3.00 kN/m$^2$ |
| | **P** | **= 3.00 kN/m$^2$** |

**N.B.** Per le pareti finestrate sono state valutate opportune riduzioni del carico dovuto alle tamponature.

## 3.4 MODELLO STRUTTURALE

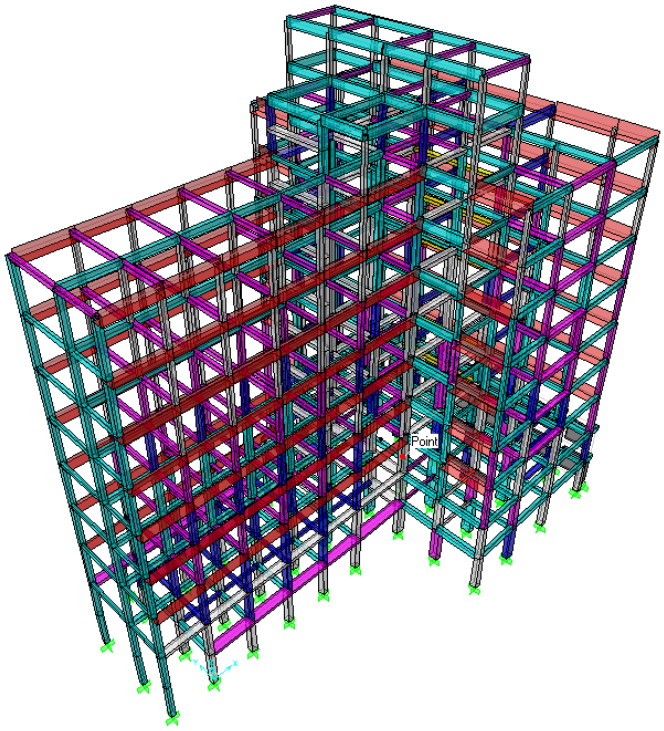
Il modello di calcolo utilizzato è di tipo tridimensionale ed è stato costruito adottando elementi di tipo "frame" per la schematizzazione degli elementi snelli (travi e pilastri). Le pareti di contenimento al piano seminterrato è stata invece modellato con elementi bidimensionali di tipo "shell".

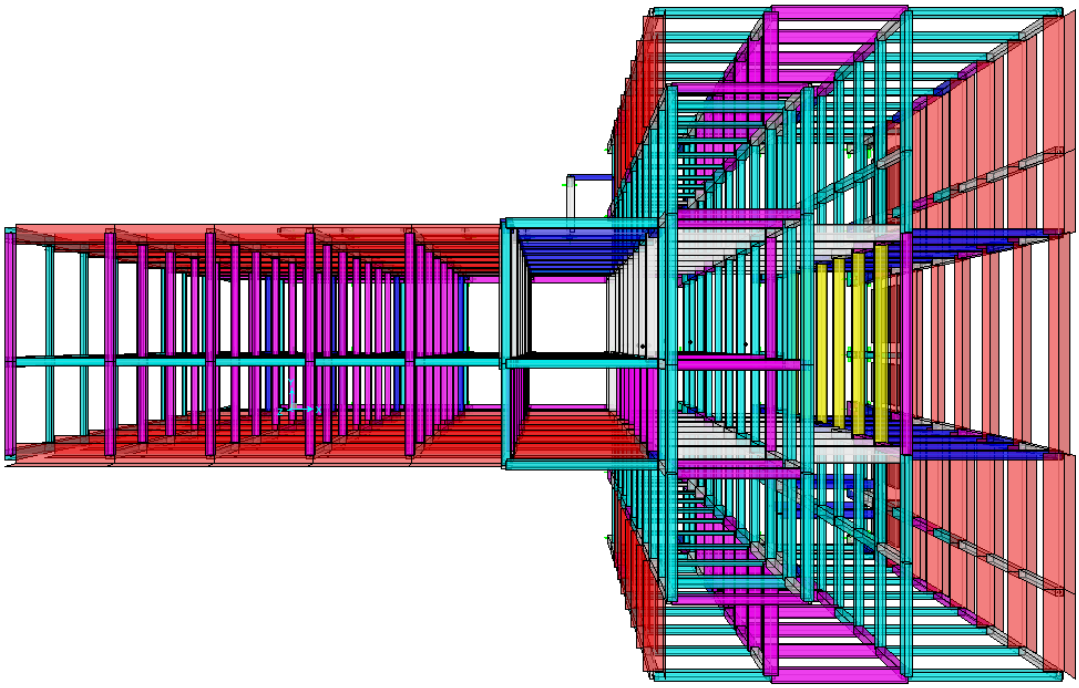
### 3.4.1 Dettagli sulla modellazione

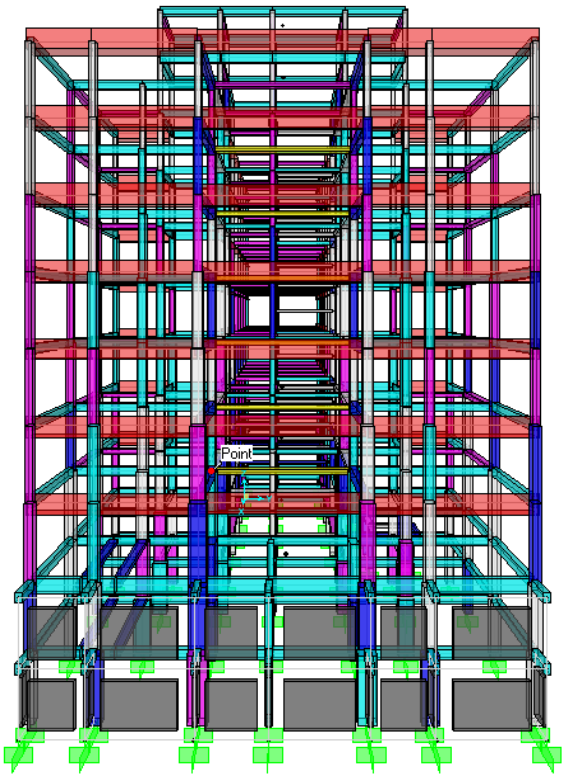
Nella modellazione della struttura sono stati utilizzati i seguenti accorgimenti:

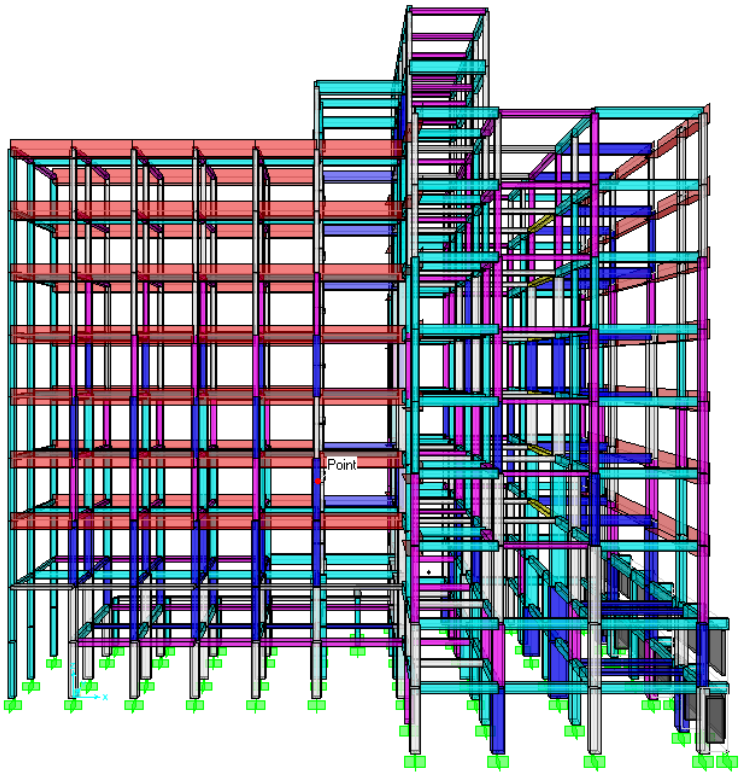
- Tutti gli impalcati sono stati considerati infinitamente rigidi nel loro piano essendo costituiti da solai in laterocemento con getto di soletta di completamento.
- I pilastri del primo ordine sono stati considerati incastrati a terra.
- Ove ritenuto necessario sono stati inseriti degli elementi infinitamente rigidi ("braccetti rigidi") al fine di riprodurre in maniera più accurata la presenza di nodi di grandi dimensioni e quindi di elementi tozzi.
- Le rigidezze a taglio e flessionali degli elementi trave sono state ridotte al 50% (come consigliato dalla normativa di riferimento) al fine di tenere in considerazione l'effetto della fessurazione delle sezioni in C.A. sottoposte a notevoli curvature; le rigidezze dei pilastri, in virtù dello sforzo assiale presente, non sono invece state abbattute.
- Per le zone degli elementi strutturali ove è possibile che abbiano luogo fenomeni di escursione in campo post-elastico, sono state adottate opportune leggi di comportamento (cerniere plastiche o plastic hinges) in grado di riprodurre il comportamento della sezione in campo non-lineare nei confronti di varie caratteristiche di sollecitazione (solitamente momento flettente e taglio).
- Le cerniere plastiche dei pilastri sono state valutate tenendo in considerazione lo sforzo assiale presente in condizioni statiche, essendo quest'ultimo un fattore in grado di influenzare fortemente la capacità di rotazione delle stesse.

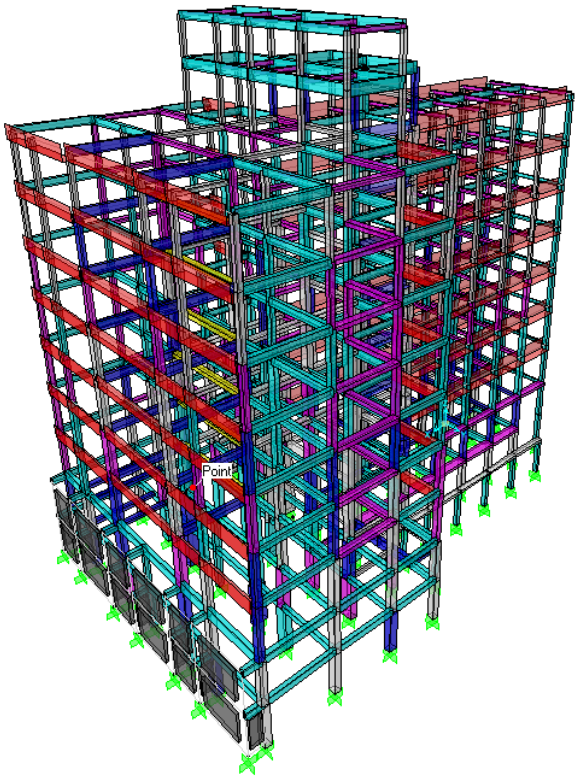
⇒ **Immagini modello 3D**



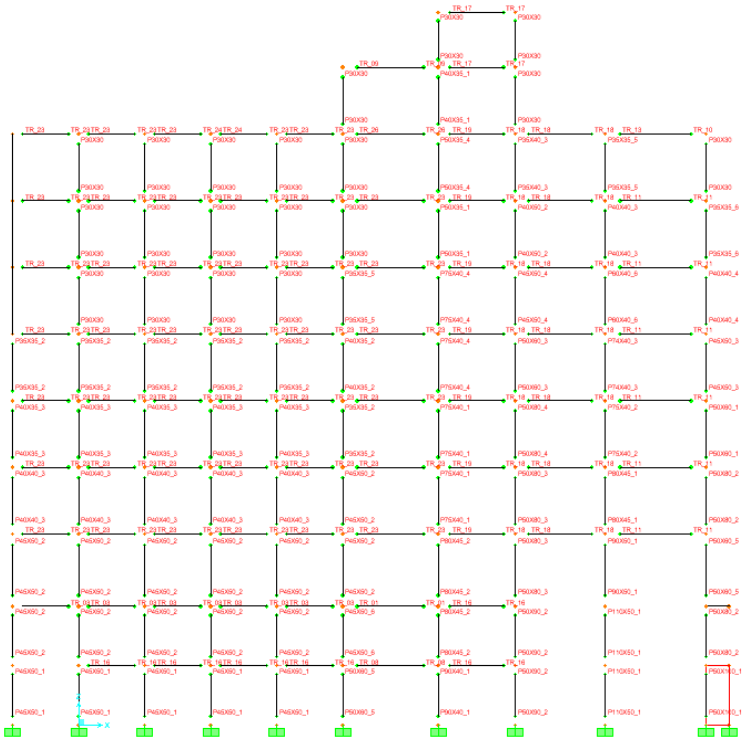



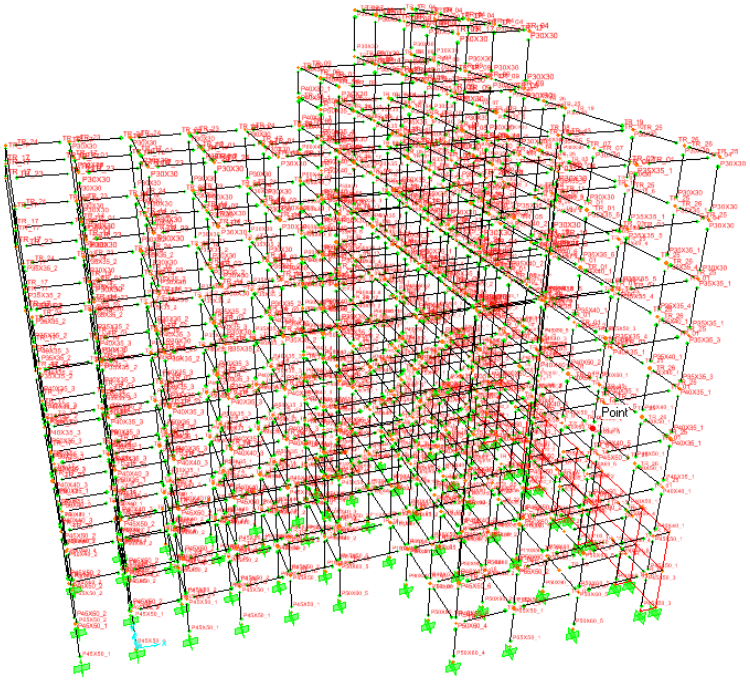

Point


Point


Point

## ⇒ Posizionamento delle cerniere plastiche






## 3.5 RISULTATI DELLE ELABORAZIONI

### 3.5.1 Analisi modale

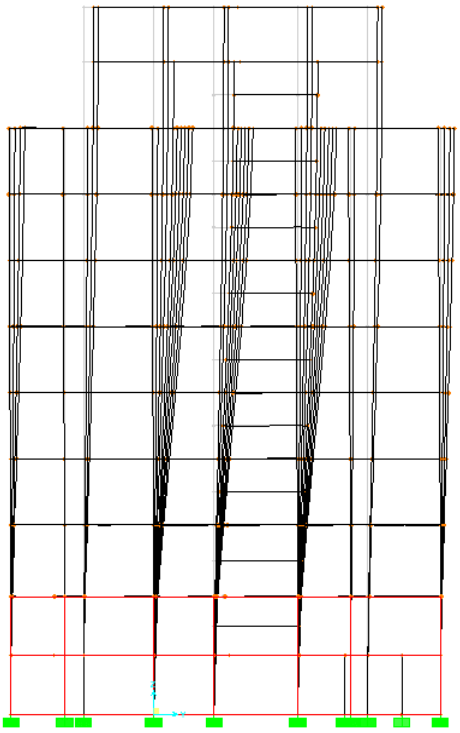
Di seguito si riportano i principali risultati dell'analisi modale (elastica) condotta sulla struttura ed alcune immagini relative ai modi principali.

**TABLE: Modal Participating Mass Ratios**

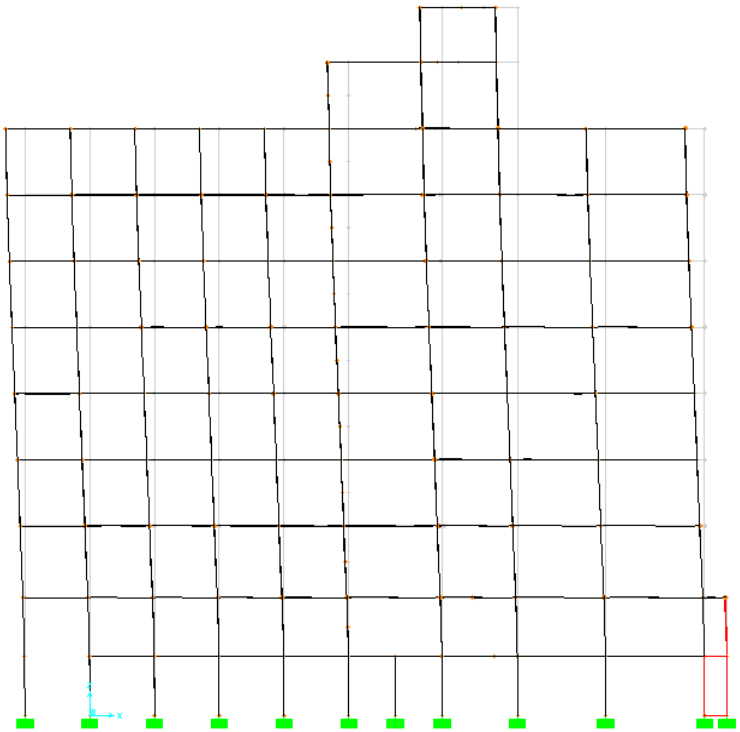
| OutputCase | StepType | StepNum | Period | UX | UY | RZ | SumUX | SumUY | SumRZ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Text | Text | Unitless | Sec | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless |
| AnalisiModale | Mode | 1 | 2.64 | 0.00 | 0.37 | 0.35 | 0.00 | 0.37 | 0.35 |
| AnalisiModale | Mode | 2 | 1.74 | 0.69 | 0.00 | 0.00 | 0.69 | 0.37 | 0.35 |
| AnalisiModale | Mode | 3 | 1.39 | 0.00 | 0.27 | 0.26 | 0.69 | 0.64 | 0.61 |
| AnalisiModale | Mode | 4 | 0.93 | 0.00 | 0.06 | 0.05 | 0.69 | 0.70 | 0.66 |
| AnalisiModale | Mode | 5 | 0.68 | 0.10 | 0.00 | 0.00 | 0.79 | 0.70 | 0.66 |
| AnalisiModale | Mode | 6 | 0.59 | 0.00 | 0.03 | 0.05 | 0.79 | 0.73 | 0.71 |
| AnalisiModale | Mode | 7 | 0.54 | 0.00 | 0.03 | 0.01 | 0.79 | 0.76 | 0.72 |
| AnalisiModale | Mode | 8 | 0.46 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.82 | 0.76 | 0.72 |
| AnalisiModale | Mode | 9 | 0.44 | 0.00 | 0.02 | 0.02 | 0.82 | 0.78 | 0.73 |
| AnalisiModale | Mode | 10 | 0.38 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.82 | 0.79 | 0.76 |
| AnalisiModale | Mode | 11 | 0.33 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.83 | 0.80 | 0.76 |
| AnalisiModale | Mode | 12 | 0.33 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.85 | 0.81 | 0.76 |
| AnalisiModale | Mode | 13 | 0.28 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.85 | 0.81 | 0.78 |
| AnalisiModale | Mode | 14 | 0.25 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.85 | 0.83 | 0.78 |
| AnalisiModale | Mode | 15 | 0.24 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.86 | 0.83 | 0.78 |
| AnalisiModale | Mode | 16 | 0.21 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.86 | 0.83 | 0.79 |
| AnalisiModale | Mode | 17 | 0.21 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.87 | 0.83 | 0.79 |
| AnalisiModale | Mode | 18 | 0.20 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.87 | 0.85 | 0.80 |
| AnalisiModale | Mode | 19 | 0.19 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.87 | 0.85 | 0.80 |
| AnalisiModale | Mode | 20 | 0.18 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.87 | 0.85 | 0.80 |
| AnalisiModale | Mode | 21 | 0.17 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.89 | 0.85 | 0.80 |
| AnalisiModale | Mode | 22 | 0.17 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.89 | 0.86 | 0.81 |
| AnalisiModale | Mode | 23 | 0.16 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.89 | 0.86 | 0.81 |
| AnalisiModale | Mode | 24 | 0.14 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.89 | 0.86 | 0.81 |
| AnalisiModale | Mode | 25 | 0.14 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.91 | 0.86 | 0.81 |
| AnalisiModale | Mode | 26 | 0.14 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.91 | 0.86 | 0.81 |
| AnalisiModale | Mode | 27 | 0.13 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.91 | 0.86 | 0.81 |

Si riportano di seguito le deformate corrispondenti ai primi tre modi della struttura:

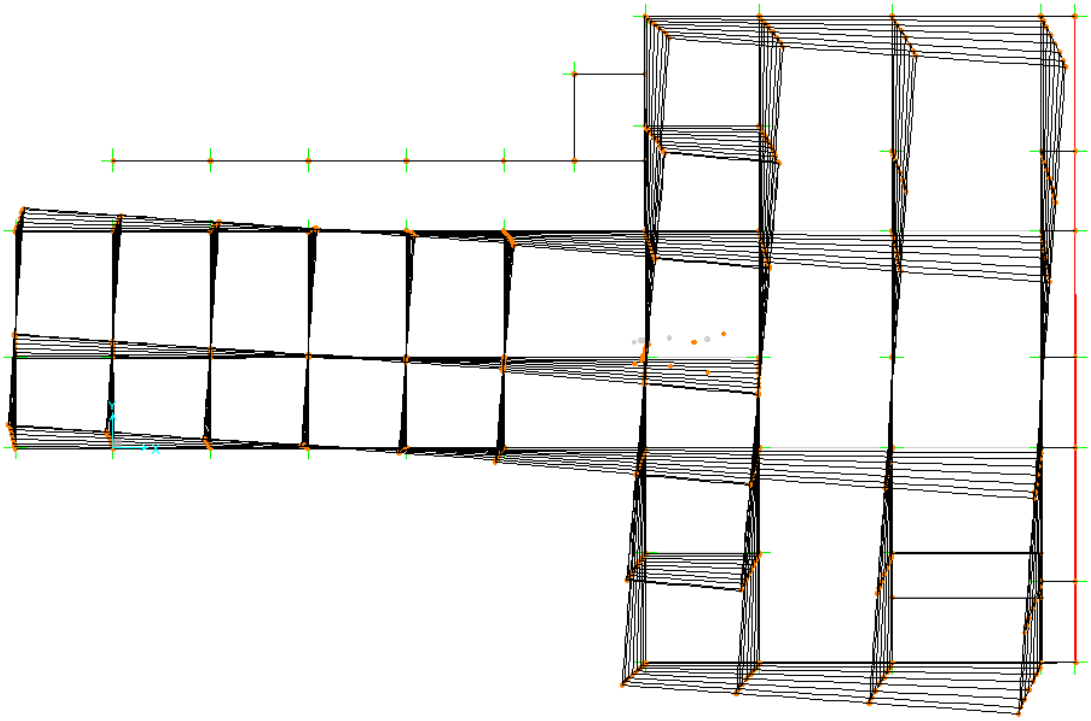
⇒ **Modo 1 – T = 2.64 s (traslazionale lungo Y)**



⇒ **Modo 2 – T = 1.74 s (traslazionale lungo X)**



⇒ **Modo 3 – T = 1.39 s (rotazionale attorno Z)**



### 3.5.2 Analisi statica non lineare (Pushover)

Di seguito si riportano:

- gli autovettori (deformate modali) per i modi traslazionali 1 e 3;
- gli autovettori normalizzati allo spostamento del centro di massa del 7° livello;
- le masse assemblate ai baricentri dei vari piani
- i fattori di partecipazione modale.

**1° MODO DIR X** (modo 2)

**Autovettore nodi MASSA - comp X**

| | |
|---|---|
| $\phi_1$ | -0.0003 |
| $\phi_2$ | -0.0018 |
| $\phi_3$ | -0.0046 |
| $\phi_4$ | -0.0071 |
| $\phi_5$ | -0.0096 |
| $\phi_6$ | -0.0122 |
| $\phi_7$ | -0.0146 |
| $\phi_8$ | -0.0167 |
| $\phi_9$ | -0.0181 |
| $\phi_{10}$ | -0.0197 |
| $\phi_{11}$ | -0.0207 |

**Autovettore nodi MASSA - comp X (normalizzato)**

| | |
|---|---|
| $\phi_{1,norm}$ | 0.017 |
| $\phi_{2,norm}$ | 0.100 |
| $\phi_{3,norm}$ | 0.254 |
| $\phi_{4,norm}$ | 0.389 |
| $\phi_{5,norm}$ | 0.529 |
| $\phi_{6,norm}$ | 0.672 |
| $\phi_{7,norm}$ | 0.804 |
| $\phi_{8,norm}$ | 0.922 |
| $\phi_{9,norm}$ | 1.000 |
| $\phi_{10,norm}$ | 1.088 |
| $\phi_{11,norm}$ | 1.142 |

**MASSE traslazionali X**

| | | |
|---|---|---|
| $M_1$ | 987 | t |
| $M_2$ | 877 | t |
| $M_3$ | 901 | t |
| $M_4$ | 871 | t |
| $M_5$ | 855 | t |
| $M_6$ | 831 | t |
| $M_7$ | 813 | t |
| $M_8$ | 800 | t |
| $M_9$ | 585 | t |
| $M_{10}$ | 207 | t |
| $M_{11}$ | 94 | t |

**COEFFICIENTE DI PARTECIPAZIONE**

**$\Gamma x$** **1.34**

**$\Sigma mi*\phi i$** **3993** t

**1° MODO DIR Y** (modo 1)

**Autovettore nodi MASSA - comp Y**

| | |
|---|---|
| $\phi_1$ | 0.0002 |
| $\phi_2$ | 0.0012 |
| $\phi_3$ | 0.0034 |
| $\phi_4$ | 0.0053 |
| $\phi_5$ | 0.0072 |
| $\phi_6$ | 0.0091 |
| $\phi_7$ | 0.0108 |
| $\phi_8$ | 0.0122 |
| $\phi_9$ | 0.0133 |
| $\phi_{10}$ | 0.0125 |
| $\phi_{11}$ | 0.0112 |

**Autovettore nodi MASSA - comp Y (normalizzato)**

| | |
|---|---|
| $\phi_{1,norm}$ | 0.018 |
| $\phi_{2,norm}$ | 0.090 |
| $\phi_{3,norm}$ | 0.253 |
| $\phi_{4,norm}$ | 0.399 |
| $\phi_{5,norm}$ | 0.544 |
| $\phi_{6,norm}$ | 0.684 |
| $\phi_{7,norm}$ | 0.813 |
| $\phi_{8,norm}$ | 0.916 |
| $\phi_{9,norm}$ | 1.000 |
| $\phi_{10,norm}$ | 0.940 |
| $\phi_{11,norm}$ | 0.842 |

**MASSE traslazionali Y**

| | | |
|---|---|---|
| $M_1$ | 987 | t |
| $M_2$ | 877 | t |
| $M_3$ | 901 | t |
| $M_4$ | 871 | t |
| $M_5$ | 855 | t |
| $M_6$ | 831 | t |
| $M_7$ | 813 | t |
| $M_8$ | 800 | t |
| $M_9$ | 585 | t |
| $M_{10}$ | 207 | t |
| $M_{11}$ | 94 | t |

**COEFFICIENTE DI PARTECIPAZIONE**

**$\Gamma y$** **1.37**

**$\Sigma mi*\phi i$** **3959** t

I due sistemi di forze sono di seguito riportati:

| SISTEMI DI FORZE DIR X | | | SISTEMI DI FORZE DIR Y | |
|---|---|---|---|---|
| 990 | 20 | $M_1$ | 990 | 20 |
| 880 | 90 | $M_2$ | 880 | 80 |
| 900 | 230 | $M_3$ | 900 | 230 |
| 870 | 340 | $M_4$ | 870 | 350 |
| 860 | 450 | $M_5$ | 860 | 470 |
| 830 | 560 | $M_6$ | 830 | 570 |
| 810 | 650 | $M_7$ | 810 | 660 |
| 800 | 740 | $M_8$ | 800 | 730 |
| 590 | 590 | $M_9$ | 590 | 590 |
| 210 | 230 | $M_{10}$ | 210 | 190 |
| 90 | 110 | $M_{11}$ | 90 | 80 |

Sulla struttura in oggetto sono state quindi eseguite le seguenti analisi pushover:

1. Pushover n.1 - Direzione X Sistema di forze Tipo 1
2. Pushover n.2 - Direzione X Sistema di forze Tipo 2
3. Pushover n.3 - Direzione Y Sistema di forze Tipo 1
4. Pushover n.4 - Direzione Y Sistema di forze Tipo 2

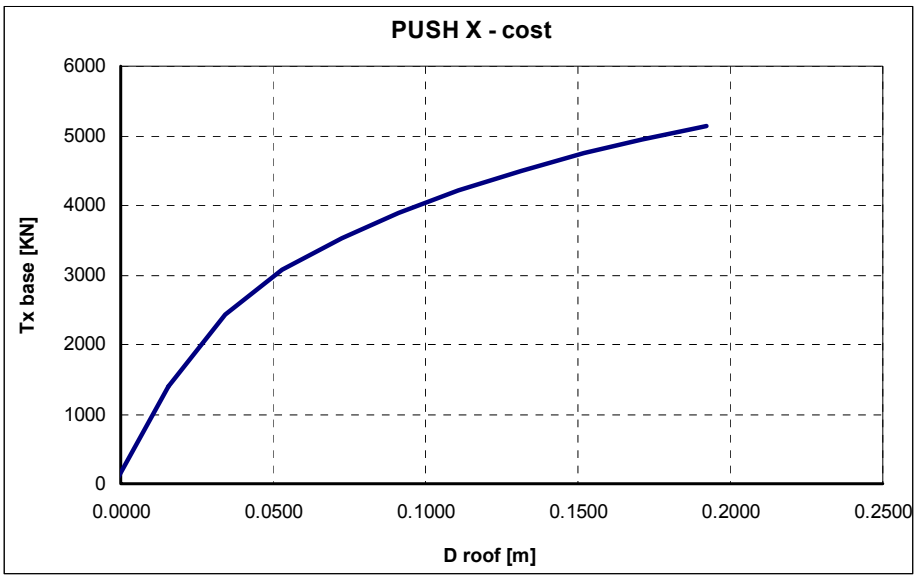
Di seguito si riportano le Curve di Push, le Curve di Capacità e le relative conversioni nel sistema elasto-plastico equivalente.

### 3.5.3 Pushover n°1

Pushover in direzione X con applicato alla struttura il sistema di forze Tipo 1.

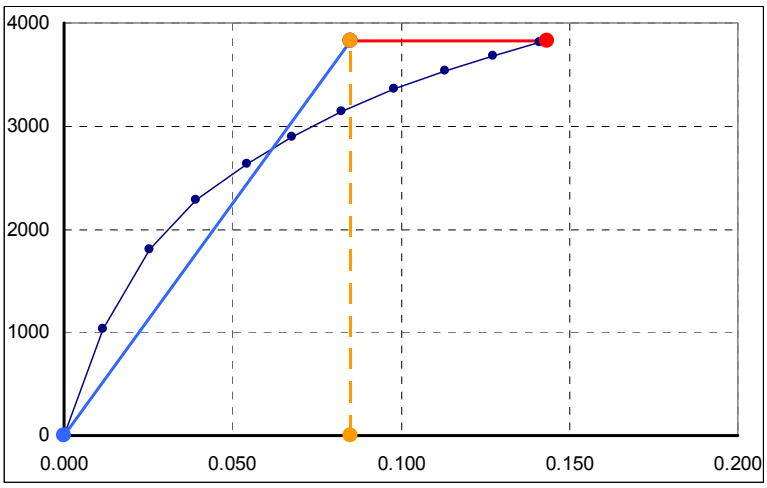
#### *3.5.3.1 Curva di push*

Si riporta la curva di push in termini di taglio totale alla base nella direzione considerata e spostamento del baricentro del 9°piano ($T_{base}$ – $D_{roof}$).




### *3.5.3.2 Curva di capacità e sistema SDOF bilineare equivalente*

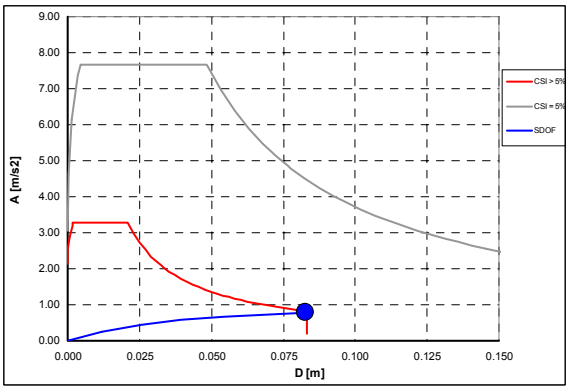
| PUSH X COST | | |
|---|---|---|
| STEP | SPOST | TAGLIO |
| [ ] | [m] | [KN] |
| 0 | -0.0022 | 0 |
| 1 | 0.0158 | 1396 |
| 2 | 0.0344 | 2431 |
| 3 | 0.0528 | 3067 |
| 4 | 0.0727 | 3531 |
| 5 | 0.0912 | 3892 |
| 6 | 0.1106 | 4216 |
| 7 | 0.1316 | 4505 |
| 8 | 0.1520 | 4748 |
| 9 | 0.1713 | 4945 |
| 10 | 0.1898 | 5121 |
| 11 | 0.1924 | 5143 |




| | | |
|---|---|---|
| **Fbu** | 5143 | KN |
| **du** | 0.192 | m |
| **Γx** | 1.34 | |
| **F*y** | 3829 | KN |
| **d*u** | 0.143 | m |
| **k*** | 45071 | KN/m |
| **d*y** | 0.085 | m |
| **m*** | 3993 | t |
| **T*** | 1.87 | s |

### *3.5.3.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari Stati Limite (Push n°1)*

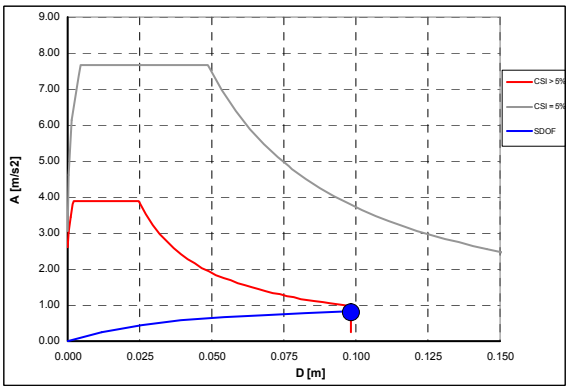
## ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA ALLO SNERVAMENTO




Viscosità equivalente = 21.8%

Step 6 ⇒ **PGA = 2.146 m/s²**

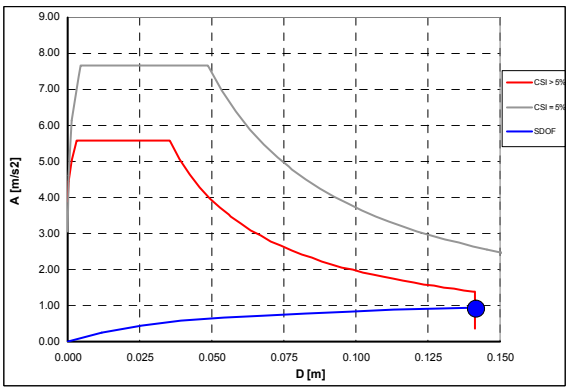
## ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA DI DANNO SEVERO




Viscosità equivalente = 25.6%

Step 7 ⇒ **PGA = 2.600 m/s²**

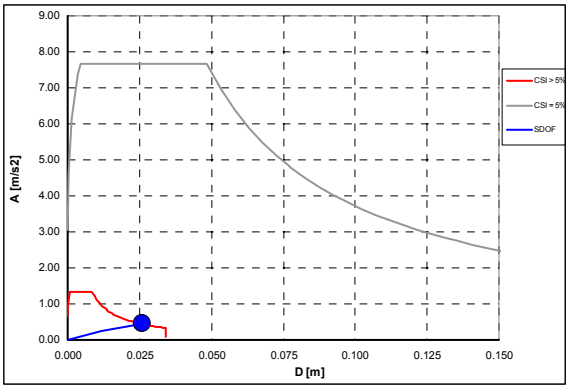
## ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA DI COLLASSO




Viscosità equivalente = 25.6%

Step 10 ⇒ **PGA = 3.899 m/s$^2$**

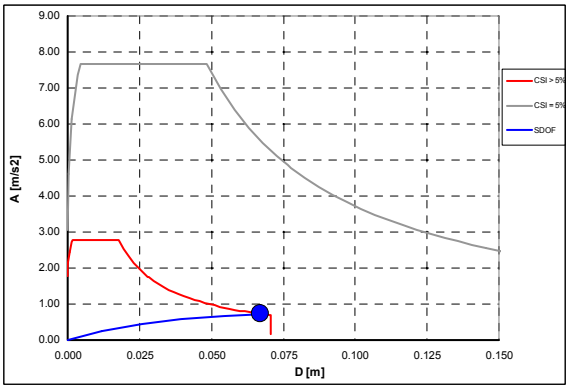
## COLLASSO A TAGLIO




Viscosità equivalente = 10.8%

Step 2 ⇒ **PGA = 0.674 m/s$^2$**

## COLLASSO DI UN NODO




Viscosità equivalente = 20.5%

Step 5 ⇒ **PGA = 1.778 m/s$^2$**

**RIEPILOGO**

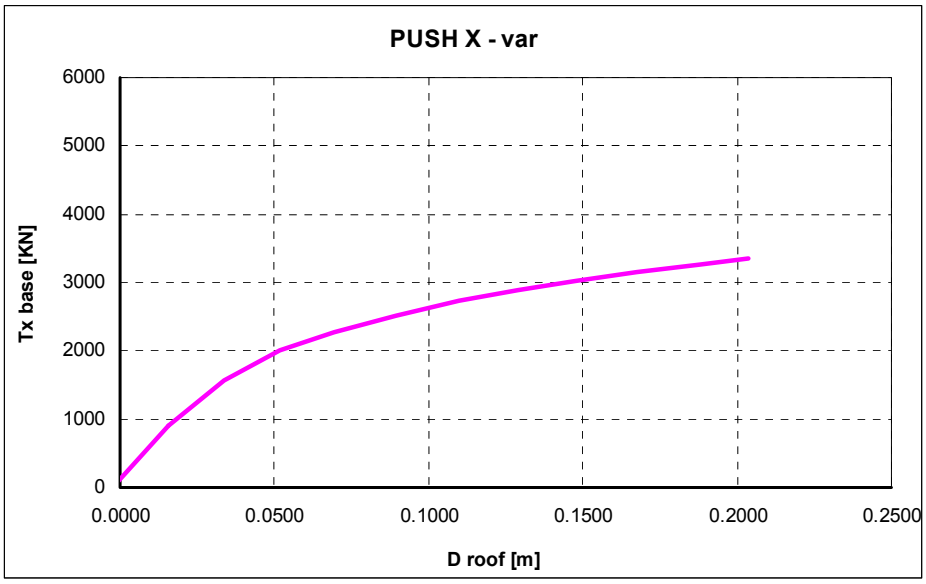
| | | | |
|---|---|---|---|
| Step 2 | ⇒ | **$PGA_{TAGLIO}$ = 0.674 m/s$^2$** | (collasso a taglio) |
| Step 6 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ Y}$ = 2.146 m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |
| Step 5 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ DS}$ = 1.778 m/s$^2$** | (collasso di un nodo) |
| Step 7 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ DS}$ = 2.600 m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |
| Step 10 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ CO}$ = 3.899 m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |

### 3.5.4 Pushover n°2

Pushover in direzione X con applicato alla struttura il sistema di forze Tipo 2.

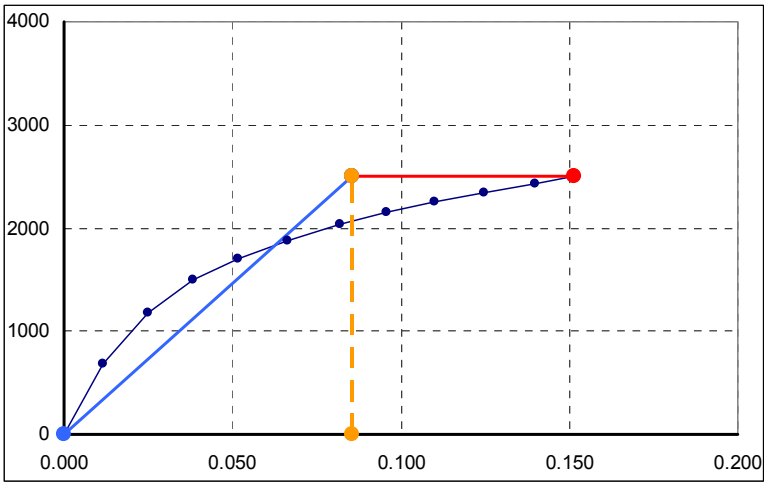
#### *3.5.4.1 Curva di push*

Si riporta la curva di push in termini di taglio totale alla base nella direzione considerata e spostamento del baricentro del 9°piano ($T_{base}$ – $D_{roof}$).



### *3.5.4.2 Curva di capacità e sistema SDOF bilineare equivalente*

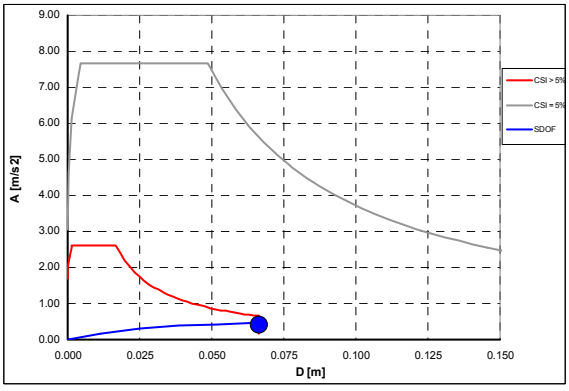
| STEP [ ] | PUSH X VAR SPOST [m] | TAGLIO [KN] |
|---|---|---|
| 0 | -0.0022 | 0 |
| 1 | 0.0156 | 914 |
| 2 | 0.0335 | 1574 |
| 3 | 0.0516 | 2018 |
| 4 | 0.0694 | 2279 |
| 5 | 0.0893 | 2515 |
| 6 | 0.1101 | 2730 |
| 7 | 0.1288 | 2894 |
| 8 | 0.1476 | 3028 |
| 9 | 0.1675 | 3155 |
| 10 | 0.1879 | 3271 |
| 11 | 0.2035 | 3352 |




| | | |
|---|---|---|
| **Fbu** | 3352 | KN |
| **du** | 0.204 | m |
| **Γx** | 1.34 | |
| **F*y** | 2496 | KN |
| **d*u** | 0.152 | m |
| **k*** | 29137 | KN/m |
| **d*y** | 0.086 | m |
| **m*** | 3993 | t |
| **T*** | 2.33 | s |

### *3.5.4.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari Stati Limite (Push n°2)*

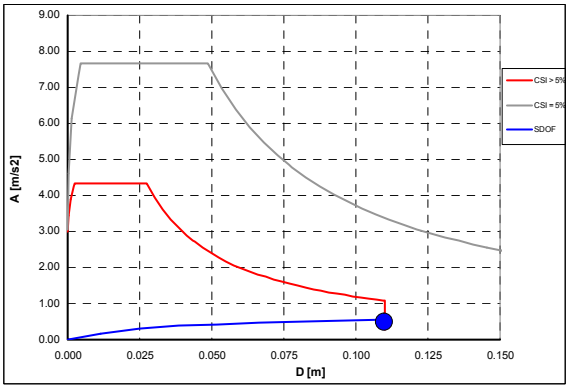
**ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA ALLO SNERVAMENTO**




Viscosità equivalente = 21.1%

Step 5 ⇒ **PGA = 1.692 m/s$^2$**

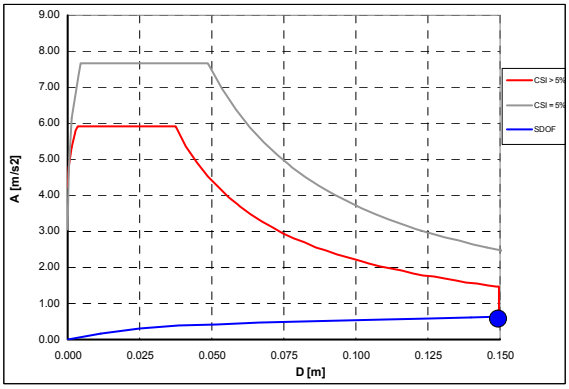
## ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA DI DANNO SEVERO




Viscosità equivalente = 24.9%

Step 8 ⇒ **PGA = 3.004 m/s$^2$**

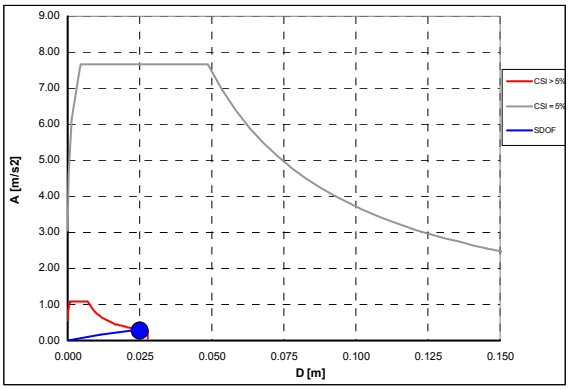
## ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA DI COLLASSO




Viscosità equivalente = 27.1%

Step 11 ⇒ **PGA = 4.231 m/s$^2$**

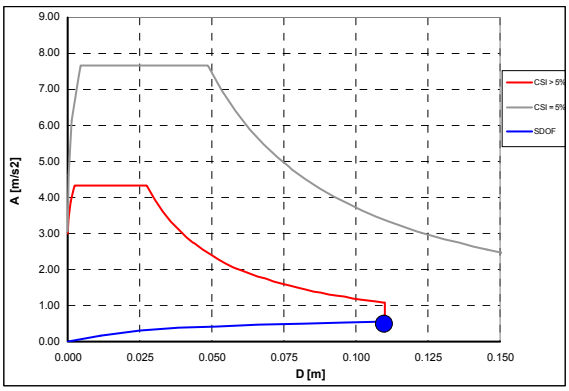
## COLLASSO A TAGLIO




Viscosità equivalente = 10.9%

Step 2 ⇒ **PGA = 0.552 m/s$^2$**

**COLLASSO DI UN NODO**




Viscosità equivalente = 24.9%

Step 8 ⇒ **PGA = 3.004 m/s$^2$**

**RIEPILOGO**

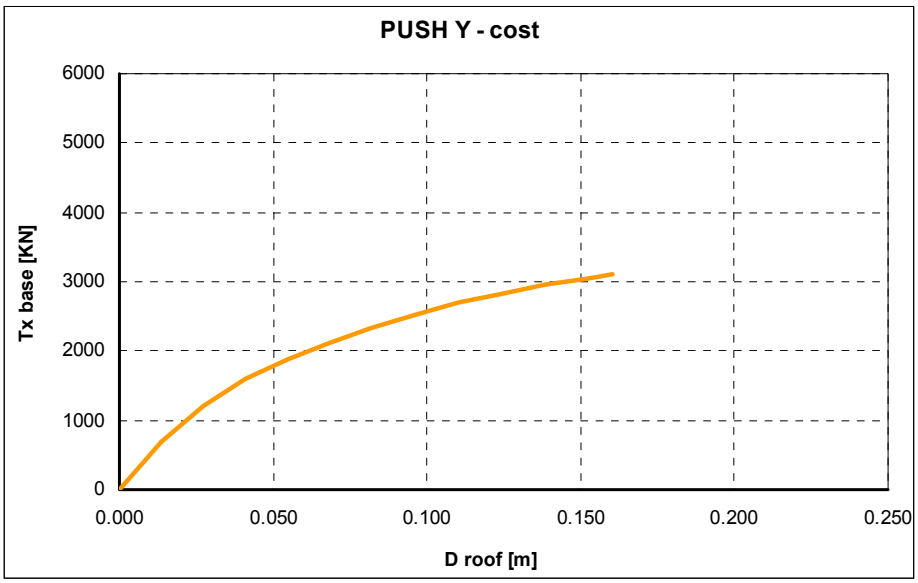
| | | | |
|---|---|---|---|
| Step 2 | ⇒ | **$PGA_{TAGLIO}$ = 0.552 m/s$^2$** | (collasso a taglio) |
| Step 5 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ Y}$ = 1.692 m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |
| Step 8 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ DS}$ = 3.004 m/s$^2$** | (collasso di un nodo) |
| Step 8 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ DS}$ = 3.004 m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |
| Step 11 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ CO}$ = 4.231 m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |

### 3.5.5 Pushover n°3

Pushover in direzione Y con applicato alla struttura il sistema di forze Tipo 1.

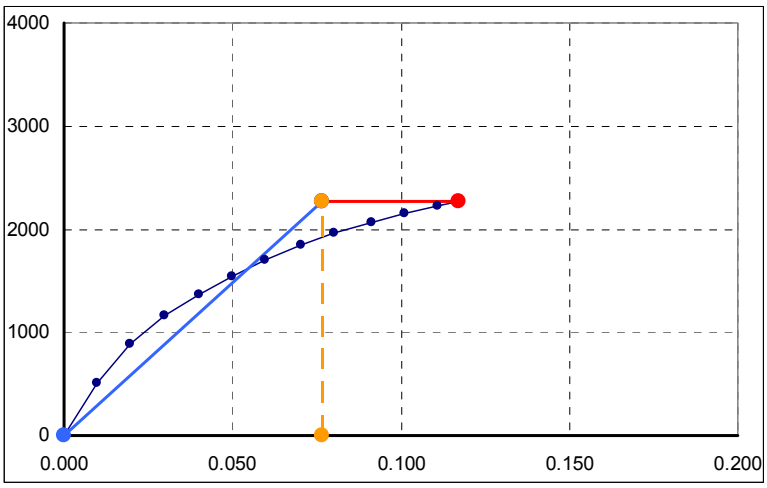
#### *3.5.5.1 Curva di push*

Si riporta la curva di push in termini di taglio totale alla base nella direzione considerata e spostamento del baricentro del 9°piano ($T_{base}$ – $D_{roof}$).




### *3.5.5.2 Curva di capacità e sistema SDOF bilineare equivalente*

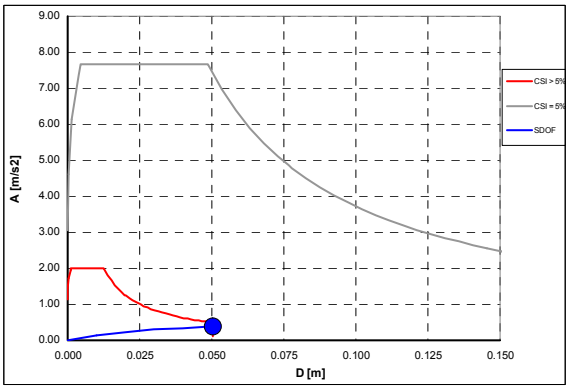
| PUSH Y COST | | |
|---|---|---|
| STEP | SPOST | TAGLIO |
| [ ] | [m] | [KN] |
| 0 | 0.0002 | 0 |
| 1 | 0.0136 | 690 |
| 2 | 0.0271 | 1217 |
| 3 | 0.0410 | 1591 |
| 4 | 0.0548 | 1879 |
| 5 | 0.0681 | 2116 |
| 6 | 0.0818 | 2326 |
| 7 | 0.0966 | 2529 |
| 8 | 0.1101 | 2688 |
| 9 | 0.1249 | 2838 |
| 10 | 0.1384 | 2959 |
| 11 | 0.1520 | 3046 |
| 12 | 0.1602 | 3110 |




| | | |
|---|---|---|
| **Fbu** | 3110 | KN |
| **du** | 0.160 | m |
| **Γy** | 1.37 | |
| **F*y** | 2271 | KN |
| **d*u** | 0.117 | m |
| **k*** | 29672 | KN/m |
| **d*y** | 0.077 | m |
| **m*** | 3959 | t |
| **T*** | 2.30 | s |

### *3.5.5.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari Stati Limite (Push n°3)*

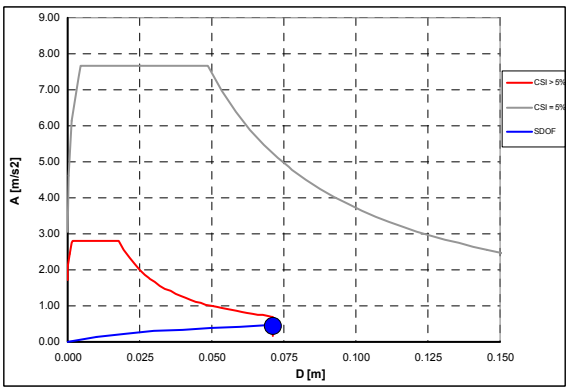
## ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA ALLO SNERVAMENTO




Viscosità equivalente = 16.0%

Step 5 ⇒ **PGA = 1.165 m/s²**

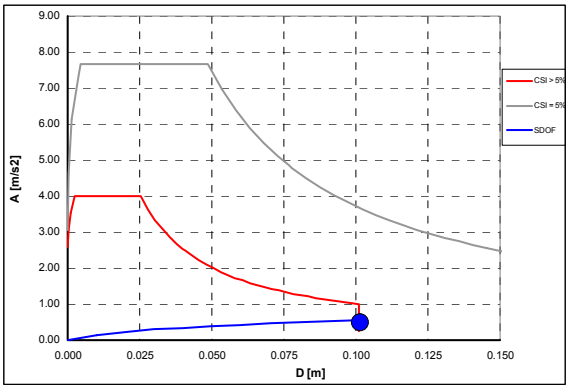
## ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA DI DANNO SEVERO




Viscosità equivalente = 18.3%

Step 7 ⇒ **PGA = 1.717 m/s²**

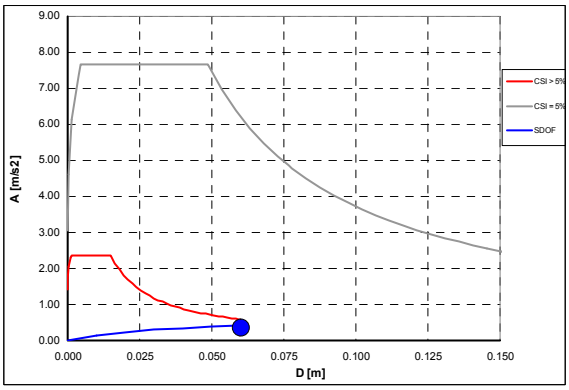
## ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA DI COLLASSO




Viscosità equivalente = 21.0%

Step 10 ⇒ **PGA = 2.575 m/s$^2$**

## COLLASSO A TAGLIO




Viscosità equivalente = 17.3%

Step 6 ⇒ **PGA = 1.410 m/s$^2$**

## RIEPILOGO

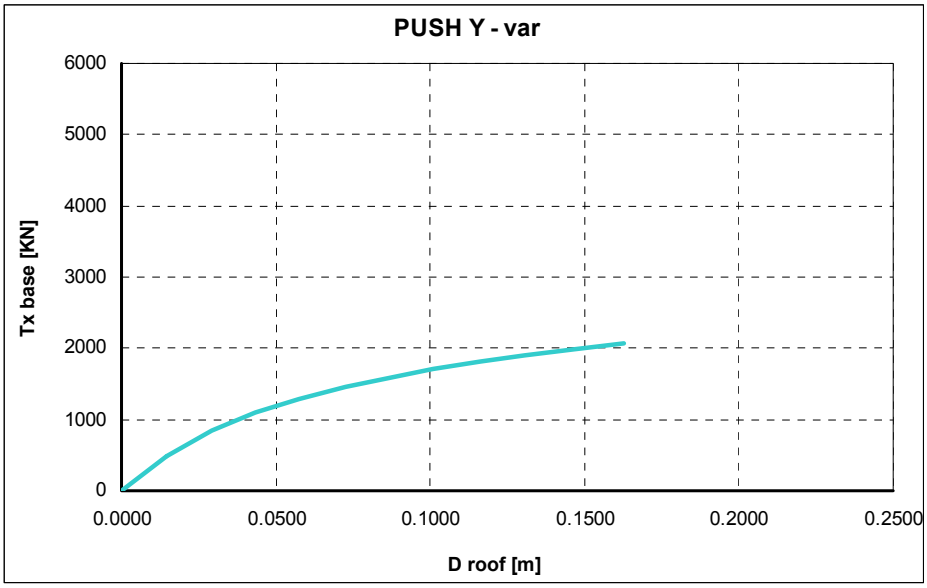
| | | | |
|---|---|---|---|
| Step 5 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ Y}$ = 1.165 m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |
| Step 6 | ⇒ | **$PGA_{TAGLIO}$ = 1.410 m/s$^2$** | (collasso a taglio) |
| Step 7 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ DS}$ = 1.717 m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |
| Step 10 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ CO}$ = 2.575 m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |

### 3.5.6 Pushover n°4

Pushover in direzione Y con applicato alla struttura il sistema di forze Tipo 2.

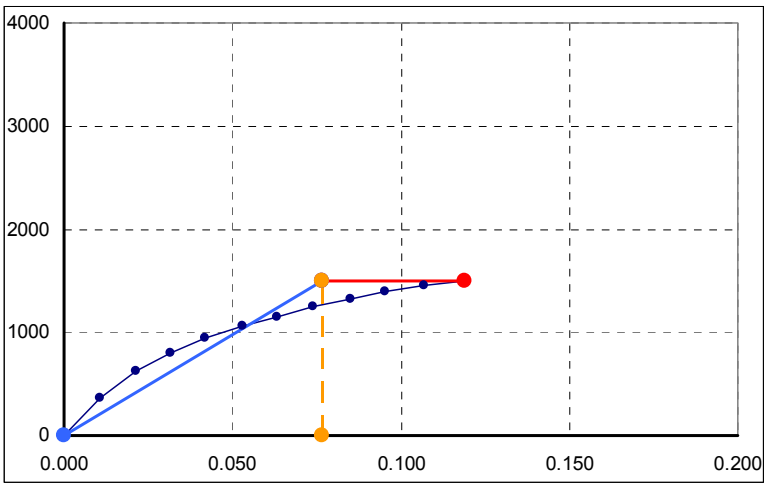
#### *3.5.6.1 Curva di push*

Si riporta la curva di push in termini di taglio totale alla base nella direzione considerata e spostamento del baricentro del 9°piano ($T_{base}$ – $D_{roof}$).




#### *3.5.6.2 Curva di capacità e sistema SDOF bilineare equivalente*

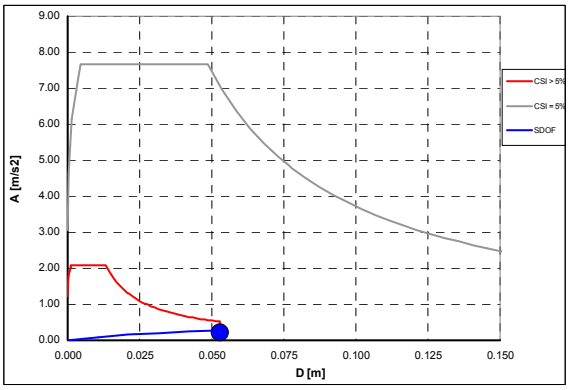
| | PUSH Y VAR | |
|---|---|---|
| STEP | SPOST | TAGLIO |
| [ ] | [m] | [KN] |
| 0 | 0.0002 | 0 |
| 1 | 0.0148 | 496 |
| 2 | 0.0291 | 853 |
| 3 | 0.0434 | 1100 |
| 4 | 0.0576 | 1286 |
| 5 | 0.0725 | 1448 |
| 6 | 0.0868 | 1583 |
| 7 | 0.1010 | 1704 |
| 8 | 0.1163 | 1819 |
| 9 | 0.1308 | 1910 |
| 10 | 0.1467 | 1996 |
| 11 | 0.1626 | 2061 |




| | | |
|---|---|---|
| **Fbu** | 2061 | KN |
| **du** | 0.163 | m |
| **Γy** | 1.37 | |
| **F*y** | 1505 | KN |
| **d*u** | 0.119 | m |
| **k*** | 19619 | KN/m |
| **d*y** | 0.077 | m |
| **m*** | 3959 | t |
| **T*** | 2.82 | s |

### *3.5.6.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari Stati Limite (Push n°4)*

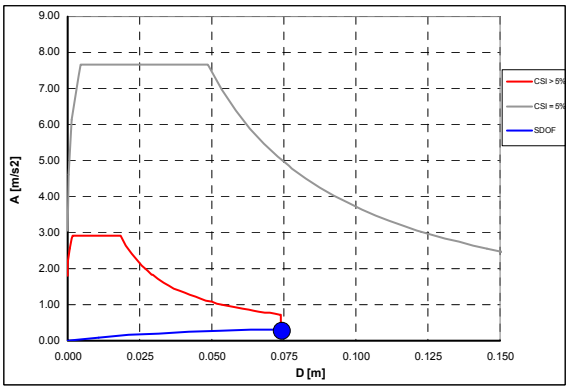
## ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA ALLO SNERVAMENTO




Viscosità equivalente = 16.7 %

Step 5 ⇒ **PGA = 1.251 m/s²**

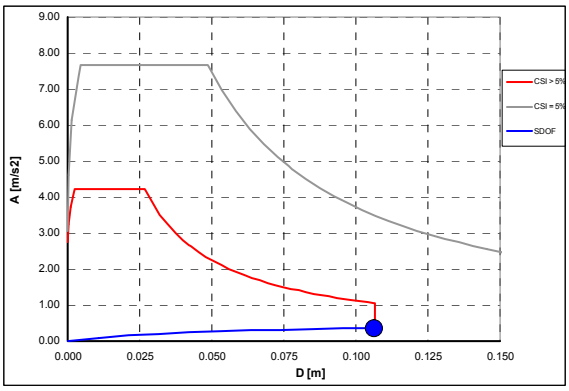
## ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA DI DANNO SEVERO




Viscosità equivalente = 18.9 %

Step 7 ⇒ **PGA = 1.803 m/s²**

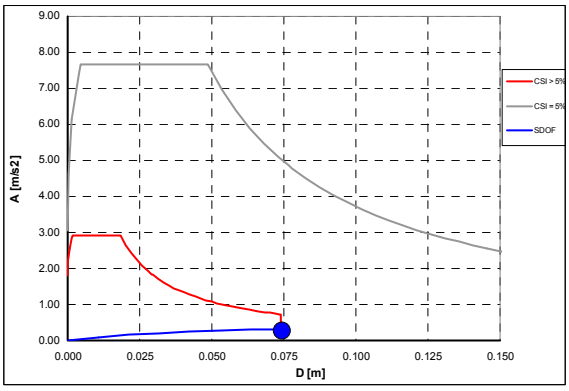
## ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA DI COLLASSO




Viscosità equivalente = 21.8 %

Step 10 ⇒ **PGA = 2.759 m/s$^2$**

## COLLASSO A TAGLIO




Viscosità equivalente = 18.9 %

Step 7 ⇒ **PGA = 1.803 m/s$^2$**

## RIEPILOGO

| | | | |
|---|---|---|---|
| Step 5 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ Y}$ = 1.251m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |
| Step 7 | ⇒ | **$PGA_{TAGLIO}$ = 1.803 m/s$^2$** | (collasso a taglio) |
| Step 7 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ DS}$ = 1.803 m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |
| Step 10 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ CO}$ = 2.759 m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |

## 3.6 CONCLUSIONI

I valori degli indicatori di rischio da inserire nelle schede di sintesi, risultano:

INDICATORE DI RISCHIO DI INAGIBILITA'

$$\alpha_e = \frac{PGA_{DL}}{PGA_{50\%}} = 0.950$$

INDICATORE DI RISCHIO DI COLLASSO 2

$$\alpha_{U2} = \frac{PGA_{DS}}{PGA_{10\%}} = 0.560$$

INDICATORE DI RISCHIO DI COLLASSO 1

$$\alpha_{U1} = \frac{PGA_{CO}}{PGA_{2\%}} = 0.120$$

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva con i risultati dei quattro casi sopra descritti:

| **RIEPILOGO INDICATORI DI RISCHIO SETTORE A** | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **MODELLI** | | **Distribuzione triangolare** | | | | **Distribuzione uniforme** | | | |
| | | **Direzione X** | | **Direzione Y** | | **Direzione X** | | **Direzione Y** | |
| **STATO LIMITE** | **PGA Rif.** | **PGA Analisi** | **α** | **PGA Analisi** | **α** | **PGA Analisi** | **α** | **PGA Analisi** | **α** |
| Danno lieve rotazione alla corda | 1.226 | 1.692 | **1.380** | 1.251 | **1.020** | 2.146 | **1.750** | 1.165 | **0.950** |
| Danno severo rotazione alla corda | 3.066 | 3.004 | **0.980** | 1.803 | **0.588** | 2.600 | **0.848** | 1.717 | **0.560** |
| Collasso rotazione alla corda | 4.598 | 4.231 | **0.920** | 2.759 | **0.600** | 3.899 | **0.848** | 2.575 | **0.560** |
| Collasso nodo | 4.598 | 3.004 | **0.653** | - | **-** | 0.674 | **0.147** | - | **-** |
| Collasso taglio | 4.598 | 0.552 | **0.120** | 1.803 | **0.392** | 1.778 | **0.387** | 1.410 | **0.307** |

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva con i risultati dei quattro casi sopra descritti:

| **RIEPILOGO INDICATORI DI RISCHIO SETTORE A** | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **MODELLI** | | **Distribuzione triangolare** | | | | **Distribuzione uniforme** | | | |
| | | **Direzione X** | | **Direzione Y** | | **Direzione X** | | **Direzione Y** | |
| **STATO LIMITE** | **PGA Rif.** | **PGA Analisi** | **α** | **PGA Analisi** | **α** | **PGA Analisi** | **α** | **PGA Analisi** | **α** |
| Danno lieve rotazione alla corda | 1.716 | 1.692 | **0.986** | 1.251 | **0.729** | 2.146 | **1.250** | 1.165 | **0.832** |
| Danno severo rotazione alla corda | 4.292 | 3.004 | **0.700** | 1.803 | **0.420** | 2.600 | **0.606** | 1.717 | **0.400** |
| Collasso rotazione alla corda | 6.437 | 4.231 | **0.657** | 2.759 | **0.429** | 3.899 | **0.606** | 2.575 | **0.400** |
| Collasso nodo | 6.437 | 3.004 | **0.466** | - | **-** | 0.674 | **0.105** | - | **-** |
| Collasso taglio | 6.437 | 0.552 | **0.086** | 1.803 | **0.280** | 1.778 | **0.276** | 1.410 | **0.219** |

# 4. RELAZIONE DI CALCOLO CORPO D – ALA NORD

## 4.1 PREMESSA

Il settore esaminato in questa parte è costituito principalmente da telai piani in c.a.

## 4.2 LIVELLO DI CONOSCENZA RAGGIUNTO

La determinazione del livello di conoscenza è necessaria per definire i parametri meccanici ed i fattori di confidenza (FC).
In relazione alla Tabella 11.1 della normativa di riferimento si specifica:
- **Geometria**: è stata ottenuta da disegni di carpenteria originali; è stato eseguito inoltre un rilievo visivo a campione.
- **Dettagli strutturali**: sono stati desunti dai disegni costruttivi completi e da **"limitate verifiche in situ"**.
- **Materiali**: sono state eseguite **"limitate prove in situ"**.

Considerato quanto sopra si conclude che il livello di conoscenza acquisito per l'edificio in oggetto è **LC2** che comporta un Fattore di Confidenza **FC = 1.2**.

## 4.3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI ADOTTATE NELL'ANALISI

Sulla base delle prescrizioni progettuali, delle prove effettuate e considerato il fattore di confidenza **FC = 1.2**, si è scelto di adottare per i materiali le seguenti caratteristiche di calcolo:
- **CLS**

$f_c$ = 18 N/mm$^2$

E = 28500 N/mm$^2$

$w_{CLS}$ = 25.00 kN/m$^3$

- **ACCIAIO (AQ50-60)**

$f_y$ = 295 N/mm$^2$

E = 206000 N/mm$^2$

## 4.4 ANALISI DEI CARICHI

Per la valutazione dei carichi agenti sono stati adottati valori tradizionalmente riportati in letteratura.

### 4.4.1 Valutazione carico neve

E' stato considerato ⇒ **$q_{neve}$ = 1.20 kN/m$^2$**

### 4.4.2 Solaio piani dal 1° al 2° livello

**Permanenti:**

| | | |
|---|---|---|
| peso proprio solaio: | | = 3.00 kN/m$^2$ |
| sovracc. perm.: | | = 1.50 kN/m$^2$ |
| tramezzature: | | = 1.00 kN/m$^2$ |
| | **P** | **= 6.00 kN/m$^2$** |
| **Accidentale (ospedale):** | **Q** | **= 3.00 kN/m$^2$** |

### 4.4.3 Solaio piani 3° al 8° livello

**Permanenti:**

| | | |
|---|---|---|
| peso proprio solaio: | | = 3.50 kN/m$^2$ |
| sovracc. perm.: | | = 1.50 kN/m$^2$ |
| tramezzature: | | = 1.00 kN/m$^2$ |
| | **P** | **= 5.50 kN/m$^2$** |
| **Accidentale (ospedale):** | **Q** | **= 4.00 kN/m$^2$** |

### 4.4.4 Solaio copertura 9° livello

**Permanenti:**

| | | |
|---|---|---|
| peso proprio solaio: | | = 3.50 kN/m$^2$ |
| sovracc. perm.: | | = 2.50 kN/m$^2$ |
| | **P** | **= 6.00 kN/m$^2$** |
| **Accidentale (neve):** | **Q** | **= 1.20 kN/m$^2$** |

### 4.4.5 Tamponatura perimetrale

**Permanenti:**

muratura esterna: = 14 kN/m$^2$

**N.B.** Per le pareti finestrate sono state valutate opportune riduzioni del carico dovuto alle tamponature.

## 4.5 MODELLO STRUTTURALE

Il modello di calcolo utilizzato è di tipo tridimensionale ed è stato costruito con elementi di tipo "frame" per la schematizzazione degli elementi snelli (travi e pilastri) .

### 4.5.1 Dettagli sulla modellazione

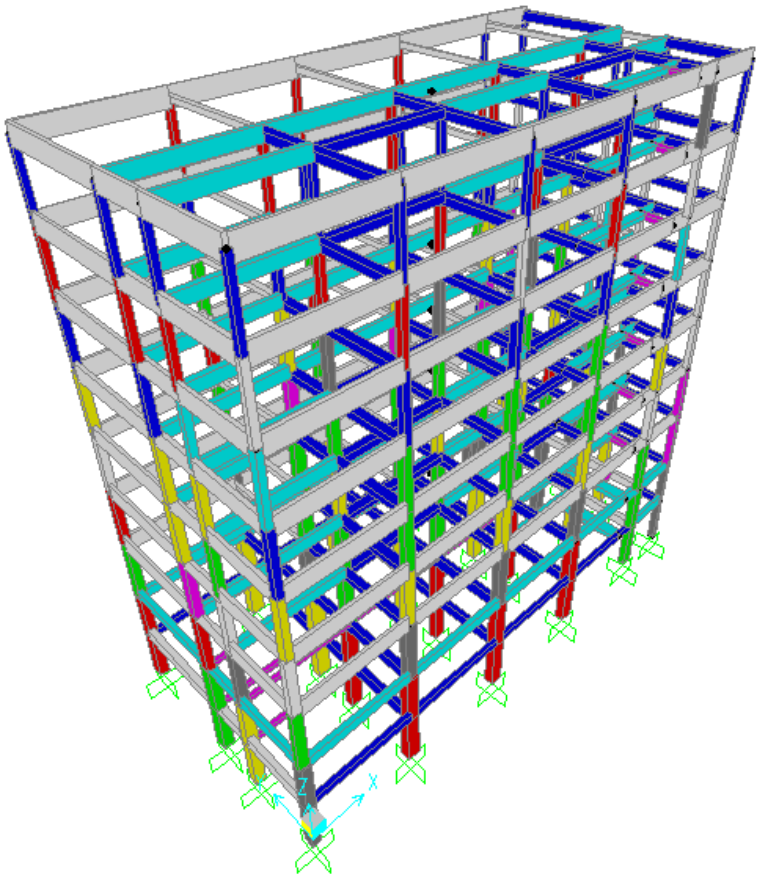
Nella modellazione della struttura sono stati utilizzati i seguenti accorgimenti:

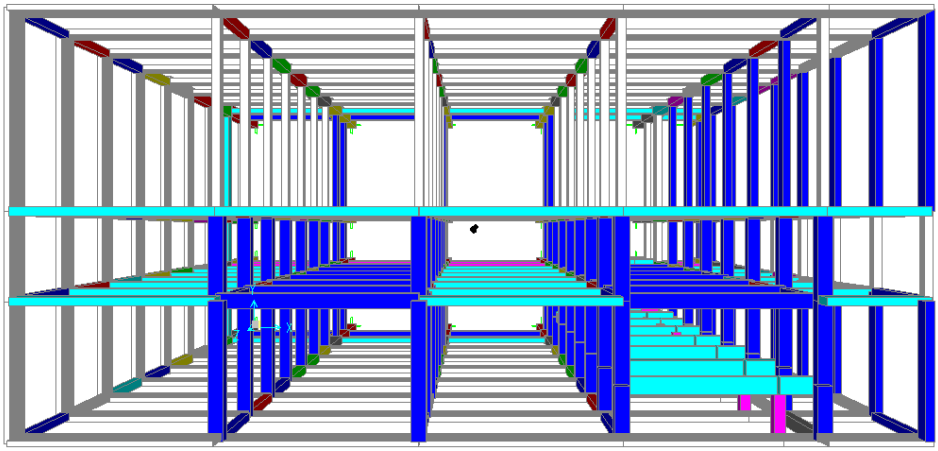
- Tutti gli impalcati sono stati considerati infinitamente rigidi nel loro piano essendo costituiti da solai in laterocemento con getto di soletta di completamento.
- I pilastri del primo ordine sono stati considerati incastrati a terra.
- Ove ritenuto necessario sono stati inseriti degli elementi infinitamente rigidi ("braccetti rigidi") al fine di riprodurre in maniera più accurata la presenza di nodi di grandi dimensioni e quindi di elementi tozzi.
- Le rigidezze a taglio e flessionali degli elementi trave sono state ridotte al 50% (come consigliato dalla normativa di riferimento) al fine di tenere in considerazione l'effetto della fessurazione delle sezioni in C.A. sottoposte a notevoli curvature; le rigidezze

dei pilastri, in virtù dello sforzo assiale presente, non sono invece state abbattute.

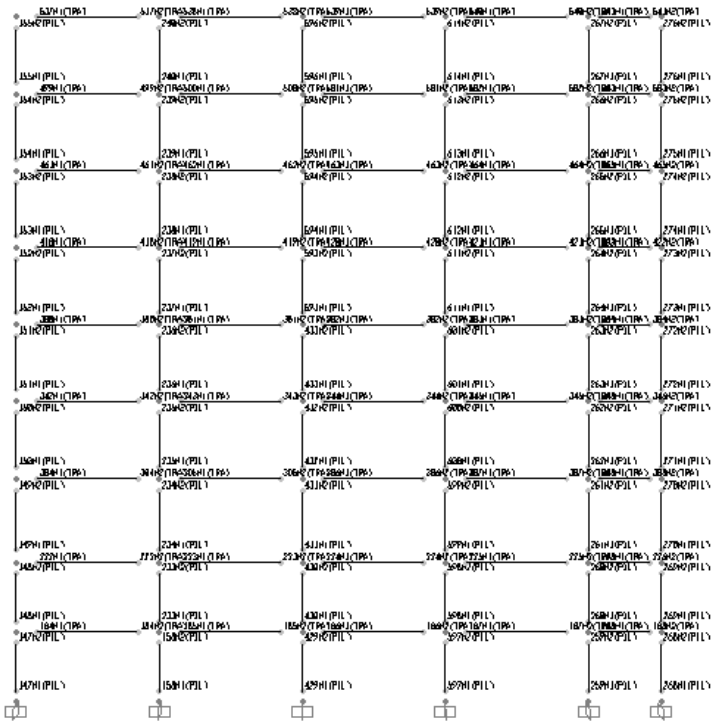
- Per le zone degli elementi strutturali ove è possibile che abbiano luogo fenomeni di escursione in campo post-elastico, sono state adottate opportune leggi di comportamento (cerniere plastiche o plastic hinges) in grado di riprodurre il comportamento della sezione in campo non-lineare nei confronti di varie caratteristiche di sollecitazione (solitamente momento flettente e taglio).
- Le cerniere plastiche dei pilastri sono state valutate tenendo in considerazione lo sforzo assiale presente in condizioni statiche, essendo quest'ultimo un fattore in grado di influenzare fortemente la capacità di rotazione delle stesse.
- Per gli elementi in c.a dove non è stato possibile risalire alle armature presenti si è proceduto ad una valutazione dei minimi necessari in condizioni statiche.

**Immagini modello 3D**



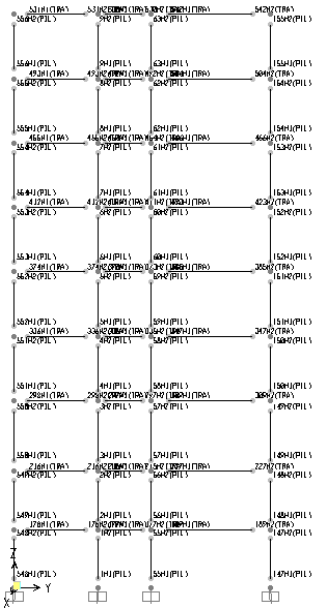


⇒ **Posizionamento delle cerniere plastiche (lato parallelo all'asse X )**



**Sezione Longitudinale**

**Posizionamento delle cerniere plastiche (lato parallelo all'asse Y )**



**Sezione trasversale**

## 4.6 RISULTATI DELLE ELABORAZIONI

### 4.6.1 Analisi modale

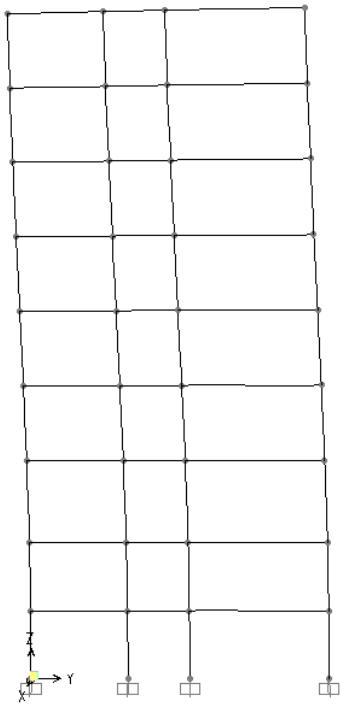
Di seguito si riportano i principali risultati dell'analisi modale (elastica) condotta sulla struttura ed alcune immagini relative ai modi principali.

**TABLE: Modal Participating Mass Ratios**

| OutputCase | StepType | StepNum | Period | UX | UY | UZ | SumUX | SumUY | SumUZ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Text | Text | Unitless | Sec | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless |
| MODAL | Mode | 1 | 2,315356 | 0,00032 | 0,62204 | 4,889E-07 | 0,00032 | 0,62204 | 4,889E-07 |
| MODAL | Mode | 2 | 1,79378 | 0,75099 | 0,00155 | 6,924E-07 | 0,75131 | 0,62359 | 0,000001181 |
| MODAL | Mode | 3 | 1,554863 | 0,00912 | 0,04333 | 2,732E-09 | 0,76043 | 0,66691 | 0,000001184 |
| MODAL | Mode | 4 | 0,819381 | 0,0000635 | 0,12 | 0,000001873 | 0,76049 | 0,78691 | 0,000003057 |
| MODAL | Mode | 5 | 0,67121 | 0,09718 | 0,00033 | 4,297E-07 | 0,85767 | 0,78724 | 0,000003487 |
| MODAL | Mode | 6 | 0,603858 | 0,00297 | 0,00285 | 1,674E-07 | 0,86064 | 0,79009 | 0,000003654 |
| MODAL | Mode | 7 | 0,479215 | 0,00001297 | 0,06338 | 0,000001228 | 0,86065 | 0,85347 | 0,000004882 |
| MODAL | Mode | 8 | 0,386585 | 0,03272 | 0,00003838 | 0,000003263 | 0,89337 | 0,85351 | 0,000008145 |
| MODAL | Mode | 9 | 0,361406 | 0,00184 | 0,00007036 | 4,597E-08 | 0,89522 | 0,85358 | 0,000008191 |
| MODAL | Mode | 10 | 0,328729 | 0,00004322 | 0,04533 | 0,000009233 | 0,89526 | 0,89891 | 0,00001742 |
| MODAL | Mode | 11 | 0,271302 | 0,01909 | 0,000001144 | 2,266E-07 | 0,91435 | 0,89891 | 0,00001765 |
| MODAL | Mode | 12 | 0,258249 | 0,00162 | 0,00474 | 7,413E-08 | 0,91598 | 0,90365 | 0,00001772 |
| MODAL | Mode | 13 | 0,245038 | 0,00022 | 0,03047 | 0,00001881 | 0,9162 | 0,93412 | 0,00003653 |
| MODAL | Mode | 14 | 0,207584 | 0,0158 | 0,000005082 | 2,917E-08 | 0,932 | 0,93413 | 0,00003656 |
| MODAL | Mode | 15 | 0,198287 | 0,00192 | 0,00377 | 2,525E-08 | 0,93392 | 0,9379 | 0,00003659 |
| MODAL | Mode | 16 | 0,191415 | 0,00052 | 0,01926 | 0,00004252 | 0,93444 | 0,95716 | 0,00007911 |
| MODAL | Mode | 17 | 0,163495 | 0,01499 | 0,00045 | 6,594E-08 | 0,94943 | 0,9576 | 0,00007918 |
| MODAL | Mode | 18 | 0,154879 | 0,00388 | 7,886E-07 | 0,00006356 | 0,95331 | 0,9576 | 0,00014 |
| MODAL | Mode | 19 | 0,152257 | 0,0005 | 0,01225 | 0,0003 | 0,95382 | 0,96986 | 0,00044 |
| MODAL | Mode | 20 | 0,145445 | 0,000007819 | 0,000002821 | 0,17041 | 0,95383 | 0,96986 | 0,17085 |
| MODAL | Mode | 21 | 0,134036 | 2,411E-07 | 3,048E-07 | 0,15613 | 0,95383 | 0,96986 | 0,32698 |
| MODAL | Mode | 22 | 0,131224 | 5,918E-07 | 0,000001688 | 0,05305 | 0,95383 | 0,96986 | 0,38004 |
| MODAL | Mode | 23 | 0,12782 | 0,00139 | 0,00019 | 0,00801 | 0,95522 | 0,97005 | 0,38804 |
| MODAL | Mode | 24 | 0,127654 | 0,00589 | 0,00056 | 0,00205 | 0,96111 | 0,97061 | 0,39009 |
| MODAL | Mode | 25 | 0,124232 | 0,000004828 | 0,00001363 | 0,07221 | 0,96111 | 0,97062 | 0,4623 |
| MODAL | Mode | 26 | 0,121354 | 0,00796 | 0,00038 | 0,00007544 | 0,96908 | 0,971 | 0,46238 |
| MODAL | Mode | 27 | 0,118963 | 0,000002416 | 0,00004607 | 0,13854 | 0,96908 | 0,97105 | 0,60091 |

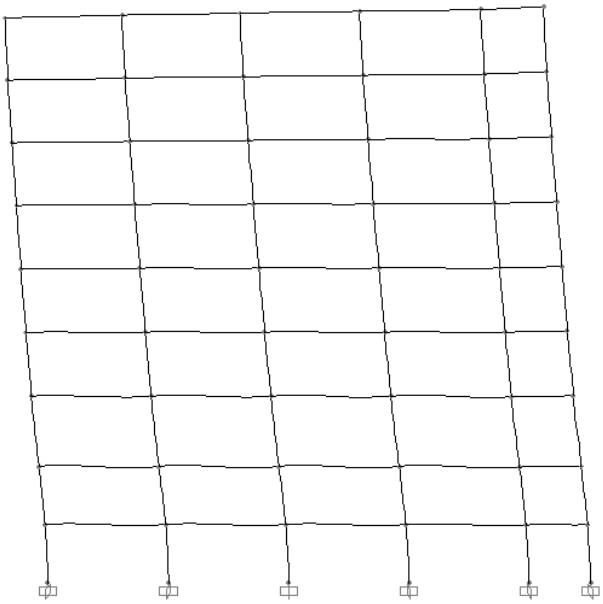
Si riportano di seguito le deformate corrispondenti ai primi tre modi della struttura

⇒ **Modo 1 – T = 2.315 s (traslazionale lungo Y)**



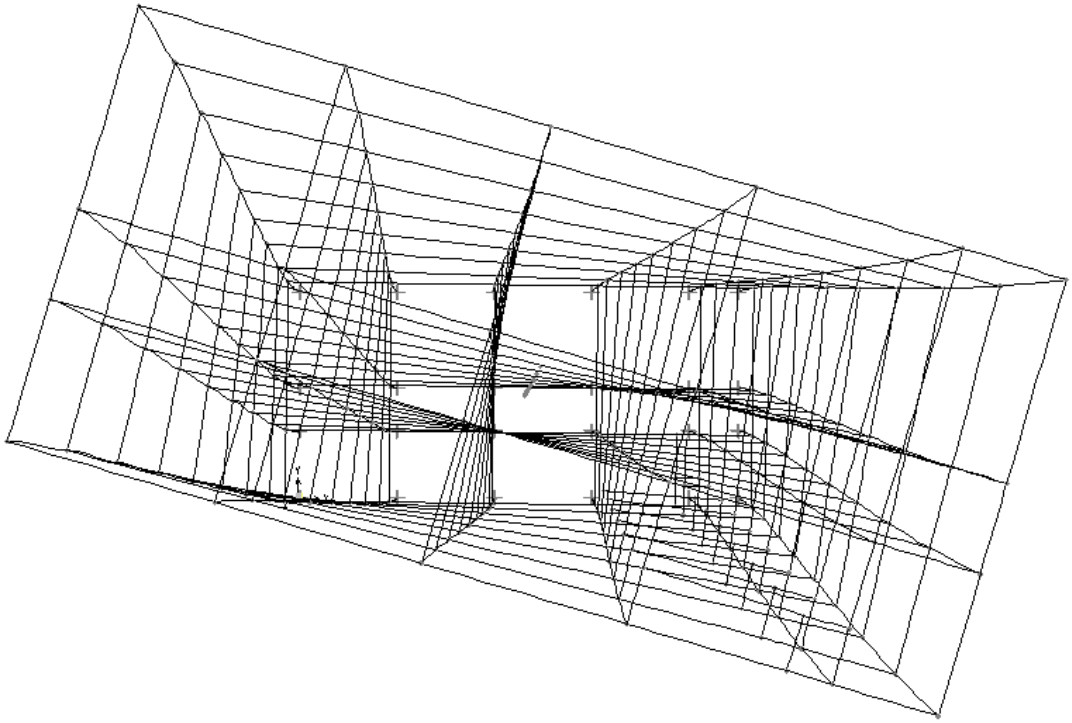

**Sezione Trasversale**

⇒ **Modo 2 – T = 1.79s (traslazione lungo X)**



**Sezione Longitudinale**

⇒ **Modo 3 – T = 1.55 s (rotazionale intorno a Z)**



### 4.6.2 Analisi statica non lineare (pushover)

Di seguito si riportano:

- le masse assemblate ai baricentri dei vari piani
- la distribuzione di forze orizzontali

L'analisi statica non lineare è stata svolta separatamente nelle due direzioni X e Y rispettivamente applicando ai centri di massa le seguenti distribuzioni di forze.

I due sistemi di forze sono di seguito riportati:

| **Distribuzione Forze Orizzontali** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Livello** | **Massa ( T )** | **Distribuzione Triangolare Tipo 1 (KN)** | | **Distribuzione Costante Tipo 2 (KN)** | |
| | | Direzione X | Direzione Y | Direzione X | Direzione Y |
| 1 | 750 | 326 | 252 | 1692 | 1310 |
| 2 | 756 | 657 | 508 | 1706 | 1320 |
| 3 | 731 | 1020 | 789 | 1649 | 1276 |
| 4 | 704 | 1321 | 1022 | 1588 | 1229 |
| 5 | 690 | 1626 | 1258 | 1557 | 1205 |
| 6 | 676 | 1918 | 1484 | 1525 | 1180 |
| 7 | 662 | 2196 | 1700 | 1493 | 1156 |
| 8 | 649 | 2465 | 1908 | 1464 | 1133 |
| 9 | 567 | 2426 | 1877 | 1279 | 990 |

Sulla struttura in oggetto sono state quindi eseguite le seguenti analisi pushover:

**1.** Pushover n.1 - Direzione X Sistema di forze Tipo 1
**2.** Pushover n.2 - Direzione X Sistema di forze Tipo 2
**3.** Pushover n.3 - Direzione Y Sistema di forze Tipo 1
**4.** Pushover n.4 - Direzione Y Sistema di forze Tipo 2

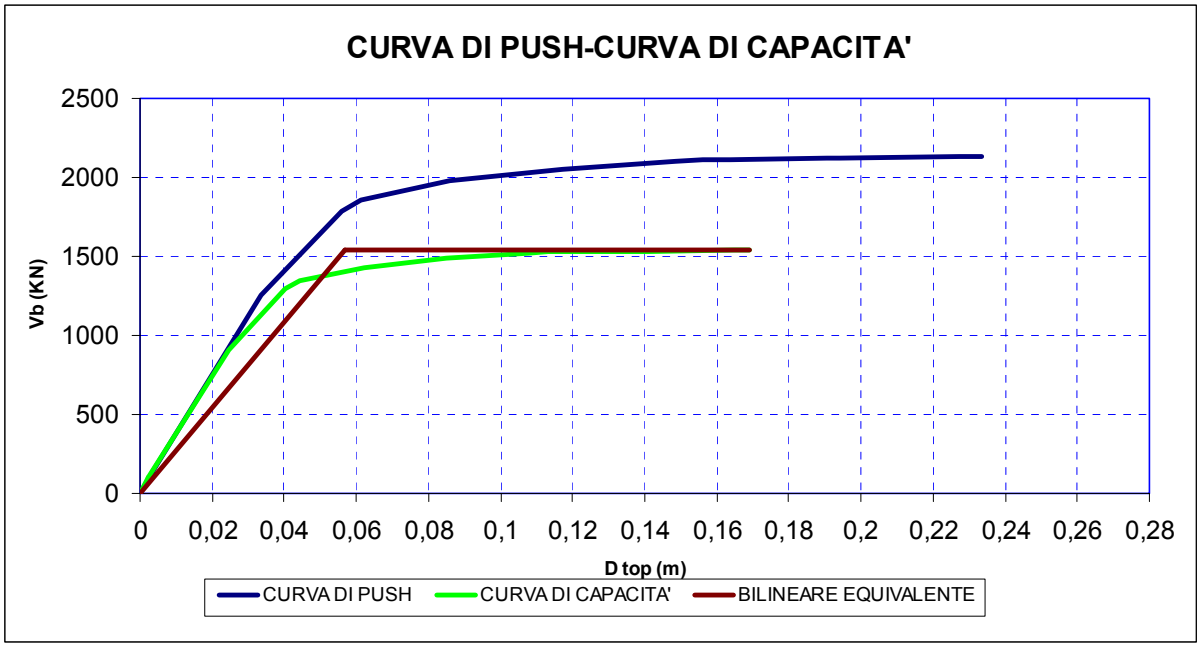
Di seguito si riportano le Curve di Push, le Curve di Capacità e le relative conversioni nel sistema elasto-plastico equivalente.

### 4.6.3 Pushover n°1

Pushover in direzione X con applicato alla struttura il sistema di forze Tipo 1(triangolare).

#### *4.6.3.1 Curva di push*

Si riporta la curva di push in termini di taglio totale alla base nella direzione considerata e spostamento del baricentro del 9°piano ($V_{base}$ – $D_{top}$).

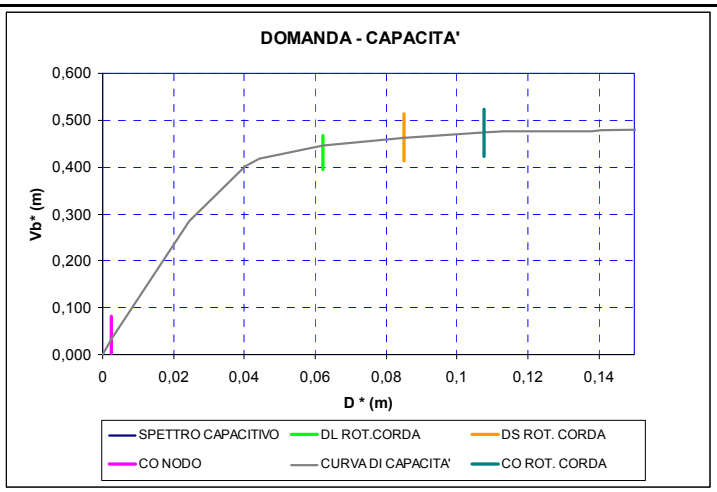



| CURVA DI PUSCH | | |
|---|---|---|
| **Step** | **D top (m)** | **Vb (KN)** |
| 0 | 0,00005 | 0 |
| 1 | 0,00336 | 144 |
| 2 | 0,03373 | 1260 |
| 3 | 0,05570 | 1785 |
| 4 | 0,06108 | 1853 |
| 5 | 0,08583 | 1975 |
| 6 | 0,11737 | 2055 |
| 7 | 0,14857 | 2102 |
| 8 | 0,15616 | 2109 |
| 9 | 0,15823 | 2110 |
| 10 | 0,16355 | 2113 |
| 11 | 0,19057 | 2118 |
| 12 | 0,19429 | 2119 |
| 13 | 0,22718 | 2131 |
| 14 | 0,23353 | 2134 |

### *4.6.3.2 Curva di capacità e sistema sdof bilineare equivalente*

**ALGORITMI DI TRASFORMAZIONE TRA CURVA DI PUSH E CURVA DI CAPACITA'**

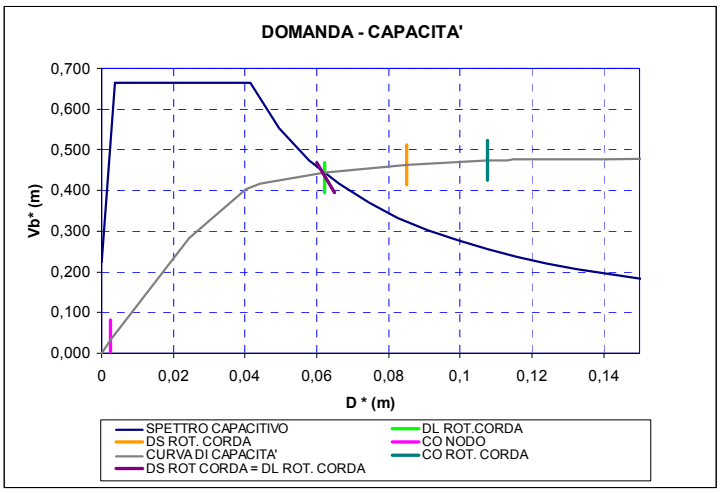
| | Autovettore N | m*Φ | m*Φ^2 | | Masse | Autovettore |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Φ1 | 0,047 | 34,88 | 1,62 | | 750 | 0,000024 |
| Φ2 | 0,138 | 104,02 | 14,31 | | 756 | 0,000071 |
| Φ3 | 0,285 | 208,25 | 59,33 | | 731 | 0,000147 |
| Φ4 | 0,417 | 293,33 | 122,22 | | 704 | 0,000215 |
| Φ5 | 0,548 | 378,43 | 207,55 | **Γ= 1,38** | 690 | 0,000283 |
| Φ6 | 0,686 | 463,77 | 318,17 | | 676 | 0,000354 |
| Φ7 | 0,837 | 554,23 | 464,01 | | 662 | 0,000432 |
| Φ8 | 0,940 | 610,01 | 573,36 | | 649 | 0,000485 |
| Φ9 | 1,000 | 567,00 | 567,00 | | 567 | 0,000516 |
| | totale | 3213,93 | | | | |



| CURVA DI CAPACITA' | | | |
|---|---|---|---|
| **Step** | **D* (m)** | **Vb (KN)** | **Sa (m/s^2)** |
| 0 | 0,000 | 0 | 0,000 |
| 1 | 0,002 | 104 | 0,032 |
| 2 | 0,024 | 912 | 0,284 |
| 3 | 0,040 | 1293 | 0,402 |
| 4 | 0,044 | 1342 | 0,418 |
| 5 | 0,062 | 1431 | 0,445 |
| 6 | 0,085 | 1489 | 0,463 |
| 7 | 0,108 | 1522 | 0,474 |
| 8 | 0,113 | 1528 | 0,475 |
| 9 | 0,115 | 1528 | 0,476 |
| 10 | 0,118 | 1530 | 0,476 |
| 11 | 0,138 | 1534 | 0,477 |
| 12 | 0,141 | 1535 | 0,477 |
| 13 | 0,165 | 1543 | 0,480 |
| 14 | 0,169 | 1545 | 0,481 |

### *4.6.3.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari stati limite*

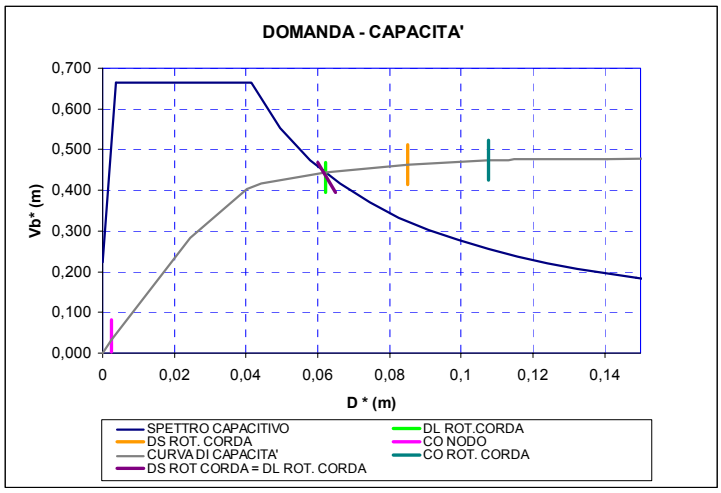
**STATO LIMITE DI DANNO LIEVE (rotazione rispetto alla corda)**




**PGA = 0.343 g**

**$\xi_{eq}$ = 21.0 %**

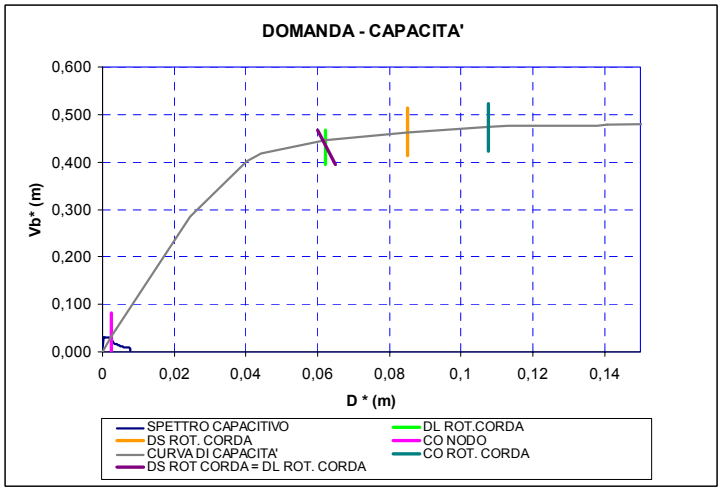
## STATO LIMITE DI DANNO SEVERO (rotazione rispetto alla corda)




**PGA = 0.343g**

**$\xi_{eq}$ = 21.0 %**

## STATO LIMITE DI COLLASO (collasso nodo)




**PGA = 0.010 g**

**$\xi_{eq}$ = 5.0 %**

**INDICATORI DI RISCHIO**

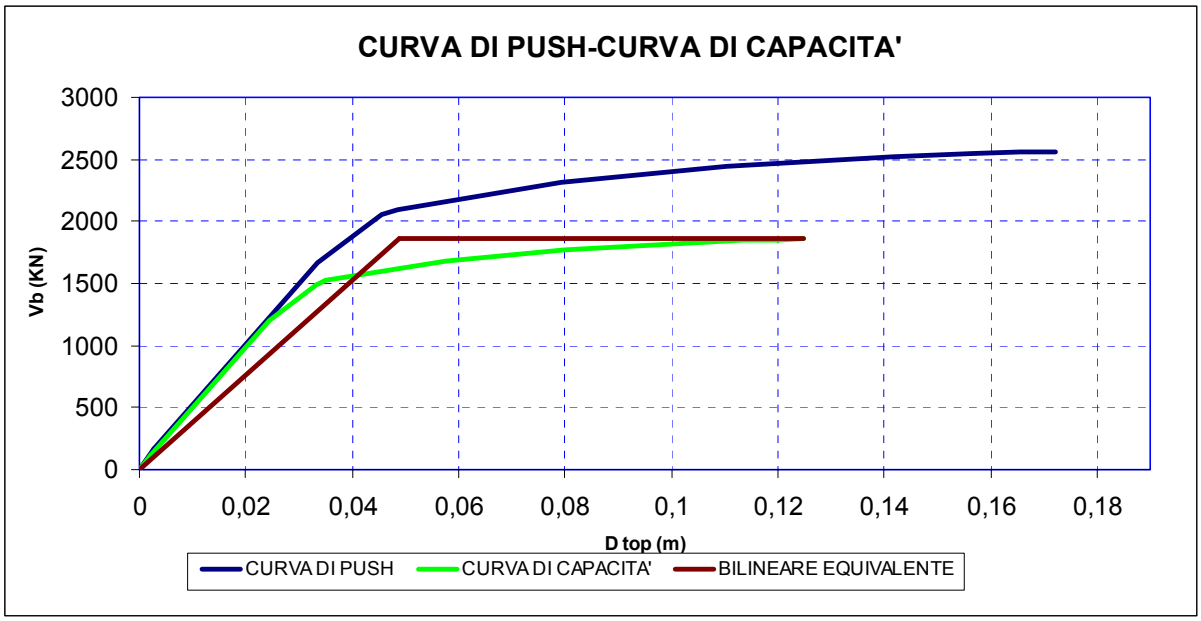
| Stato Limite | PGA | PGARIF | Tr | α |
|---|---|---|---|---|
| DL ROT. CORDA | 3.365 | 1.226 | 50%_50 | 2.744 |
| DS ROT. CORDA | 3.365 | 3.066 | 10%_50 | 2.097 |
| CO NODO | 0.098 | 4.598 | 2%_50 | 0.021 |
| CO TAGLIO PARETE | - | 4.598 | 2%_50 | - |
| CO ROT. CORDA | 5.543 | 4.598 | 2%_50 | 1.205 |

### 4.6.4 Pushover n°2

Pushover in direzione X con applicato alla struttura il sistema di forze Tipo 2 (costante).

#### *4.6.4.1 Curva di push*

Si riporta la curva di push in termini di taglio totale alla base nella direzione considerata e spostamento del baricentro del 9piano ($V_{base}$ – $D_{top}$).

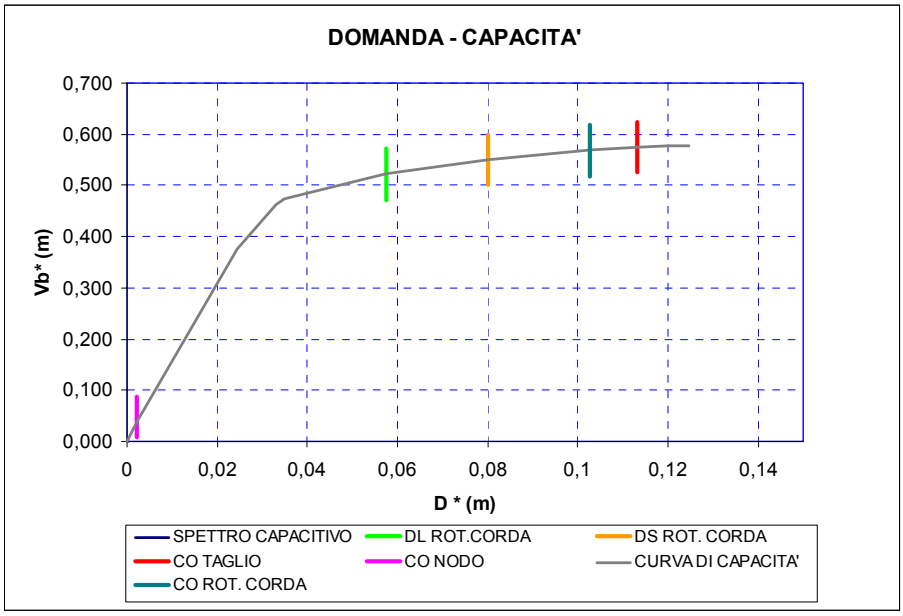



| CURVA DI PUSCH | | |
|---|---|---|
| **Step** | **D top (m)** | **Vb (KN)** |
| 0 | 0,000054 | 0 |
| 1 | 0,00278 | 165 |
| 2 | 0,033593 | 1.666 |
| 3 | 0,045636 | 2.050 |
| 4 | 0,048421 | 2.100 |
| 5 | 0,079341 | 2.319 |
| 6 | 0,110443 | 2.440 |
| 7 | 0,141679 | 2.521 |
| 8 | 0,156442 | 2.550 |
| 9 | 0,165692 | 2.561 |
| 10 | 0,172207 | 2.565 |

### *4.6.4.2 Curva di capacita' e sistema sdof bilineare equivalente*

**ALGORITMI DI TRASFORMAZIONE TRA CURVA DI PUSH E CURVA DI CAPACITA'**

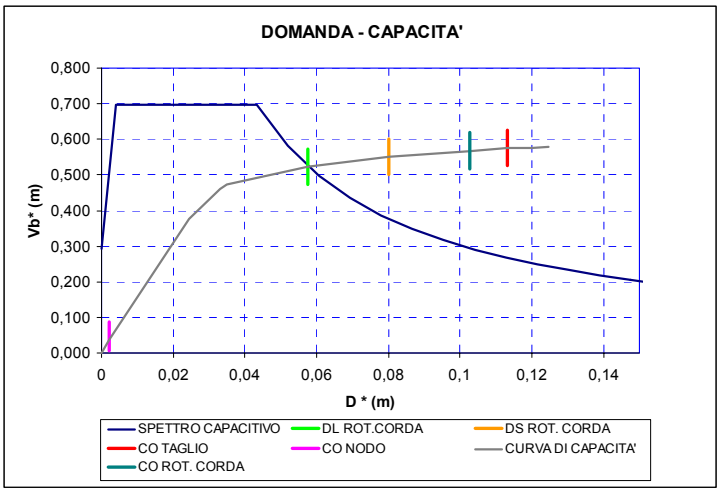
| | Autovettore N | m*Φ | m*Φ^2 | | Masse (T) | Autovettore |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Φ1 | 0,047 | 34,88 | 1,62 | | 750 | 0,000024 |
| Φ2 | 0,138 | 104,02 | 14,31 | | 756 | 0,000071 |
| Φ3 | 0,285 | 208,25 | 59,33 | | 731 | 0,000147 |
| Φ4 | 0,417 | 293,33 | 122,22 | | 704 | 0,000215 |
| Φ5 | 0,548 | 378,43 | 207,55 | **Γ= 1,38** | 690 | 0,000283 |
| Φ6 | 0,686 | 463,77 | 318,17 | | 676 | 0,000354 |
| Φ7 | 0,837 | 554,23 | 464,01 | | 662 | 0,000432 |
| Φ8 | 0,940 | 610,01 | 573,36 | | 649 | 0,000485 |
| Φ9 | 1,000 | 567,00 | 567,00 | | 567 | 0,000516 |
| | totale | 3213,93 | | | | |



| CURVA DI CAPACITA' | | | |
|---|---|---|---|
| **Step** | **D* (m)** | **Vb (KN)** | **Sa (m/s^2)** |
| 0 | 0,000 | 0 | 0,000 |
| 1 | 0,002 | 119 | 0,037 |
| 2 | 0,024 | 1206 | 0,375 |
| 3 | 0,033 | 1485 | 0,462 |
| 4 | 0,035 | 1521 | 0,473 |
| 5 | 0,057 | 1679 | 0,523 |
| 6 | 0,080 | 1767 | 0,550 |
| 7 | 0,103 | 1826 | 0,568 |
| 8 | 0,113 | 1847 | 0,575 |
| 9 | 0,120 | 1855 | 0,577 |
| 10 | 0,125 | 1857 | 0,578 |

### *4.6.4.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari stati limite*

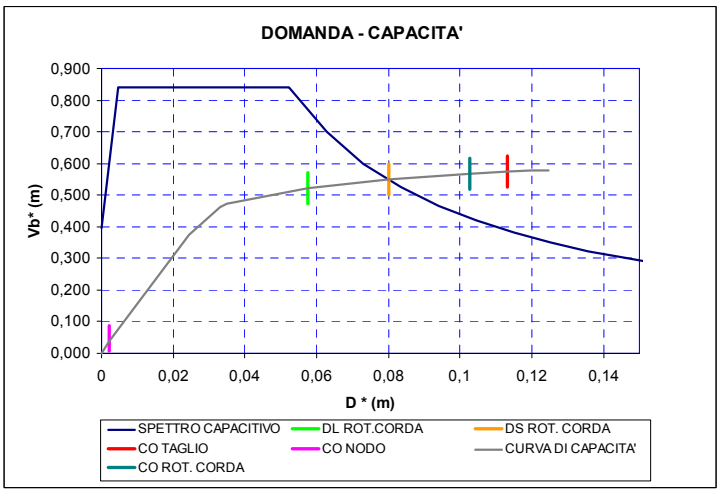
**STATO LIMITE DI DANNO LIEVE (rotazione rispetto alla corda)**




**PGA = 0.380 g**

**$\xi_{eq}$ = 24 %**

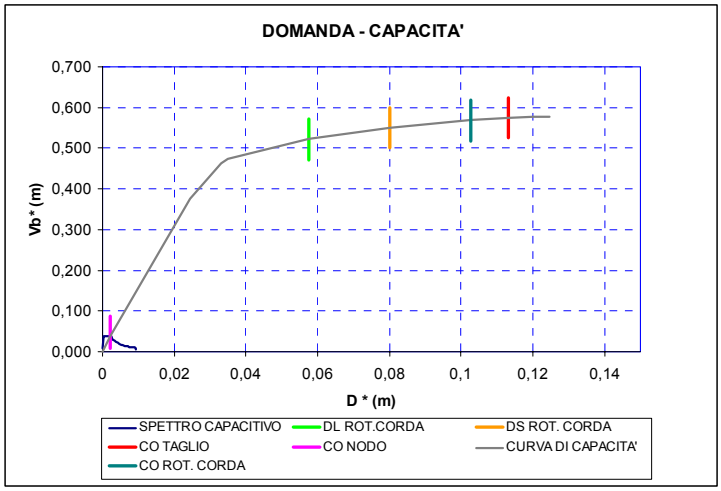
**STATO LIMITE DI DANNO SEVERO (rotazione rispetto alla corda)**




**PGA = 0.510 g**

**$\xi_{eq}$ = 31 %**

## STATO LIMITE DI COLLASSO (COLLASSO NODO)




**PGA = 0.012 g**

**$\xi_{eq}$ = 5 %**

### INDICATORI DI RISCHIO

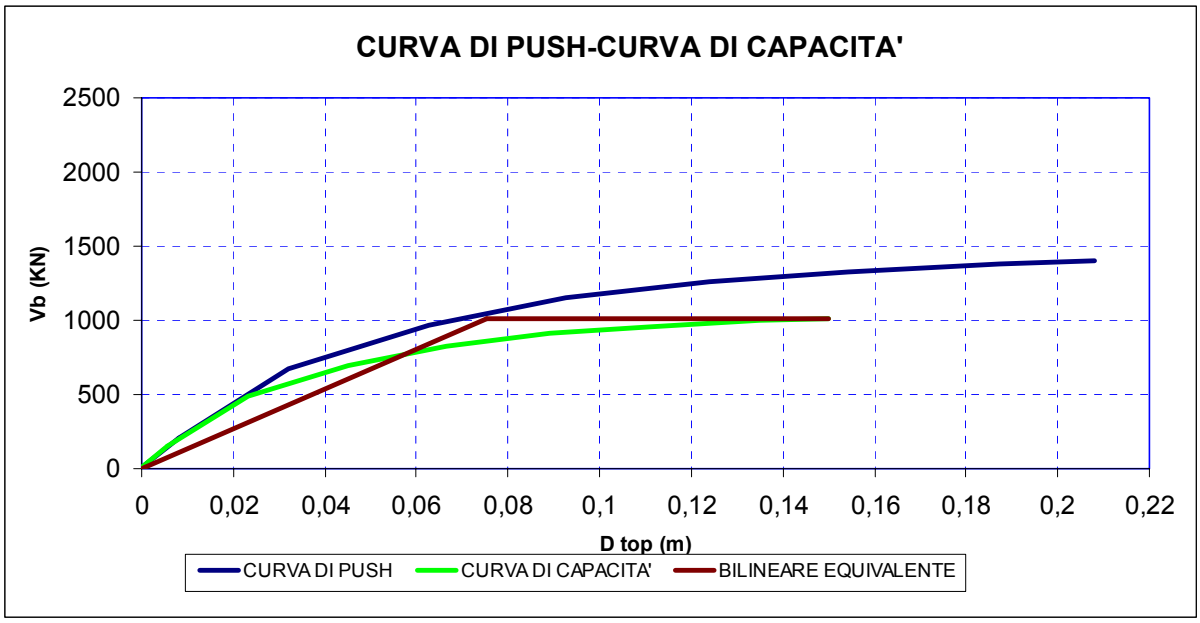
| Stato Limite | PGA | PGARIF | Tr | α |
|---|---|---|---|---|
| DL ROT. CORDA | 3.728 | 1.226 | 50%_50 | 3.040 |
| DS ROT. CORDA | 5.003 | 3.066 | 10%_50 | 1.632 |
| CO NODO | 0,118 | 4.598 | 2%_50 | 0.064 |
| CO TAGLIO PILASTRO | 4.426 | 4.598 | 2%_50 | 1.397 |
| CO ROT. CORDA | 5.984 | 4.598 | 2%_50 | 1.301 |

### 4.6.5 PUSHOVER N°3

Pushover in direzione Y con applicato alla struttura il sistema di forze Tipo 1 (triangolare).

#### *4.6.5.1 Curva di push*

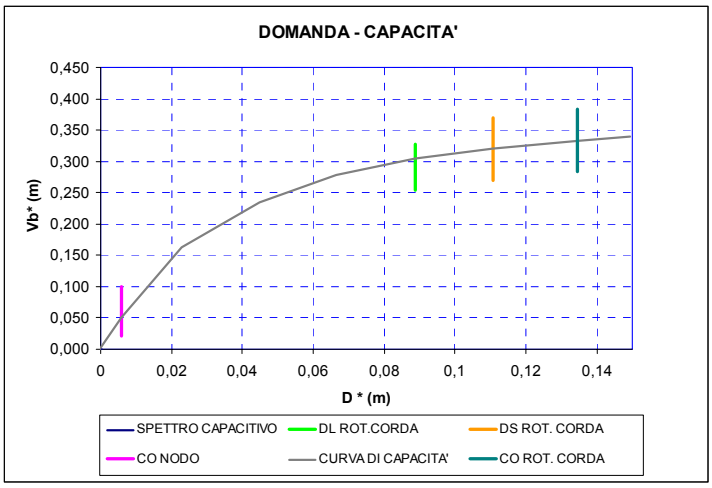
Si riporta la curva di push in termini di taglio totale alla base nella direzione considerata e spostamento del baricentro del 9°piano ($V_{base}$ – $D_{top}$).




| CURVA DI PUSCH | | |
|---|---|---|
| **Step** | **D top (m)** | **Vb (KN)** |
| 0 | -0,000418 | 0 |
| 1 | 0,007994 | 210 |
| 2 | 0,032016 | 678 |
| 3 | 0,062506 | 972 |
| 4 | 0,092507 | 1.154 |
| 5 | 0,123761 | 1.261 |
| 6 | 0,154045 | 1.327 |
| 7 | 0,187294 | 1.382 |
| 8 | 0,208142 | 1.407 |
| 9 | 0,208162 | 1.407 |

### *4.6.5.2 Curva di capacita' e sistema sdof bilineare equivalente*

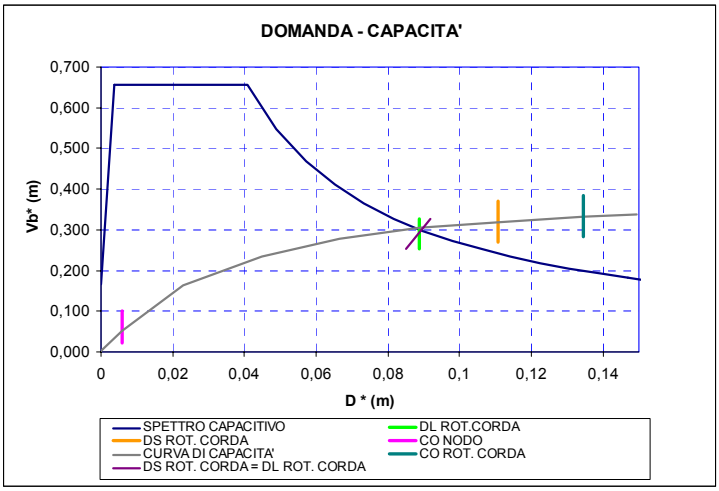
| ALGORITMI DI TRASFORMAZIONE TRA CURVA DI PUSH E CURVA DI CAPACITA' | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Autovettore N** | **m*Φ** | **m*Φ^2** | | | **Masse** | **Autovettore** |
| Φ1 | 0,062 | 46,48 | 2,88 | | | 750 | 0,001316 |
| Φ2 | 0,189 | 143,01 | 27,05 | | | 756 | 0,004017 |
| Φ3 | 0,354 | 258,56 | 91,46 | | | 731 | 0,007511 |
| Φ4 | 0,479 | 337,13 | 161,45 | | | 704 | 0,010169 |
| Φ5 | 0,597 | 411,89 | 245,87 | **Γ=** | **1,39** | 690 | 0,012676 |
| Φ6 | 0,710 | 480,22 | 341,14 | | | 676 | 0,015085 |
| Φ7 | 0,823 | 544,88 | 448,47 | | | 662 | 0,017478 |
| Φ8 | 0,926 | 601,11 | 556,75 | | | 649 | 0,019668 |
| Φ9 | 1,000 | 567,00 | 567,00 | | | 567 | 0,021235 |
| | | totale | 3390,27 | | m tot | 6185 | |




| CURVA DI CAPACITA' | | | |
|---|---|---|---|
| **Step** | **D* (m)** | **Vb (KN)** | **Sa (m/s^2)** |
| 0 | 0,000 | 0 | 0,000 |
| 1 | 0,006 | 151 | 0,045 |
| 2 | 0,023 | 488 | 0,144 |
| 3 | 0,045 | 700 | 0,206 |
| 4 | 0,067 | 831 | 0,245 |
| 5 | 0,089 | 908 | 0,268 |
| 6 | 0,111 | 956 | 0,282 |
| 7 | 0,135 | 996 | 0,294 |
| 8 | 0,150 | 1013 | 0,299 |
| 9 | 0,150 | 1014 | 0,299 |

### *4.6.5.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari stati limite*

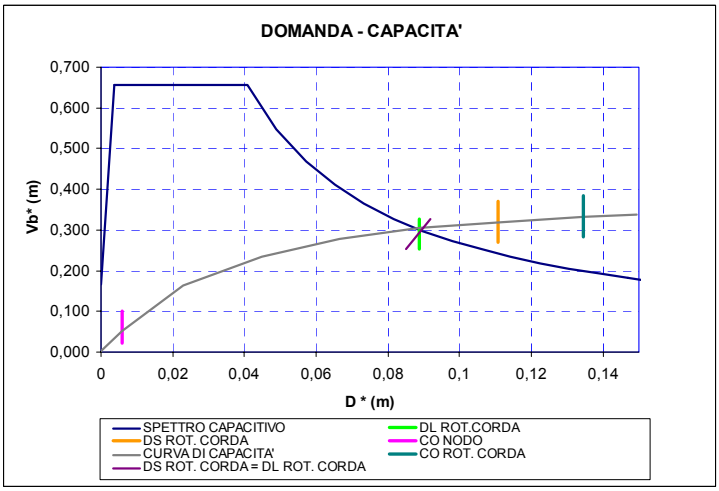
**STATO LIMITE DI DANNO LIEVE (rotazione rispetto alla corda)**




**PGA = 0.345 g**

**$\xi_{eq}$ = 22 %**

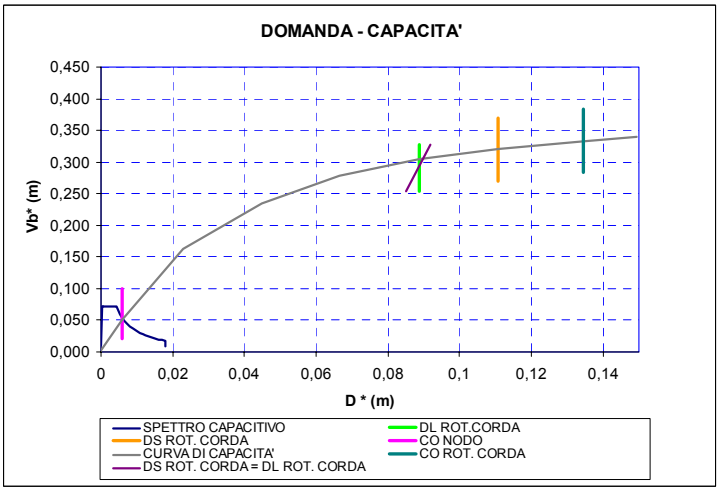
**STATO LIMITE DI DANNO SEVERO (rotazione rispetto alla corda)**




**PGA = 0.345 g**

**$\xi_{eq}$ = 22 %**

**STATO LIMITE DI COLLASSO (collasso nodo)**




**PGA = 0.023g**

**$\xi_{eq}$ =5 %**

**INDICATORI DI RISCHIO**

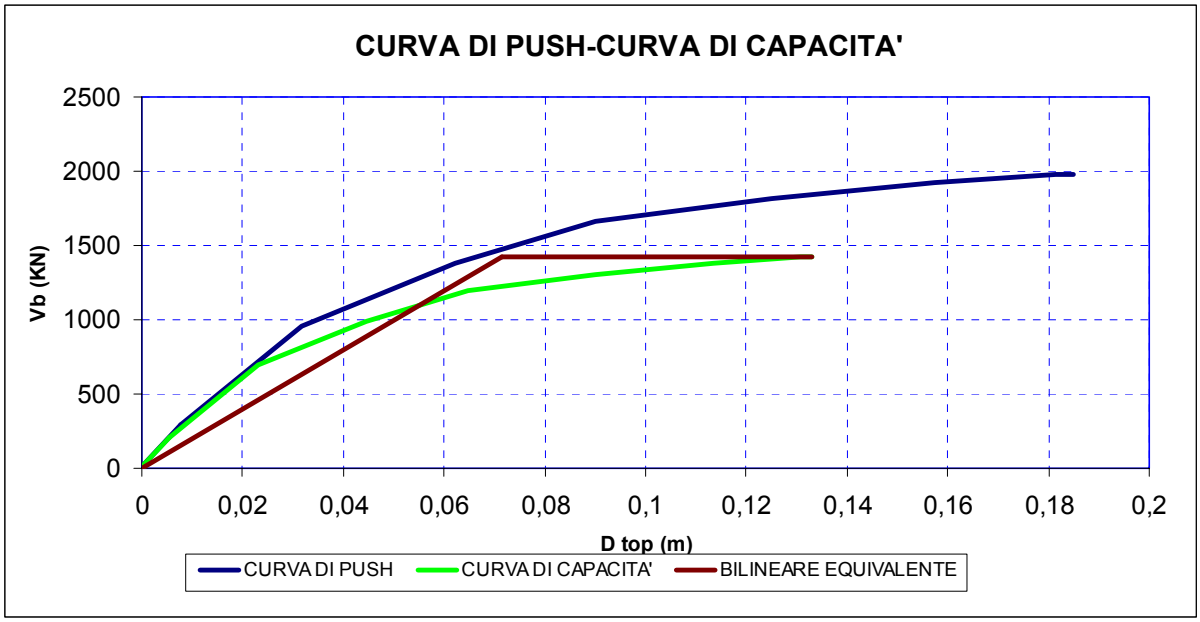
| Stato Limite | PGA | PGARIF | Tr | α |
|---|---|---|---|---|
| DL ROT. CORDA | 3.384 | 1.226 | 50%_50 | 2.759 |
| DS ROT. CORDA | 3.384 | 3.066 | 10%_50 | 1.104 |
| CO NODO | 0.226 | 4.598 | 2%_50 | 0.049 |
| CO TAGLIO PILASTRO | - | 4.598 | 2%_50 | - |
| CO ROT. CORDA | 5.001 | 4.598 | 2%_50 | 1.087 |

### 4.6.6 Poushover n°4

Pushover in direzione Y con applicato alla struttura il sistema di forze Tipo 2 (costante).

#### *4.6.6.1 Curva di push*

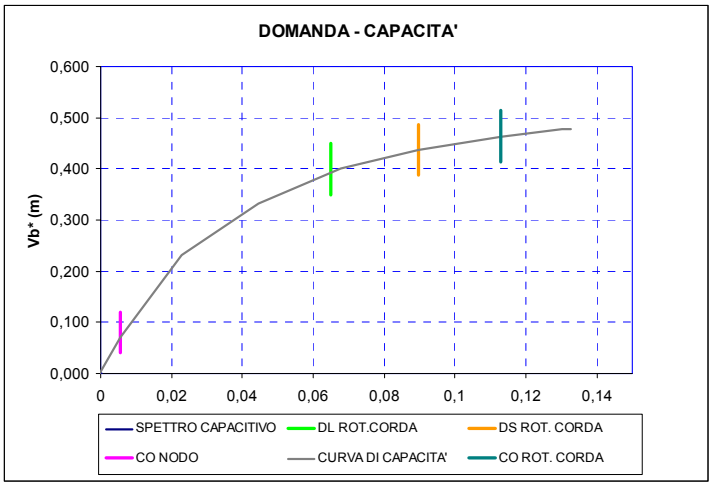
Si riporta la curva di push in termini di taglio totale alla base nella direzione considerata e spostamento del baricentro del 9°piano ($V_{base}$ – $D_{top}$).




| CURVA DI PUSCH | | |
|---|---|---|
| **Step** | **D top (m)** | **Vb (KN)** |
| 0 | -0,000418 | 0 |
| 1 | 0,007585 | 289 |
| 2 | 0,031832 | 962 |
| 3 | 0,062055 | 1378 |
| 4 | 0,090000 | 1659 |
| 5 | 0,124983 | 1812 |
| 6 | 0,157392 | 1922 |
| 7 | 0,181323 | 1980 |
| 8 | 0,183838 | 1983 |
| 9 | 0,184859 | 1983 |

### *4.6.6.2 Curva di capacita' e sistema sdof bilineare equivalente*

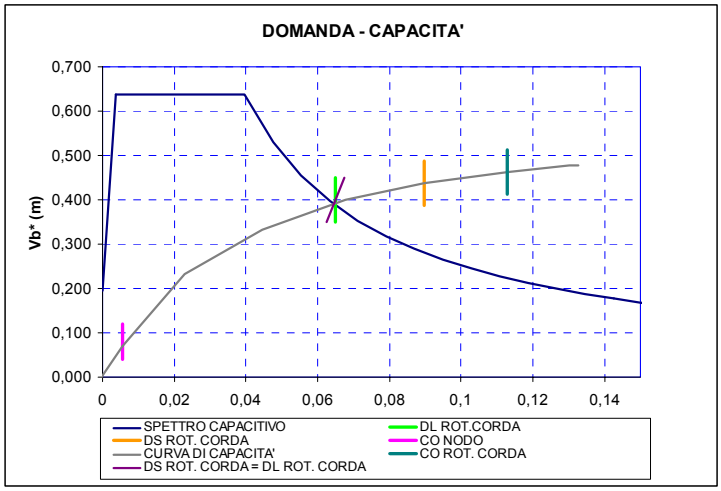
| ALGORITMI DI TRASFORMAZIONE TRA CURVA DI PUSH E CURVA DI CAPACITA' | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Autovettore N** | **m*Φ** | **m*Φ^2** | | | **Masse** | **Autovettore** |
| Φ1 | 0,062 | 46,48 | 2,88 | | | 750 | 0,001316 |
| Φ2 | 0,189 | 143,01 | 27,05 | | | 756 | 0,004017 |
| Φ3 | 0,354 | 258,56 | 91,46 | | | 731 | 0,007511 |
| Φ4 | 0,479 | 337,13 | 161,45 | | | 704 | 0,010169 |
| Φ5 | 0,597 | 411,89 | 245,87 | **Γ=** | **1,39** | 690 | 0,012676 |
| Φ6 | 0,710 | 480,22 | 341,14 | | | 676 | 0,015085 |
| Φ7 | 0,823 | 544,88 | 448,47 | | | 662 | 0,017478 |
| Φ8 | 0,926 | 601,11 | 556,75 | | | 649 | 0,019668 |
| Φ9 | 1,000 | 567,00 | 567,00 | | | 567 | 0,021235 |
| | | totale | 3390,27 | | m tot | 6185 | |




| CURVA DI CAPACITA' | | | |
|---|---|---|---|
| **Step** | **D* (m)** | **Vb (KN)** | **Sa (m/s^2)** |
| 0 | 0,000 | 0 | 0,000 |
| 1 | 0,005 | 208 | 0,061 |
| 2 | 0,023 | 693 | 0,204 |
| 3 | 0,045 | 993 | 0,293 |
| 4 | 0,065 | 1195 | 0,352 |
| 5 | 0,090 | 1306 | 0,385 |
| 6 | 0,113 | 1385 | 0,408 |
| 7 | 0,131 | 1426 | 0,421 |
| 8 | 0,132 | 1428 | 0,421 |
| 9 | 0,133 | 1429 | 0,421 |

### *4.6.6.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari stati limite*

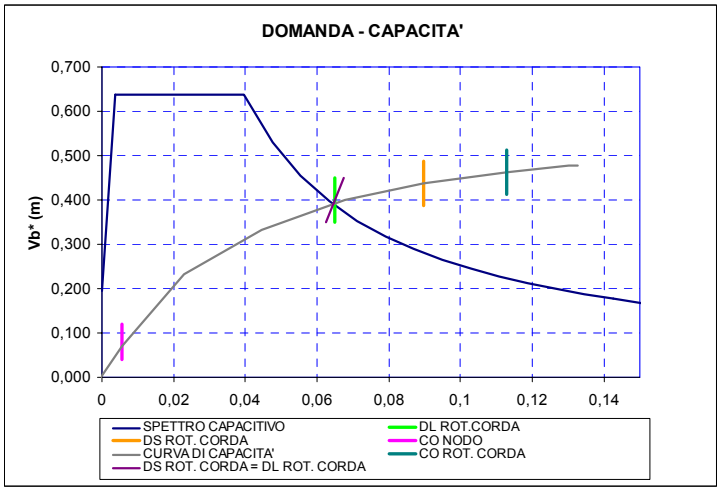
**STATO LIMITE DI DANNO LIEVE (rotazione rispetto alla corda)**




**PGA = 0.302 g**

**$\xi_{eq}$ = 17 %**

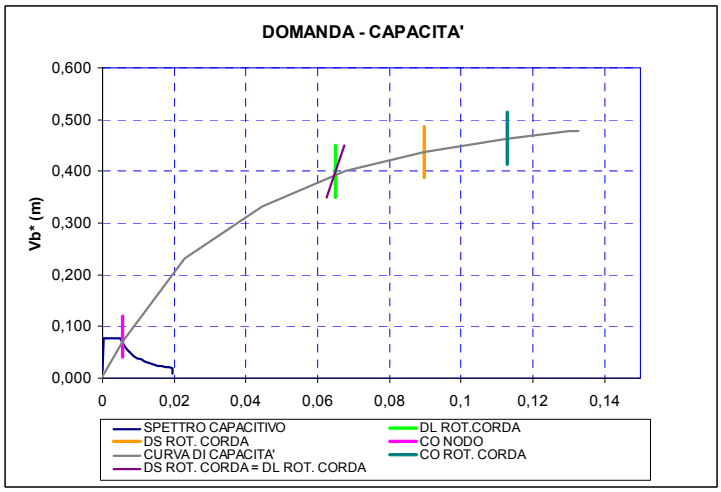
**STATO LIMITE DI DANNO SEVERO (rotazione rispetto alla corda)**




**PGA = 0.302g**

**$\xi_{eq}$ = 17**

**STATO LIMITE DI COLLASSO (collasso nodo)**




**PGA = 0.025**

**$\xi_{eq}$ = 5%**

**INDICATORI DI RISCHIO**

| Stato Limite | PGA | PGARIF | Tr | α |
|---|---|---|---|---|
| DL ROT. CORDA | 2.962 | 1.226 | 50%_50 | 2.415 |
| DS ROT. CORDA | 2.962 | 3.066 | 10%_50 | 0.966 |
| CO NODO | 0.245 | 4.598 | 2%_50 | 0.053 |
| CO TAGLIO PILASTRO | - | 4.598 | 2%_50 | - |
| CO ROT. CORDA | 5.199 | 4.598 | 2%_50 | 1.130 |

## 4.7 CONCLUSIONI

Di conseguenza gli indicatori di rischio da inserire nelle schede di sintesi, risultano:

INDICATORE DI RISCHIO DI INAGIBILITA'

$$\alpha_e = \frac{PGA_{DL}}{PGA_{50\%}} =$$

INDICATORE DI RISCHIO DI COLLASSO 2

$$\alpha_{U2} = \frac{PGA_{DS}}{PGA_{10\%}} =$$

INDICATORE DI RISCHIO DI COLLASSO 1

$$\alpha_{U1} = \frac{PGA_{CO}}{PGA_{2\%}} =$$

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva con i risultati dei quattro casi sopra descritti:

| **RIPEILOGO INDICATORI DI RISCHIO SETTORE B - γI = 1** | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **MODELLI** | | **Distribuzione triangolare** | | | | **Distribuzione uniforme** | | | |
| | | **Direzione X** | | **Direzione Y** | | **Direzione X** | | **Direzione Y** | |
| **STATO LIMITE** | **PGA Rif.** | **PGA Analisi** | **α** | **PGA Analisi** | **α** | **PGA Analisi** | **α** | **PGA Analisi** | **α** |
| danno lieve rotazione alla corda | 1.226 | 3.365 | **2.744** | 3.384 | **2.759** | 3.728 | **3.040** | 2.269 | **2.415** |
| danno severo rotazione alla corda | 3.066 | 3.365 | **1.097** | 3.384 | **1.104** | 5.003 | **1.632** | 2.269 | **0.966** |
| collasso rotazione alla corda | 4.599 | 5.543 | **1.205** | 5.001 | **1.087** | 5.984 | **1.301** | 5.199 | **1.130** |
| collasso nodo | 4.599 | 1.373 | **0.021** | 0.226 | **0.049** | 0.118 | **0.064** | 0.245 | **0.053** |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| collasso pilastro a taglio | 4.599 | -- | -- | -- | -- | 6.426 | **1.397** | -- | -- |

# 5. RELAZIONE DI CALCOLO CORPO E

## 5.1 PREMESSA

Il settore esaminato in questa parte è costituito principalmente da telai piani in c.a

## 5.2 LIVELLO DI CONOSCENZA RAGGIUNTO

La determinazione del livello di conoscenza è necessaria per definire i parametri meccanici ed i fattori di confidenza (FC).
In relazione alla Tabella 11.1 della normativa di riferimento si specifica:
- **Geometria**: è stata ottenuta da disegni di carpenteria originali; è stato eseguito inoltre un rilievo visivo a campione.
- **Dettagli strutturali**: sono stati desunti dai disegni costruttivi completi e da **"limitate verifiche in situ"**.
- **Materiali**: sono state eseguite **"limitate prove in situ"**.

Considerato quanto sopra si conclude che il livello di conoscenza acquisito per l'edificio in oggetto è **LC2** che comporta un Fattore di Confidenza **FC = 1.2**.

## 5.3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI ADOTTATE NELL'ANALISI

Sulla base delle prescrizioni progettuali, delle prove effettuate e considerato il fattore di confidenza **FC = 1.2**, si è scelto di adottare per i materiali le seguenti caratteristiche di calcolo:
- **CLS**

$f_c$ = 18 N/mm$^2$

E = 28500 N/mm$^2$

$w_{CLS}$ = 25.00 kN/m$^3$

- **ACCIAIO (AQ50-60)**

$f_y$ = 295 N/mm$^2$

E = 206000 N/mm$^2$

## 5.4 ANALISI DEI CARICHI

Per la valutazione dei carichi agenti sono stati adottati valori tradizionalmente riportati in letteratura.

### 5.4.1 Valutazione carico neve

E' stato considerato $\Rightarrow$ $\mathbf{q_{neve} = 1.20\ kN/m^2}$

### 5.4.2 Solaio piani latero/cemento 1° livello (16+4)

**Permanenti:**

| | | |
|---|---|---|
| peso proprio solaio: | | = 2.50 kN/m$^2$ |
| sovracc. perm.: | | = 1.50 kN/m$^2$ |
| tramezzature: | | = 1.00 kN/m$^2$ |
| | **P** | **= 5.00 kN/m$^2$** |
| **Accidentale (ospedale):** | **Q** | **= 3.00 kN/m$^2$** |

### 5.4.3 Solaio latero/cemento (25+4) livello tipo

**Permanenti:**

| | | |
|---|---|---|
| peso proprio solaio: | | = 3.50 kN/m$^2$ |
| sovracc. perm.: | | = 1.50 kN/m$^2$ |
| tramezzature: | | = 1.00 kN/m$^2$ |
| | **P** | **= 6.00 kN/m$^2$** |
| **Accidentale (ospedale):** | **Q** | **= 3.00 kN/m$^2$** |

### 5.4.4 Solaio latero/cemento (20+4) 2° livello e livello tipo

**Permanenti:**

| | | |
|---|---|---|
| peso proprio solaio: | | = 3.0 kN/m$^2$ |
| sovracc. perm.: | | = 1.50 kN/m$^2$ |
| tramezzature: | | = 1.00 kN/m$^2$ |
| | **P** | **= 5.50 kN/m$^2$** |
| **Accidentale (ospedale):** | **Q** | **= 3.00 kN/m$^2$** |

### 5.4.5 Solaio latero/cemento (25+4) livellocopertura

**Permanenti:**

| | | |
|---|---|---|
| peso proprio solaio: | | = 3.50 kN/m$^2$ |
| sovracc. perm.: | | = 2.50 kN/m$^2$ |
| | **P** | **= 6.00 kN/m$^2$** |
| **Accidentale (ospedale):** | **Q** | **= 3.00 kN/m$^2$** |

### 5.4.6 Scala in C.A.

**Permanenti:**

| | | |
|---|---|---|
| soletta in C.A. | | = 4.00 kN/m$^2$ |
| sovracc. perm.: | | = 2.00 kN/m$^2$ |
| | **P** | **= 6.00 kN/m$^2$** |
| **Accidentale (scala):** | **Q** | **= 4.00 kN/m$^2$** |

### 5.4.7 Tamponatura perimetrale

**Permanenti:**

muratura esterna: = 14 kN/m$^2$

**N.B.** Per le pareti finestrate sono state valutate opportune riduzioni del carico dovuto alle tamponature.

## 5.5 MODELLO STRUTTURALE

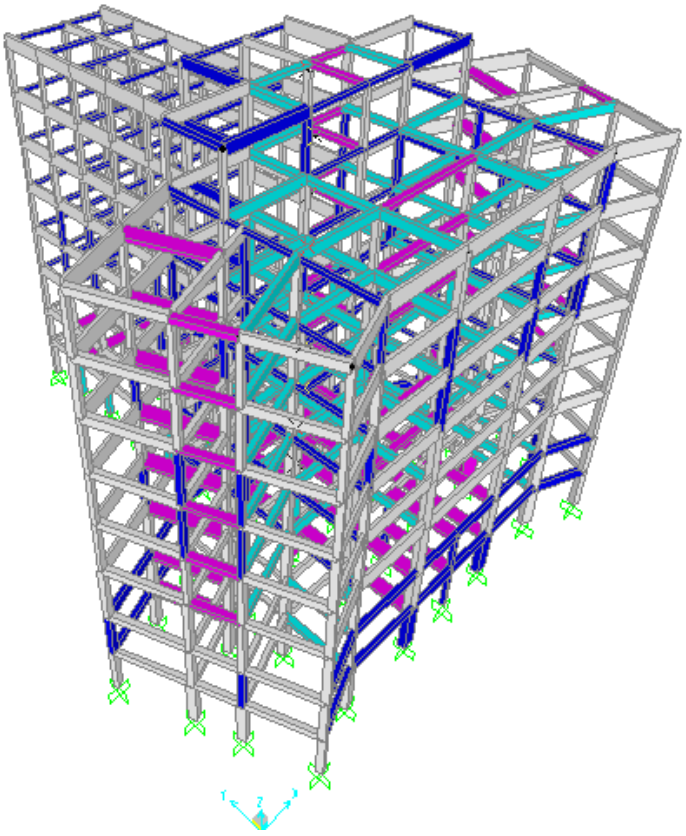
Il modello di calcolo utilizzato è di tipo tridimensionale ed è stato costruito con elementi di tipo "frame" per la schematizzazione degli elementi snelli (travi e pilastri).

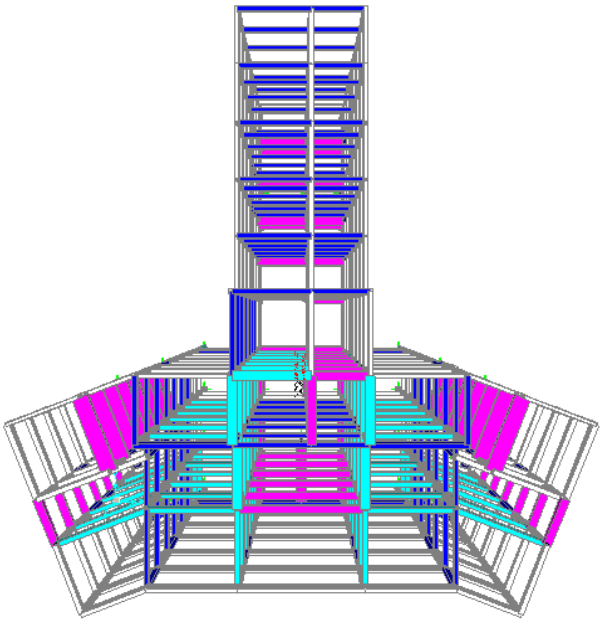
### 5.5.1 Dettagli sulla modellazione

Nella modellazione della struttura sono stati utilizzati i seguenti accorgimenti:

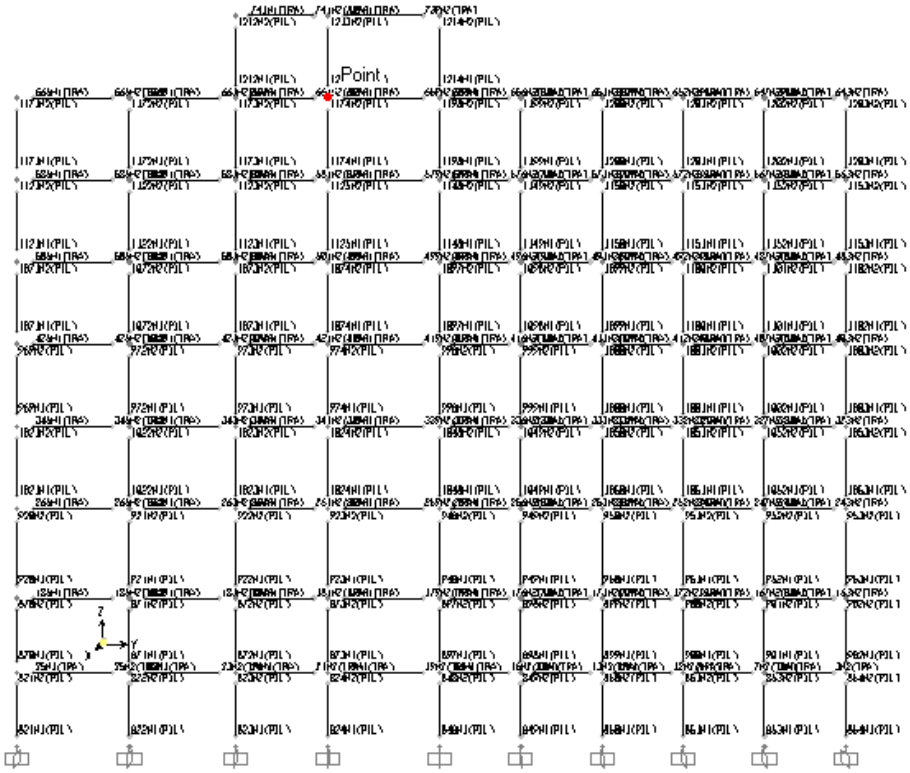
- Tutti gli impalcati sono stati considerati infinitamente rigidi nel loro piano essendo costituiti da solai in laterocemento con getto di soletta di completamento.
- I pilastri del primo ordine sono stati considerati incastrati a terra.
- Ove ritenuto necessario sono stati inseriti degli elementi infinitamente rigidi ("braccetti rigidi") al fine di riprodurre in maniera più accurata la presenza di nodi di grandi dimensioni e quindi di elementi tozzi.
- Le rigidezze a taglio e flessionali degli elementi trave sono state ridotte al 50% (come consigliato dalla normativa di riferimento) al fine di tenere in considerazione l'effetto della fessurazione delle sezioni in C.A. sottoposte a notevoli curvature; le rigidezze dei pilastri, in virtù dello sforzo assiale presente, non sono invece state abbattute.
- Per le zone degli elementi strutturali ove è possibile che abbiano luogo fenomeni di escursione in campo post-elastico, sono state adottate opportune leggi di comportamento (cerniere plastiche o plastic hinges) in grado di riprodurre il comportamento della sezione in campo non-lineare nei confronti di varie caratteristiche di sollecitazione (solitamente momento flettente e taglio).
- Le cerniere plastiche dei pilastri sono state valutate tenendo in considerazione lo sforzo assiale presente in condizioni statiche, essendo quest'ultimo un fattore in grado di influenzare fortemente la capacità di rotazione delle stesse.
- Per gli elementi in c.a dove non è stato possibile risalire alle armature presenti allo stato attuale, si è proceduto per gli stessi alla determinazione manuale dei minimi quantitativi di acciaio necessari per condizioni statiche.

## Immagini modello 3D



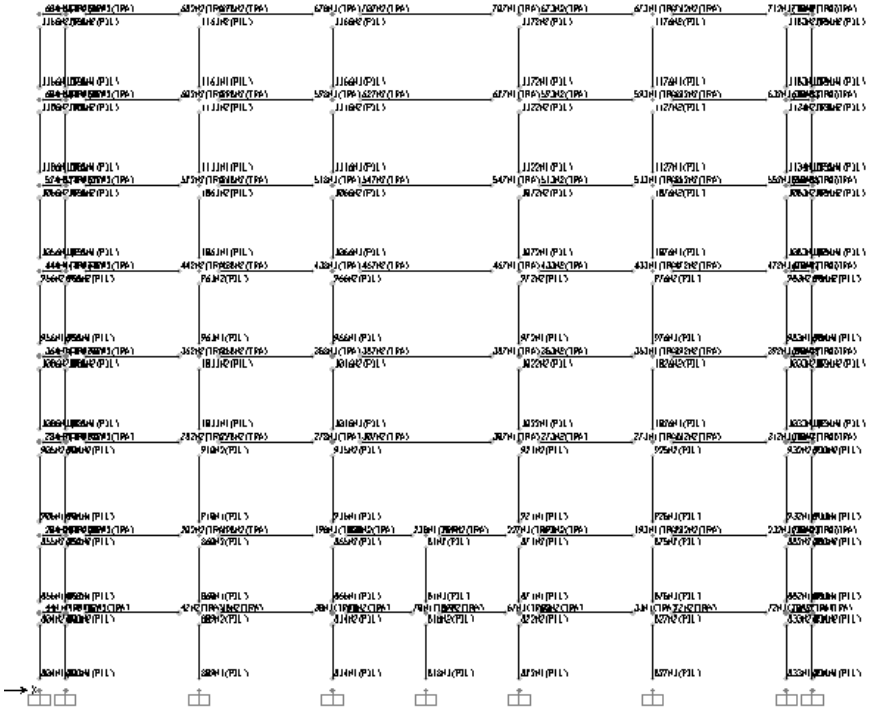


## ⇒ Posizionamento delle cerniere plastiche (lato parallelo all'asse Y )



## Sezione Longitudinale

## ⇒ Posizionamento delle cerniere plastiche (lato parallelo all'asse X )



## Sezione trasversale

## 5.6 RISULTATI DELLE ELABORAZIONI

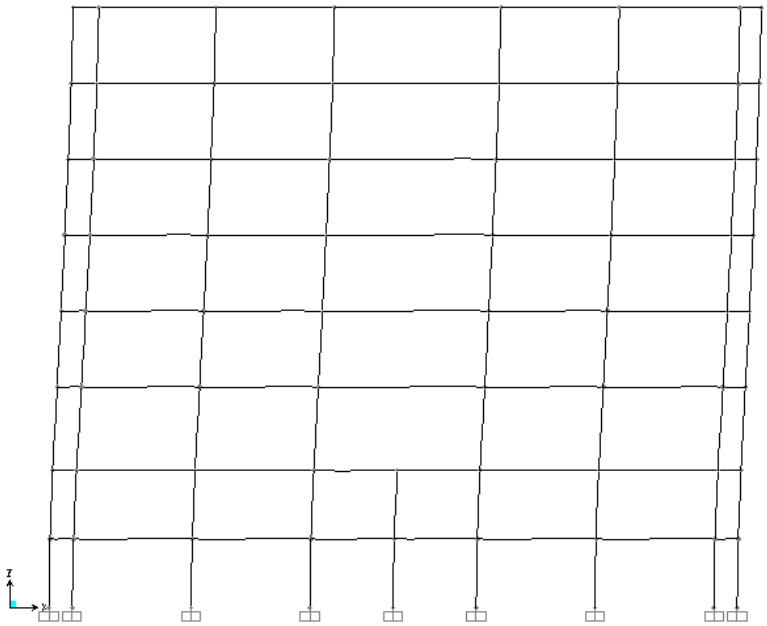
### 5.6.1 Analisi modale

Di seguito si riportano i principali risultati dell'analisi modale (elastica) condotta sulla struttura ed alcune immagini relative ai modi principali.

| TABLE: Modal Participating Mass Ratios | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OutputCase | StepType | StepNum | Period | UX | UY | UZ | SumUX | SumUY | SumUZ |
| Text | Text | Unitless | Sec | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless |
| MODAL | Mode | 1 | 2,343847 | 0,18189 | 0,00028 | 5,127E-09 | 0,18189 | 0,00028 | 5,127E-09 |
| MODAL | Mode | 2 | 2,042517 | 0,00026 | 0,71687 | 2,68E-08 | 0,18214 | 0,71715 | 3,193E-08 |
| MODAL | Mode | 3 | 1,742848 | 0,52129 | 0,0000743 | 2,465E-12 | 0,70343 | 0,71723 | 3,193E-08 |
| MODAL | Mode | 4 | 0,809457 | 0,03801 | 0,00001215 | 2,742E-09 | 0,74144 | 0,71724 | 3,467E-08 |
| MODAL | Mode | 5 | 0,7097 | 0,00001314 | 0,11125 | 1,068E-07 | 0,74145 | 0,82849 | 1,415E-07 |
| MODAL | Mode | 6 | 0,624804 | 0,07534 | 0,000006056 | 4,197E-09 | 0,81679 | 0,82849 | 1,457E-07 |
| MODAL | Mode | 7 | 0,464627 | 0,02135 | 0,00002691 | 9,914E-12 | 0,83814 | 0,82852 | 1,457E-07 |
| MODAL | Mode | 8 | 0,416777 | 0,00002331 | 0,05062 | 1,997E-08 | 0,83816 | 0,87914 | 1,657E-07 |
| MODAL | Mode | 9 | 0,377478 | 0,02412 | 0,00001092 | 7,688E-08 | 0,86228 | 0,87915 | 2,426E-07 |
| MODAL | Mode | 10 | 0,329322 | 0,00545 | 0,00009366 | 5,851E-09 | 0,86773 | 0,87925 | 2,484E-07 |
| MODAL | Mode | 11 | 0,307691 | 0,00436 | 0,02507 | 1,692E-07 | 0,87208 | 0,90432 | 4,176E-07 |
| MODAL | Mode | 12 | 0,305018 | 0,02288 | 0,0047 | 1,291E-07 | 0,89496 | 0,90901 | 5,467E-07 |
| MODAL | Mode | 13 | 0,272676 | 0,0007 | 0,00015 | 9,084E-08 | 0,89566 | 0,90916 | 6,375E-07 |
| MODAL | Mode | 14 | 0,248923 | 0,00005445 | 0,02425 | 2,451E-07 | 0,89572 | 0,93341 | 8,827E-07 |
| MODAL | Mode | 15 | 0,233641 | 0,02816 | 0,00011 | 4,252E-08 | 0,92388 | 0,93352 | 9,252E-07 |
| MODAL | Mode | 16 | 0,219969 | 0,00209 | 0,00008077 | 3,535E-07 | 0,92597 | 0,9336 | 0,000001279 |
| MODAL | Mode | 17 | 0,202904 | 0,00003803 | 0,01697 | 7,497E-08 | 0,92601 | 0,95057 | 0,000001354 |
| MODAL | Mode | 18 | 0,183683 | 0,02136 | 0,00004847 | 1,731E-08 | 0,94736 | 0,95061 | 0,000001371 |
| MODAL | Mode | 19 | 0,177239 | 0,00024 | 0,00006226 | 1,837E-07 | 0,9476 | 0,95068 | 0,000001555 |
| MODAL | Mode | 20 | 0,165044 | 0,00002494 | 0,01188 | 2,857E-07 | 0,94763 | 0,96256 | 0,00000184 |
| MODAL | Mode | 21 | 0,145656 | 0,01384 | 0,000004898 | 2,103E-07 | 0,96147 | 0,96256 | 0,000002051 |
| MODAL | Mode | 22 | 0,138892 | 0,00118 | 0,00002245 | 7,092E-08 | 0,96266 | 0,96259 | 0,000002122 |
| MODAL | Mode | 23 | 0,129648 | 3,579E-08 | 0,00002934 | 0,18112 | 0,96266 | 0,96262 | 0,18113 |
| MODAL | Mode | 24 | 0,1284 | 0,00001143 | 0,00876 | 0,00041 | 0,96267 | 0,97138 | 0,18154 |
| MODAL | Mode | 25 | 0,127892 | 1,721E-12 | 3,475E-08 | 0,04757 | 0,96267 | 0,97138 | 0,2291 |
| MODAL | Mode | 26 | 0,122195 | 2,907E-07 | 4,863E-07 | 0,06953 | 0,96267 | 0,97138 | 0,29863 |
| MODAL | Mode | 27 | 0,121614 | 2,384E-07 | 2,602E-07 | 0,0551 | 0,96267 | 0,97138 | 0,35373 |

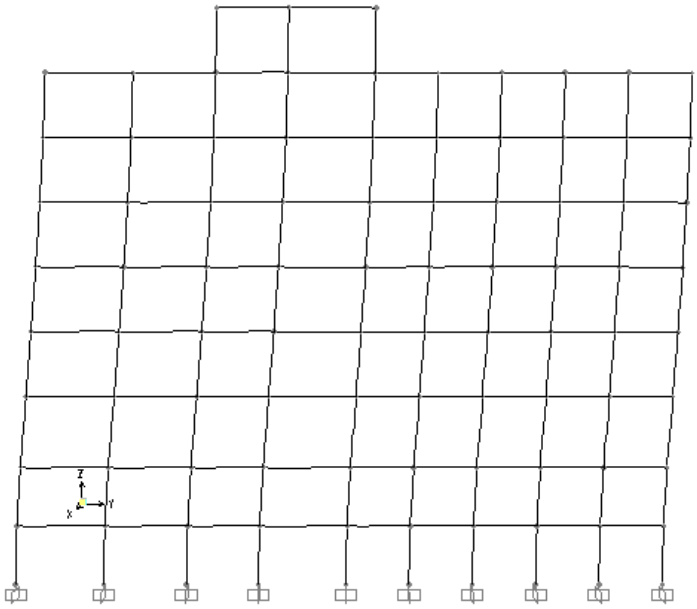
Si riportano di seguito le deformate corrispondenti ai primi tre modi della struttura

⇒ **Modo 3 – T = 1.74(traslazionale lungo X)**



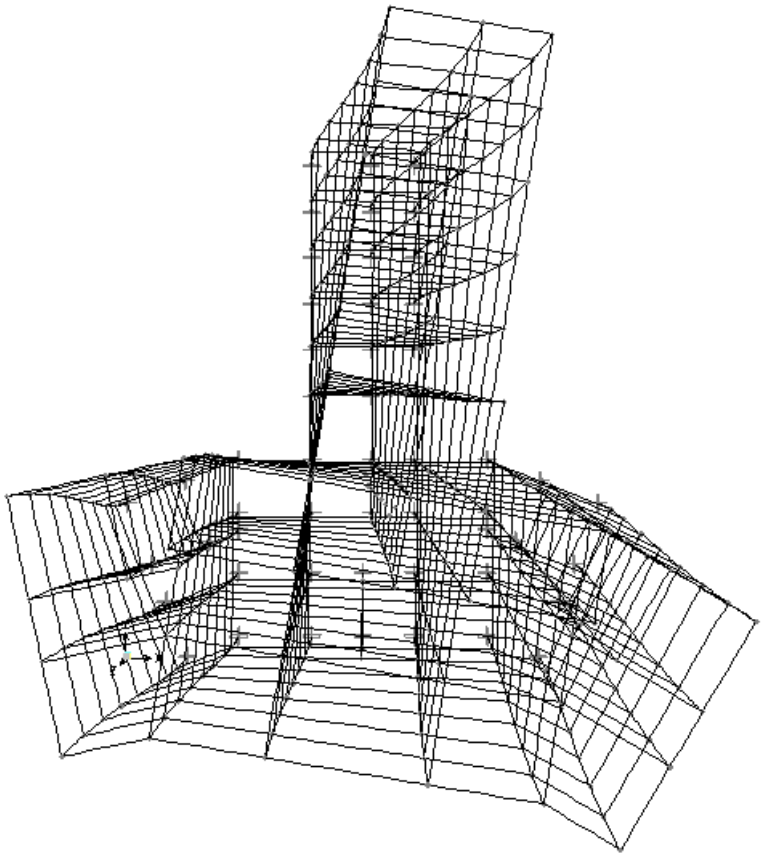
**Sezione Trasversale**

⇒ **Modo 2 – T = 2.04 (traslazione lungo Y)**




**Sezione Longitudinale**

⇒ **Modo 3 – T = 1.82 s (rotazionale intorno a Z)**



### 5.6.2 Analisi statica non lineare (pushover)

Di seguito si riportano:

- le masse assemblate ai baricentri dei vari piani
- la distribuzione di forze orizzontali

L'analisi statica non lineare è stata svolta separatamente nelle due direzioni X e Y rispettivamente applicando ai centri di massa le seguenti distribuzioni di forze.

I due sistemi di forze sono di seguito riportati:

| DISTRIBUZIONE TRIANGOLARE - TIPO 1 | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Mtot(t) | Zi(m) | Zi * Wi | SaX | Fh tot | Wi | Fx(KN) | Fy(KN) |
| 1 | 1290 | 3,30 | 41761,17 | 2,2 | 19470 | 12654,9 | 612 | 521 |
| 2 | 1268 | 6,6 | 82097,928 | SaY | | 12439,1 | 1203 | 1025 |
| 3 | 1116 | 10,6 | 116048,38 | 1,874 | 16584,9 | 10948 | 1700 | 1448 |
| 4 | 1084 | 14,25 | 151535,07 | | | 10634 | 2220 | 1891 |
| 5 | 1065 | 17,9 | 187012,94 | | | 10447,7 | 2740 | 2334 |
| 6 | 1046 | 21,55 | 221130,15 | | | 10261,3 | 3240 | 2760 |
| 7 | 1030 | 25,2 | 254628,36 | | | 10104,3 | 3731 | 3178 |
| 8 | 798 | 28,85 | 225848,76 | | | 7828,38 | 3309 | 2819 |
| 9 | 153 | 32,5 | 48780,225 | | | 1500,93 | 715 | 609 |
| Totale | 8850 | | 1328843 | | | | 19470 | 16585 |

| DISTRIBUZIONE COSTANTE - TIPO 2 | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Mtot(t) | Zi(m) | | SaX | | Wi | Fx(KN) | Fy(KN) |
| 1 | 1290 | 3,30 | | 2,2 | | 12654,9 | 2838 | 2417 |
| 2 | 1268 | 6,6 | | SaY | | 12439,1 | 2790 | 2376 |
| 3 | 1116 | 10,6 | | 1,874 | | 10948 | 2455 | 2091 |
| 4 | 1084 | 14,25 | | | | 10634 | 2385 | 2031 |
| 5 | 1065 | 17,9 | | | | 10447,7 | 2343 | 1996 |
| 6 | 1046 | 21,55 | | | | 10261,3 | 2301 | 1960 |
| 7 | 1030 | 25,2 | | | | 10104,3 | 2266 | 1930 |
| 8 | 798 | 28,85 | | | | 7828,38 | 1756 | 1495 |
| 9 | 153 | 32,5 | | | | 1500,93 | 337 | 287 |
| Totale | 8850 | | | | | | 19470 | 16585 |

Sulla struttura in oggetto sono state quindi eseguite le seguenti analisi pushover:

**1.** Pushover n.1 - Direzione X Sistema di forze Tipo 1
**2.** Pushover n.2 - Direzione X Sistema di forze Tipo 2
**3.** Pushover n.3 - Direzione Y Sistema di forze Tipo 1
**4.** Pushover n.4 - Direzione Y Sistema di forze Tipo 2

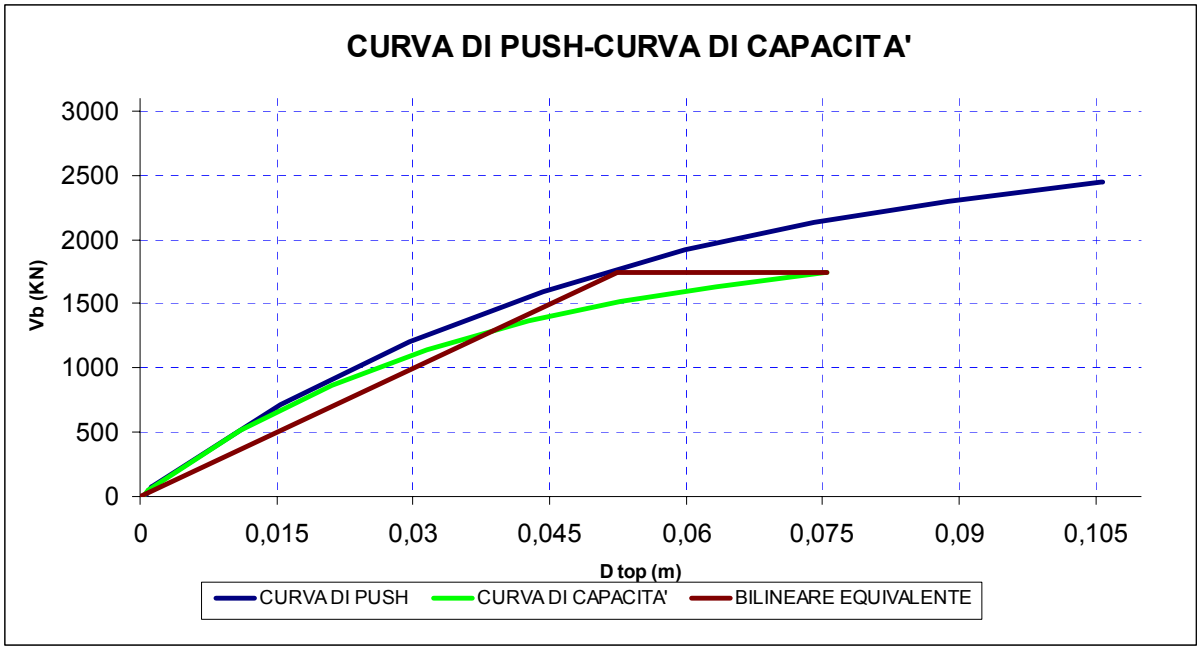
Di seguito si riportano le Curve di Push, le Curve di Capacità e le relative conversioni nel sistema elasto-plastico equivalente.

### 5.6.3 Pushover n°1

Pushover in direzione X con applicato alla struttura il sistema di forze Tipo 1(triangolare).

### *5.6.3.1 Curva di push*

Si riporta la curva di push in termini di taglio totale alla base nella direzione considerata e spostamento del baricentro del 9°piano ($V_{base}$ – $D_{top}$).

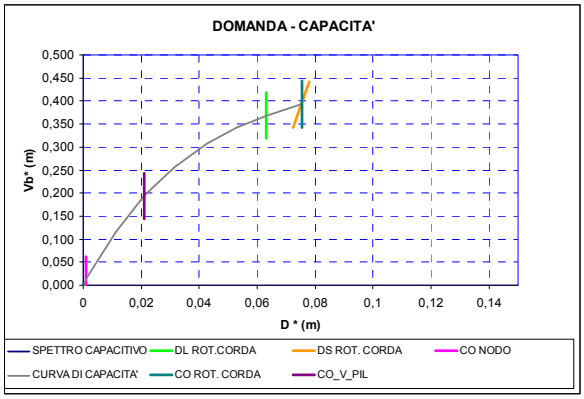



| CURVA DI PUSCH | | |
|---|---|---|
| Step | D top (m) | Vb (KN) |
| 0 | 0,000447 | 0 |
| 1 | 0,001188 | 79 |
| 2 | 0,015469 | 720 |
| 3 | 0,029555 | 1209 |
| 4 | 0,044296 | 1596 |
| 5 | 0,059824 | 1921 |
| 6 | 0,074056 | 2134 |
| 7 | 0,088677 | 2296 |
| 8 | 0,105554 | 2445 |
| 9 | 0,105772 | 2450 |
| 10 | 0,105809 | 2450 |
| | | |

### *5.6.3.2 Curva di capacita' e sistema sdof bilineare equivalente*

**ALGORITMI DI TRASFORMAZIONE TRA CURVA DI PUSH E CURVA DI CAPACITA'**

| | Autovettore N | m*Φ | m*Φ^2 | | | Masse | Autovettore |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Φ1 | 0,043 | 55,01 | 2,35 | | | 1290 | 0,00065 |
| Φ2 | 0,145 | 184,20 | 26,76 | | | 1268 | 0,00222 |
| Φ3 | 0,322 | 359,86 | 116,04 | | | 1116 | 0,00493 |
| Φ4 | 0,478 | 518,64 | 248,14 | | | 1084 | 0,00732 |
| Φ5 | 0,629 | 669,90 | 421,38 | Γ= | 1,40 | 1065 | 0,00962 |
| Φ6 | 0,771 | 806,20 | 621,38 | | | 1046 | 0,01178 |
| Φ7 | 0,890 | 916,82 | 816,08 | | | 1030 | 0,01361 |
| Φ8 | 0,977 | 779,84 | 762,09 | | | 798 | 0,01494 |
| Φ9 | 1,000 | 153,00 | 153,00 | | | 153 | 0,01529 |
| | totale | 4443,47 | | | | | |

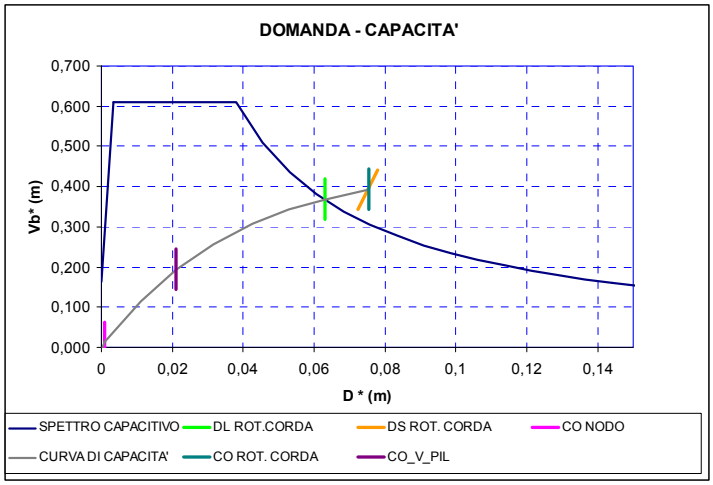



**CURVA DI CAPACITA'**

| Step | D* (m) | Vb (KN) | Sa (m/s^2) |
|---|---|---|---|
| 0 | 0,000 | 0 | 0,000 |
| 1 | 0,001 | 56 | 0,013 |
| 2 | 0,011 | 513 | 0,116 |
| 3 | 0,021 | 862 | 0,194 |
| 4 | 0,032 | 1138 | 0,256 |
| 5 | 0,043 | 1369 | 0,308 |
| 6 | 0,053 | 1521 | 0,342 |
| 7 | 0,063 | 1637 | 0,368 |
| 8 | 0,075 | 1743 | 0,392 |
| 9 | 0,075 | 1746 | 0,393 |
| 10 | 0,075 | 1746 | 0,393 |

### *5.6.3.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari stati limite*

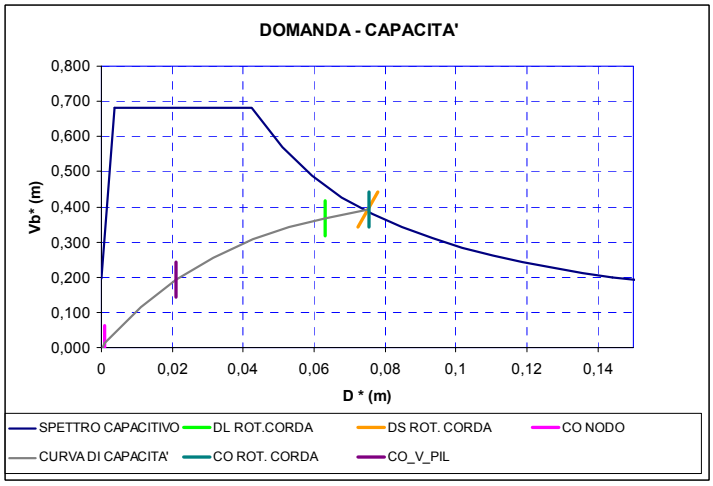
**STATO LIMITE DI DANNO LIEVE (rotazione rispetto alla corda)**




**PGA = 0.370g**

**$\xi_{eq}$ = 18.0 %**

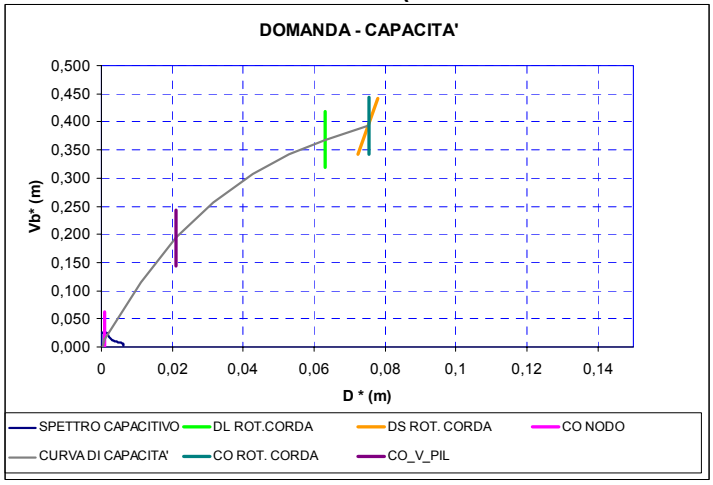
**STATO LIMITE DI DANNO SEVERO (rotazione rispetto alla corda)**




**PGA = 0.44g**

**$\xi_{eq}$ = 21.0%**

**STATO LIMITE DI COLLASO (collasso nodo e collasso a taglio pilastro)**




**PGA = 0.010 g**

**$\xi_{eq}$ = 5.0 %**

**INDICATORI DI RISCHIO**

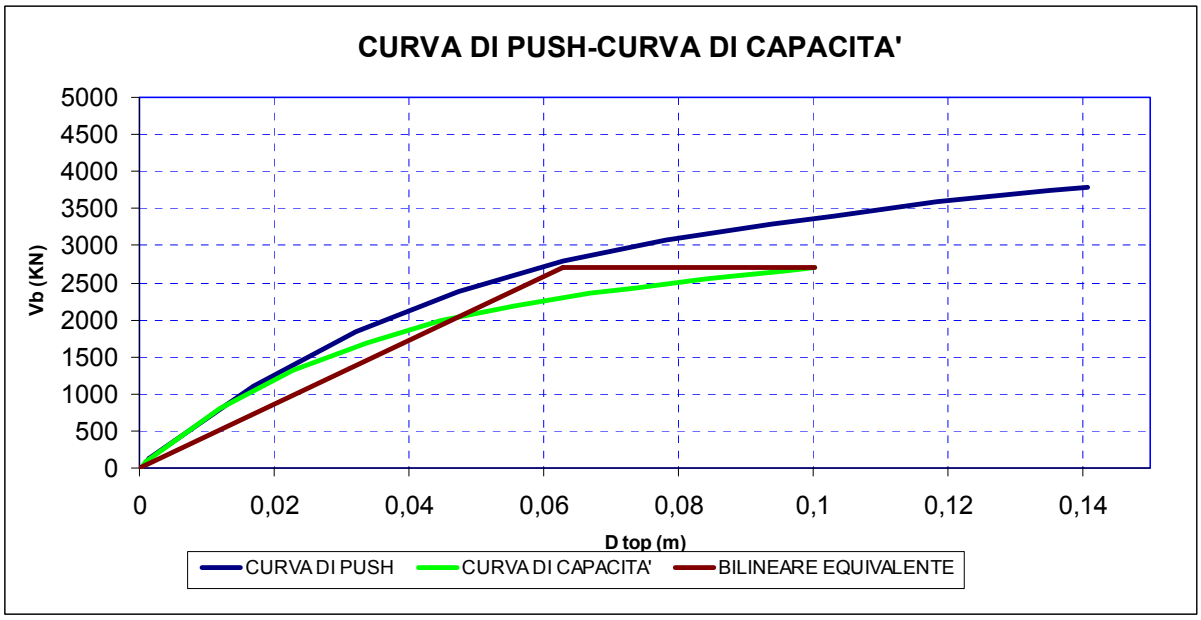
| Stato Limite | PGA | PGARIF | Tr | α |
|---|---|---|---|---|
| DL ROT. CORDA | 3.629 | 1.226 | 50%_50 | 2.959 |
| DS ROT. CORDA | 4.316 | 3.066 | 10%_50 | 1.408 |
| CO NODO | 0.098 | 4.598 | 2%_50 | 0.021 |
| CO TAGLIO PILASTRO | 1.226 | 4.598 | 2%_50 | 0.267 |
| CO ROT. CORDA | 4.310 | 4.598 | 2%_50 | 0.937 |

### 5.6.4 Pushover n°2

Pushover in direzione X con applicato alla struttura il sistema di forze Tipo 2 (costante)

#### *5.6.4.1 Curva di push*

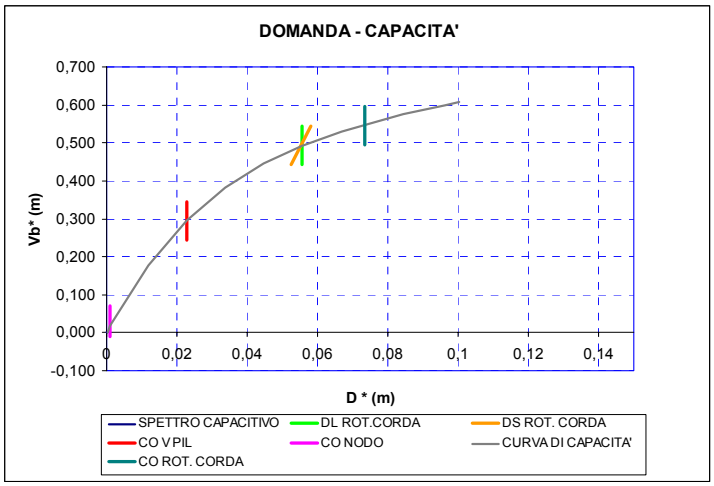
Si riporta la curva di push in termini di taglio totale alla base nella direzione considerata e spostamento del baricentro del 9piano ($V_{base}$ – $D_{top}$).




| CURVA DI PUSCH | | |
|---|---|---|
| Step | D top (m) | Vb (KN) |
| 0 | 0,000447 | 0 |
| 1 | 0,001318 | 123 |
| 2 | 0,016853 | 1113 |
| 3 | 0,032049 | 1838 |
| 4 | 0,047335 | 2377 |
| 5 | 0,062906 | 2786 |
| 6 | 0,078176 | 3075 |
| 7 | 0,093807 | 3300 |
| 8 | 0,103042 | 3402 |
| 9 | 0,103043 | 3402 |
| 10 | 0,118342 | 3591 |
| 11 | 0,13491 | 3741 |
| 12 | 0,140776 | 3784 |
| | | |

### *5.6.4.2 Curva di capacita' e sistema sdof bilineare equivalente*

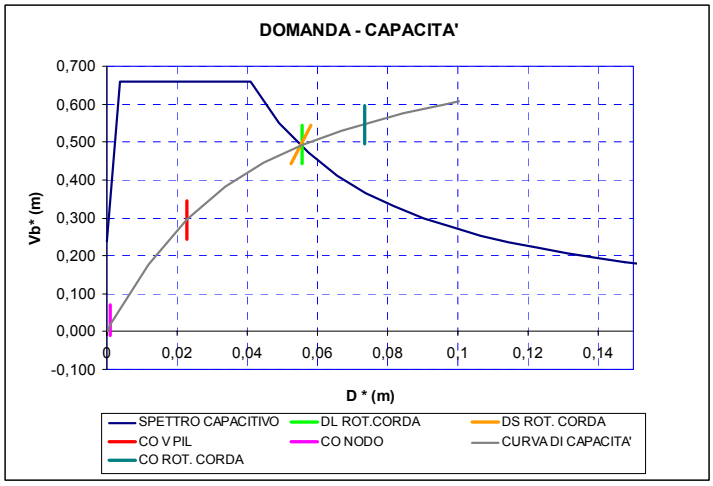
| ALGORITMI DI TRASFORMAZIONE TRA CURVA DI PUSH E CURVA DI CAPACITA' | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Autovettore N | m*Φ | m*Φ^2 | | | Masse | Autovettore |
| | | | | | | | |
| Φ1 | 0,043 | 55,01 | 2,35 | | | 1290 | 0,00065 |
| Φ2 | 0,145 | 184,20 | 26,76 | | | 1268 | 0,00222 |
| Φ3 | 0,322 | 359,86 | 116,04 | | | 1116 | 0,00493 |
| Φ4 | 0,478 | 518,64 | 248,14 | | | 1084 | 0,00732 |
| Φ5 | 0,629 | 669,90 | 421,38 | Γ= | 1,40 | 1065 | 0,00962 |
| Φ6 | 0,771 | 806,20 | 621,38 | | | 1046 | 0,01178 |
| Φ7 | 0,890 | 916,82 | 816,08 | | | 1030 | 0,01361 |
| Φ8 | 0,977 | 779,84 | 762,09 | | | 798 | 0,01494 |
| Φ9 | 1,000 | 153,00 | 153,00 | | | 153 | 0,01529 |
| | totale | 4443,47 | | | | | |




| CURVA DI CAPACITA' | | | |
|---|---|---|---|
| Step | D* (m) | Vb (KN) | Sa (m/s^2) |
| 0 | 0,000 | 0 | 0,000 |
| 1 | 0,001 | 88 | 0,020 |
| 2 | 0,012 | 794 | 0,179 |
| 3 | 0,023 | 1310 | 0,295 |
| 4 | 0,034 | 1694 | 0,381 |
| 5 | 0,045 | 1986 | 0,447 |
| 6 | 0,056 | 2192 | 0,493 |
| 7 | 0,067 | 2352 | 0,529 |
| 8 | 0,073 | 2425 | 0,546 |
| 9 | 0,073 | 2425 | 0,546 |
| 10 | 0,084 | 2559 | 0,576 |
| 11 | 0,096 | 2666 | 0,600 |
| 12 | 0,100 | 2697 | 0,607 |
| | | | |

### *5.6.4.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari stati limite*

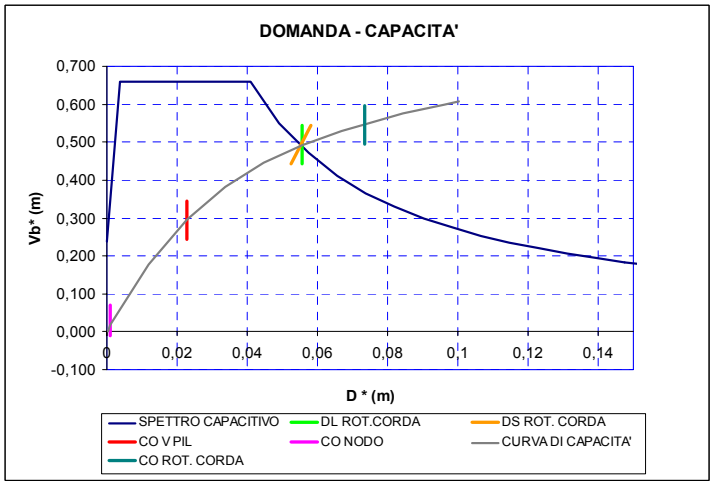
**STATO LIMITE DI DANNO LIEVE (rotazione rispetto alla corda)**




**PGA = 0.400g**

**$\xi_{eq}$ = 18.0 %**

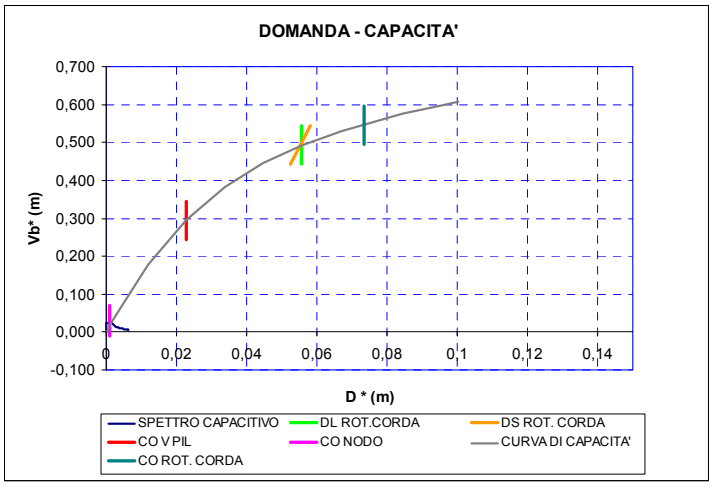
**STATO LIM ITE DI DANNO SEVERO (rotazione rispetto alla corda)**




**PGA = 0.400g**

**$\xi_{eq}$ = 18.0 %**

**STATO LIMITE DI COLLASSO (COLLASSO NODO)**




**PGA = 0.010 g**

**$\xi_{eq}$ = 5.0 %**

**INDICATORI DI RISCHIO**

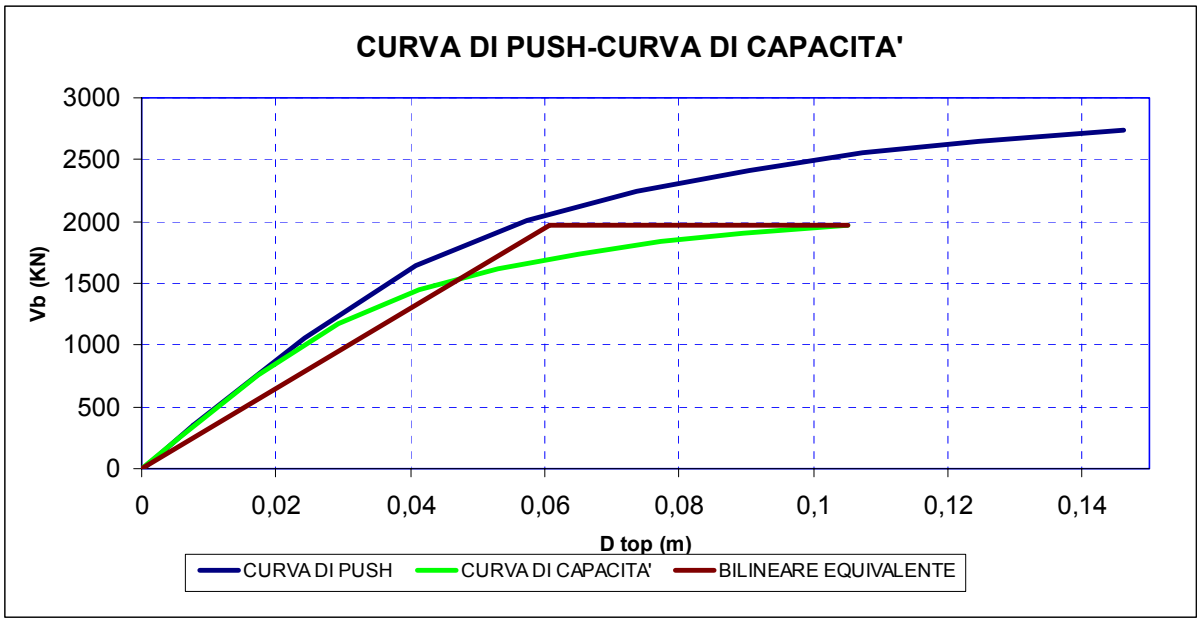
| Stato Limite | PGA | PGARIF | Tr | α |
|---|---|---|---|---|
| DL ROT. CORDA | 3.924 | 1.226 | 50%_50 | 3.200 |
| DS ROT. CORDA | 3.924 | 3.066 | 10%_50 | 1.280 |
| CO NODO | 0.098 | 4.598 | 2%_50 | 0.021 |
| CO TAGLIO PILASTRO | 1.520 | 4.598 | 2%_50 | 0.331 |
| CO ROT. CORDA | 5.100 | 4.598 | 2%_50 | 1.109 |

### 5.6.5 Pushover n°3

Pushover in direzione Y con applicato alla struttura il sistema di forze Tipo 1 (triangolare).

#### *5.6.5.1 Curva di push*

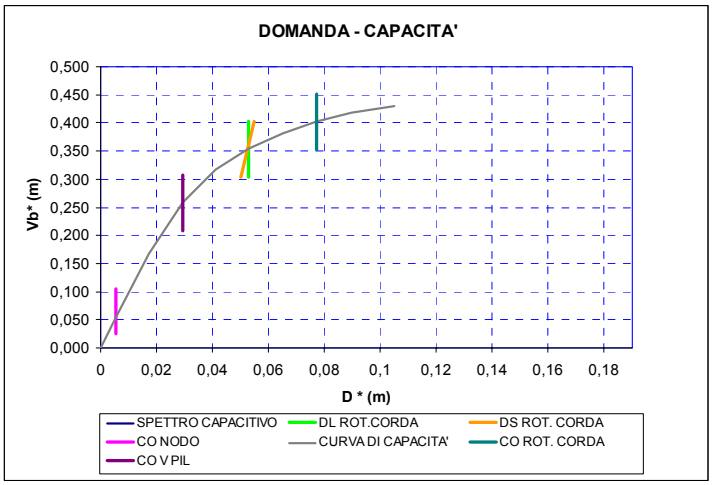
Si riporta la curva di push in termini di taglio totale alla base nella direzione considerata e spostamento del baricentro del 9°piano ($V_{base}$ – $D_{top}$).




| CURVA DI PUSCH | | |
|---|---|---|
| Step | D top (m) | Vb (KN) |
| 0 | 0,000134 | 0 |
| 1 | 0,00779 | 351 |
| 2 | 0,024128 | 1057 |
| 3 | 0,040688 | 1638 |
| 4 | 0,057251 | 2007 |
| 5 | 0,073595 | 2243 |
| 6 | 0,090417 | 2417 |
| 7 | 0,107291 | 2552 |
| 8 | 0,124444 | 2651 |
| 9 | 0,146047 | 2735 |
| | | |

### *5.6.5.2 Curva di capacita' e sistema sdof bilineare equivalente*

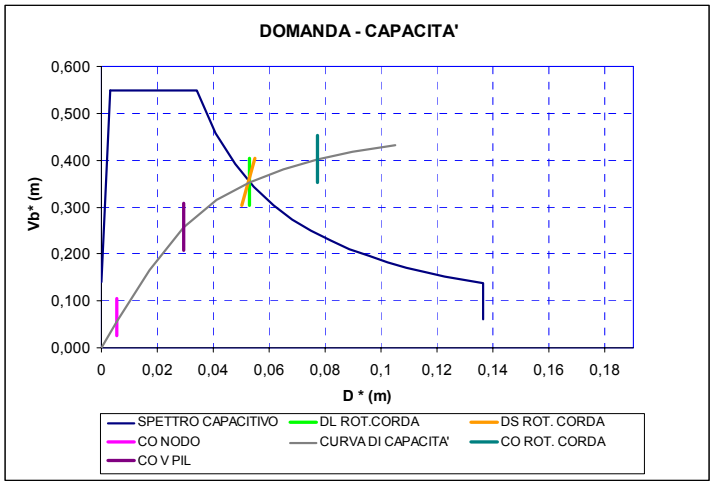
| ALGORITMI DI TRASFORMAZIONE TRA CURVA DI PUSH E CURVA DI CAPACITA' | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Autovettore N | m*Φ | m*Φ^2 | | | Masse | Autovettore |
| | | | | | | | |
| Φ1 | 0,047 | 60,44 | 2,83 | | | 1290 | 0,00082 |
| Φ2 | 0,157 | 198,79 | 31,17 | | | 1268 | 0,00273 |
| Φ3 | 0,342 | 381,98 | 130,74 | | | 1116 | 0,00597 |
| Φ4 | 0,507 | 549,43 | 278,48 | | | 1084 | 0,00884 |
| Φ5 | 0,658 | 701,08 | 461,52 | Γ= | 1,39 | 1065 | 0,01148 |
| Φ6 | 0,792 | 828,87 | 656,81 | | | 1046 | 0,01382 |
| Φ7 | 0,899 | 926,05 | 832,59 | | | 1030 | 0,01568 |
| Φ8 | 0,963 | 768,26 | 739,62 | | | 798 | 0,01679 |
| Φ9 | 1,000 | 153,00 | 153,00 | | | 153 | 0,01744 |
| | totale | 4567,90 | | | m tot | 8850 | |




| CURVA DI CAPACITA' | | | |
|---|---|---|---|
| Step | D* (m) | Vb (KN) | Sa (m/s^2) |
| 0 | 0,000 | 0 | 0,000 |
| 1 | 0,006 | 252 | 0,055 |
| 2 | 0,017 | 760 | 0,166 |
| 3 | 0,029 | 1178 | 0,258 |
| 4 | 0,041 | 1444 | 0,316 |
| 5 | 0,053 | 1614 | 0,353 |
| 6 | 0,065 | 1739 | 0,381 |
| 7 | 0,077 | 1836 | 0,402 |
| 8 | 0,090 | 1907 | 0,418 |
| 9 | 0,105 | 1968 | 0,431 |
| | | | |

### *5.6.5.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari stati limite*

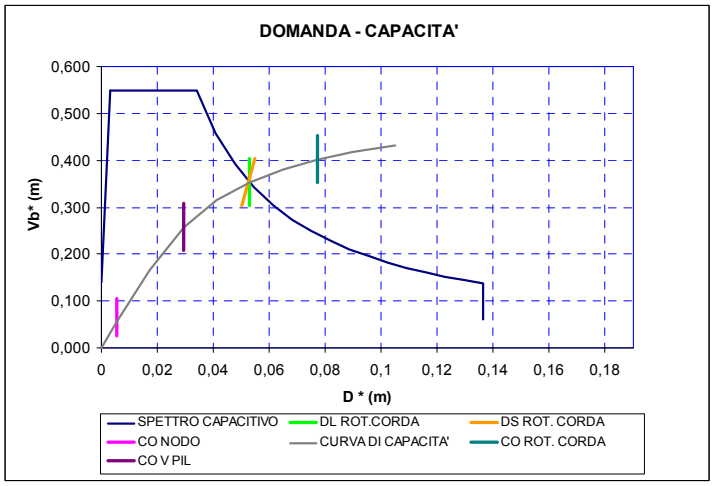
**STATO LIMITE DI DANNO LIEVE (rotazione rispetto alla corda)**




**PGA = 0.305g**

**$\xi_{eq}$ = 15.0%**

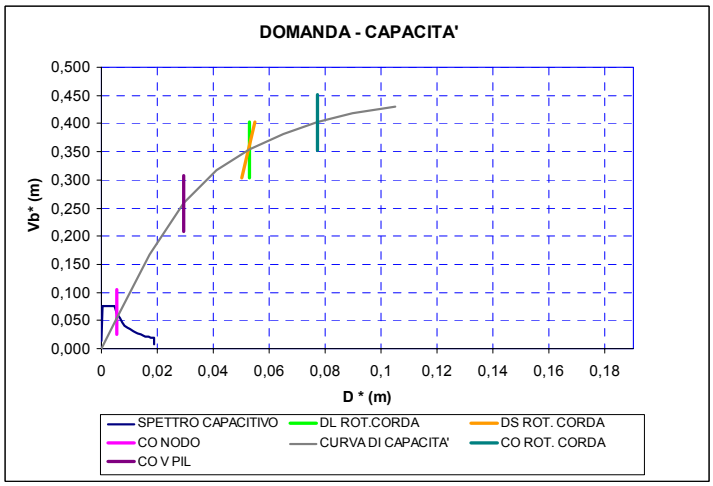
**STATO LIMITE DI DANNO SEVERO (rotazione rispetto alla corda)**




**PGA = 0.305g**

**$\xi_{eq}$ = 15.0 %**

**STATO LIMITE DI COLLASSO (collasso nodo)**




**PGA = 0.030g**

**$\xi_{eq}$ = 5.0 %**

**INDICATORI DI RISCHIO**

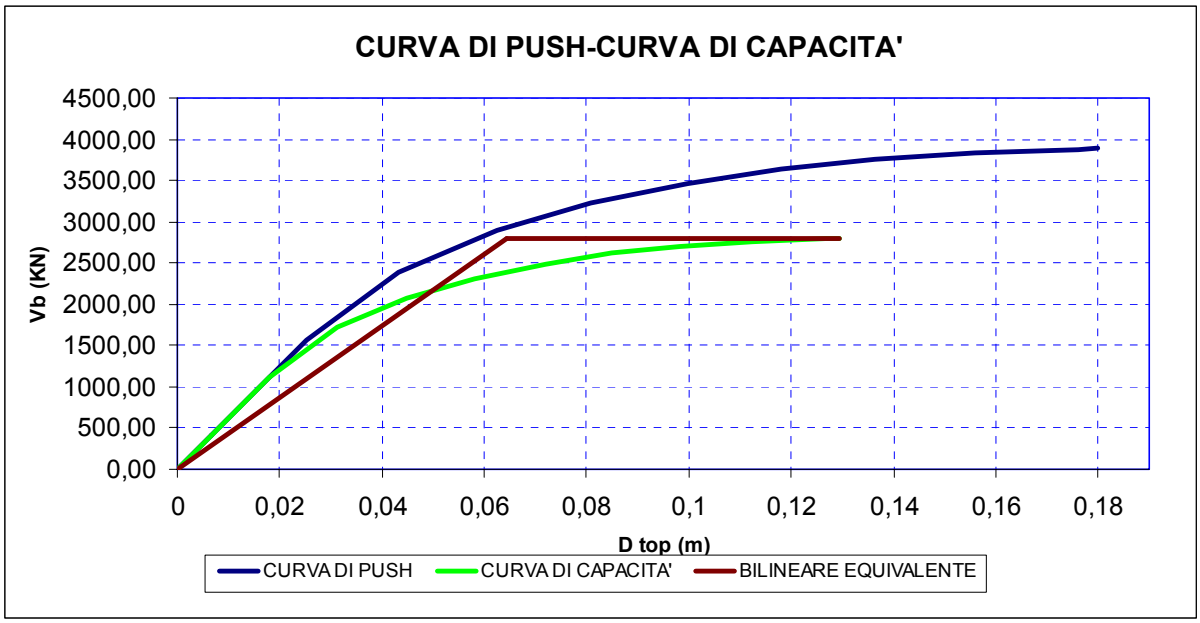
| Stato Limite | PGA | PGARIF | Tr | α |
|---|---|---|---|---|
| DL ROT. CORDA | 2.990 | 1.226 | 50%_50 | 2.438 |
| DS ROT. CORDA | 2.990 | 3.066 | 10%_50 | 0.976 |
| CO NODO | 0.294 | 4.598 | 2%_50 | 0.064 |
| CO TAGLIO PILASTRO | 1.569 | 4.598 | 2%_50 | 0.341 |
| CO ROT. CORDA | 4.510 | 4.598 | 2%_50 | 0.981 |

### 5.6.6 Pushover n°4

Pushover in direzione Y con applicato alla struttura il sistema di forze Tipo 2 (costante).

#### *5.6.6.1 Curva di push*

Si riporta la curva di push in termini di taglio totale alla base nella direzione considerata e spostamento del baricentro del 9°piano ($V_{base}$ – $D_{top}$).

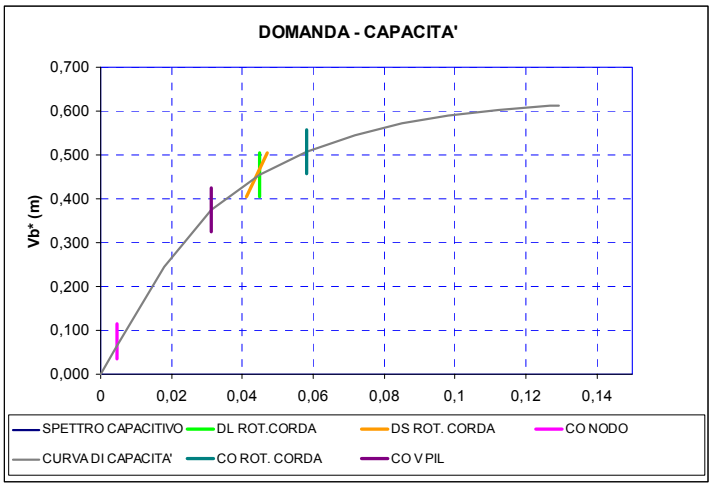



| CURVA DI PUSCH | | |
|---|---|---|
| Step | D top (m) | Vb (KN) |
| 0 | 0,000134 | 0 |
| 1 | 0,006507 | 419 |
| 2 | 0,025129 | 1556 |
| 3 | 0,043323 | 2385 |
| 4 | 0,062374 | 2891 |
| 5 | 0,080652 | 3220 |
| 6 | 0,099834 | 3466 |
| 7 | 0,118112 | 3633 |
| 8 | 0,136246 | 3750 |
| 9 | 0,155969 | 3828 |
| 10 | 0,176182 | 3881 |
| 11 | 0,179866 | 3888 |
| | | |

### *5.6.6.2 Curva di capacita' e sistem a sdof bilineare equivalente*

ALGORITMI DI TRASFORMAZIONE TRA CURVA DI PUSH E CURVA DI CAPACITA'

| | Autovettore N | m*Φ | m*Φ^2 | | | Masse | Autovettore |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | |
| Φ1 | 0,047 | 60,44 | 2,83 | | | 1290 | 0,00082 |
| Φ2 | 0,157 | 198,79 | 31,17 | | | 1268 | 0,00273 |
| Φ3 | 0,342 | 381,98 | 130,74 | | | 1116 | 0,00597 |
| Φ4 | 0,507 | 549,43 | 278,48 | | | 1084 | 0,00884 |
| Φ5 | 0,658 | 701,08 | 461,52 | Γ= | 1,39 | 1065 | 0,01148 |
| Φ6 | 0,792 | 828,87 | 656,81 | | | 1046 | 0,01382 |
| Φ7 | 0,899 | 926,05 | 832,59 | | | 1030 | 0,01568 |
| Φ8 | 0,963 | 768,26 | 739,62 | | | 798 | 0,01679 |
| Φ9 | 1,000 | 153,00 | 153,00 | | | 153 | 0,01744 |
| | totale | 4567,90 | | | m tot | 8850 | |

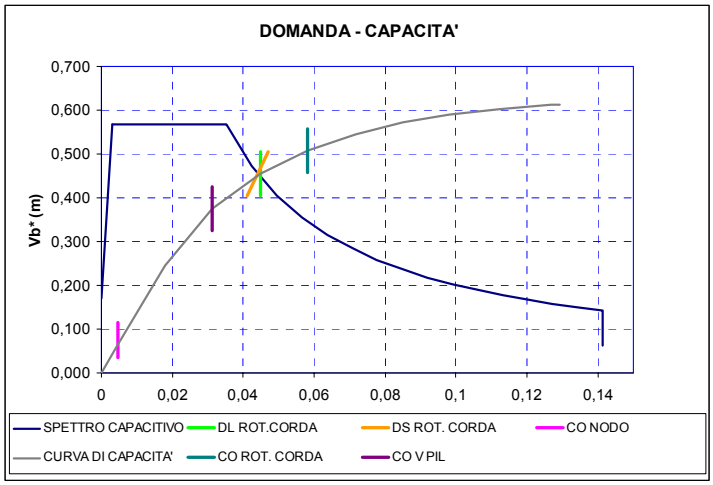



CURVA DI CAPACITA'

| Step | D* (m) | Vb (KN) | Sa (m/s^2) |
|---|---|---|---|
| 0 | 0,000 | 0 | 0,000 |
| 1 | 0,005 | 301 | 0,066 |
| 2 | 0,018 | 1120 | 0,245 |
| 3 | 0,031 | 1716 | 0,376 |
| 4 | 0,045 | 2080 | 0,455 |
| 5 | 0,058 | 2317 | 0,507 |
| 6 | 0,072 | 2494 | 0,546 |
| 7 | 0,085 | 2614 | 0,572 |
| 8 | 0,098 | 2698 | 0,591 |
| 9 | 0,112 | 2755 | 0,603 |
| 10 | 0,127 | 2793 | 0,611 |
| 11 | 0,129 | 2798 | 0,613 |
| | | | |

### *5.6.6.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari stati limite*

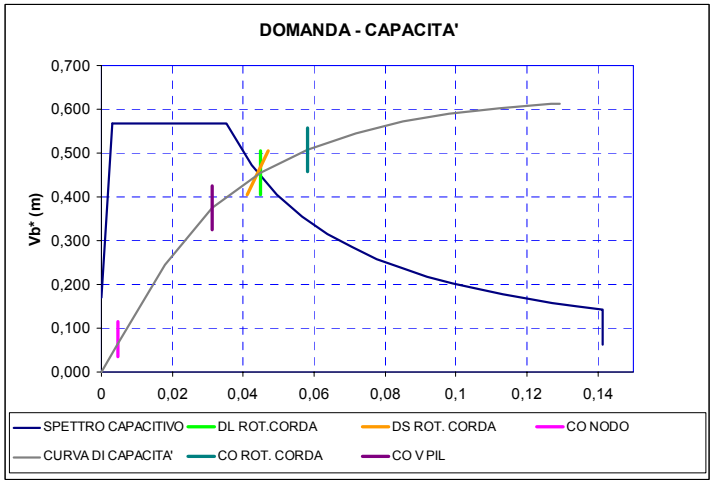
**STATO LIMITE DI DANNO LIEVE (rotazione rispetto alla corda)**




**PGA = 0.305 g**

**$\xi_{eq}$ = 13.0 %**

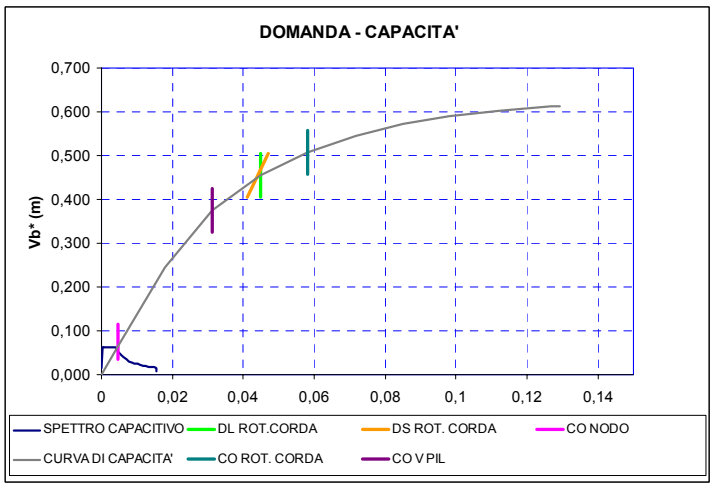
**STATO LIMITE DI DANNO SEVERO (rotazione rispetto alla corda)**




**PGA = 0.305g**

**$\xi_{eq}$ = 13.0 %**

**STATO LIMITE DI COLLASSO (collasso nodo)**




**PGA = 0.025 g**

**$\xi_{eq}$ = 5%**

**INDICATORI DI RISCHIO**

| Stato Limite | PGA | PGARIF | Tr | α |
|---|---|---|---|---|
| DL ROT. CORDA | 2.990 | 1.226 | 50%_50 | 2.438 |
| DS ROT. CORDA | 2.990 | 3.066 | 10%_50 | 0.975 |
| CO NODO | 0.294 | 4.598 | 2%_50 | 0.064 |
| CO TAGLIO PILASTRO | 2.011 | 4.598 | 2%_50 | 0.437 |
| CO ROT. CORDA | 3.970 | 4.598 | 2%_50 | 0.863 |

## 5.7 CONCLUSIONI

Di conseguenza gli indicatori di rischio da inserire nelle schede di sintesi, risultano:

INDICATORE DI RISCHIO DI INAGIBILITA'

$$\alpha_e = \frac{PGA_{DL}}{PGA_{50\%}} =$$

INDICATORE DI RISCHIO DI COLLASSO 2

$$\alpha_{U2} = \frac{PGA_{DS}}{PGA_{10\%}} =$$

INDICATORE DI RISCHIO DI COLLASSO 1

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva con i risultati dei quattro casi sopra descritti:

| **RIPEILOGO INDICATORI DI RISCHIO SETTORE B - $\gamma_I = 1$** | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **MODELLI** | | **Distribuzione triangolare** | | | | **Distribuzione uniforme** | | | |
| | | **Direzione X** | | **Direzione Y** | | **Direzione X** | | **Direzione Y** | |
| **STATO LIMITE** | **PGA Rif.** | **PGA Analisi** | **α** | **PGA Analisi** | **α** | **PGA Analisi** | **α** | **PGA Analisi** | **α** |
| danno lieve rotazione alla corda | 1.226 | 3.629 | **2.959** | 3.041 | **2.480** | 3.924 | **3.200** | 2.990 | **2.438** |
| danno severo rotazione alla corda | 3.066 | 4.316 | **1.408** | 2.990 | **0.976** | 3.924 | **1.280** | 2.990 | **0.975** |
| collasso rotazione alla corda | 4.599 | 4.310 | **0.937** | 4.510 | **0.981** | 5.100 | **1.109** | 3.970 | **0.863** |
| collasso nodo | 4.599 | 0.098 | **0.021** | 0.294 | **0.064** | 0.098 | **0.021** | 0.294 | **0.064** |
| collasso pilastro a taglio | 4.599 | 1.226 | **0.267** | 1.569 | **0.341** | 1.520 | **0.331** | 2.011 | **0.437** |

# 6 RELAZIONE DI CALCOLO CORPO F – ALA NORD

## 6.1 PREMESSA

Il settore esaminato in questa parte è costituito principalmente da telai piani in c.a

## 6.2 LIVELLO DI CONOSCENZA RAGGIUNTO

La determinazione del livello di conoscenza è necessaria per definire i parametri meccanici ed i fattori di confidenza (FC).
In relazione alla Tabella 11.1 della normativa di riferimento si specifica:
- **Geometria**: è stata ottenuta da disegni di carpenteria originali; è stato eseguito inoltre un rilievo visivo a campione.
- **Dettagli strutturali**: sono stati desunti dai disegni costruttivi completi e da **"limitate verifiche in situ"**.
- **Materiali**: sono state eseguite **"limitate prove in situ"**.

Considerato quanto sopra si conclude che il livello di conoscenza acquisito per l'edificio in oggetto è **LC2** che comporta un Fattore di Confidenza **FC = 1.2**.

## 6.3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI ADOTTATE NELL'ANALISI

Sulla base delle prescrizioni progettuali, delle prove effettuate e considerato il fattore di confidenza **FC = 1.2**, si è scelto di adottare per i materiali le seguenti caratteristiche di calcolo:
- **CLS**

$f_c$ = 18 N/mm$^2$

E = 28500 N/mm$^2$

$w_{CLS}$ = 25.00 kN/m$^3$

- **ACCIAIO (AQ50-60)**

$f_y$ = 295 N/mm$^2$

E = 206000 N/mm$^2$

## 6.4 ANALISI DEI CARICHI

Per la valutazione dei carichi agenti sono stati adottati valori tradizionalmente riportati in letteratura.

### 6.4.1 Valutazione carico neve

E' stato considerato $\Rightarrow$ **$q_{neve}$ = 1.20 kN/m$^2$**

### 6.4.2 Solaio piani dal 1° al 2° livello

**Permanenti:**

| | | |
|---|---|---|
| peso proprio solaio: | | = 3.00 kN/m$^2$ |
| sovracc. perm.: | | = 1.50 kN/m$^2$ |
| tramezzature: | | = 1.00 kN/m$^2$ |
| | **P** | **= 6.00 kN/m$^2$** |
| **Accidentale (ospedale):** | **Q** | **= 3.00 kN/m$^2$** |

### 6.4.3 Solaio piani 3° al 8° livello

**Permanenti:**

| | | |
|---|---|---|
| peso proprio solaio: | | = 3.50 kN/m$^2$ |
| sovracc. perm.: | | = 1.50 kN/m$^2$ |
| tramezzature: | | = 1.00 kN/m$^2$ |
| | **P** | **= 5.50 kN/m$^2$** |
| **Accidentale (ospedale):** | **Q** | **= 4.00 kN/m$^2$** |

### 6.4.4 Solaio copertura 9° livello

**Permanenti:**

| | | |
|---|---|---|
| peso proprio solaio: | | = 3.50 kN/m$^2$ |
| sovracc. perm.: | | = 2.50 kN/m$^2$ |
| | **P** | **= 6.00 kN/m$^2$** |
| **Accidentale (neve):** | **Q** | **= 1.20 kN/m$^2$** |

### 6.4.5 Tamponatura perimetrale

**Permanenti:**

muratura esterna: = 14 kN/m$^2$

**N.B.** Per le pareti finestrate sono state valutate opportune riduzioni del carico dovuto alle tamponature.

## 6.5 MODELLO STRUTTURALE

Il modello di calcolo utilizzato è di tipo tridimensionale ed è stato costruito con elementi di tipo "frame" per la schematizzazione degli elementi snelli (travi e pilastri).

### 6.5.1 Dettagli sulla modellazione

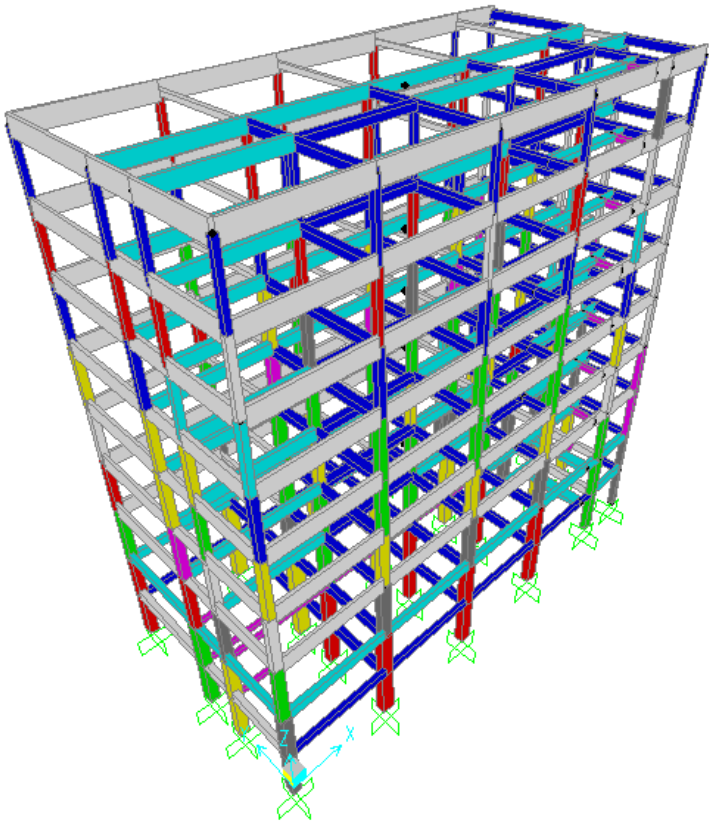
Nella modellazione della struttura sono stati utilizzati i seguenti accorgimenti:

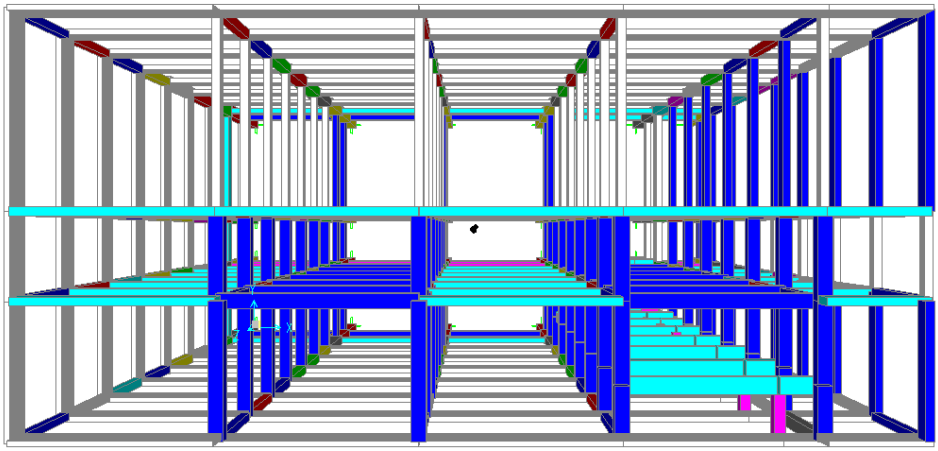
- Tutti gli impalcati sono stati considerati infinitamente rigidi nel loro piano essendo costituiti da solai in laterocemento con getto di soletta di completamento.
- I pilastri del primo ordine sono stati considerati incastrati a terra.
- Ove ritenuto necessario sono stati inseriti degli elementi infinitamente rigidi ("braccetti rigidi") al fine di riprodurre in maniera più accurata la presenza di nodi di grandi dimensioni e quindi di elementi tozzi.
- Le rigidezze a taglio e flessionali degli elementi trave sono state ridotte al 50% (come consigliato dalla normativa di riferimento) al fine di tenere in considerazione l'effetto della fessurazione delle sezioni in C.A. sottoposte a notevoli curvature; le rigidezze

dei pilastri, in virtù dello sforzo assiale presente, non sono invece state abbattute.

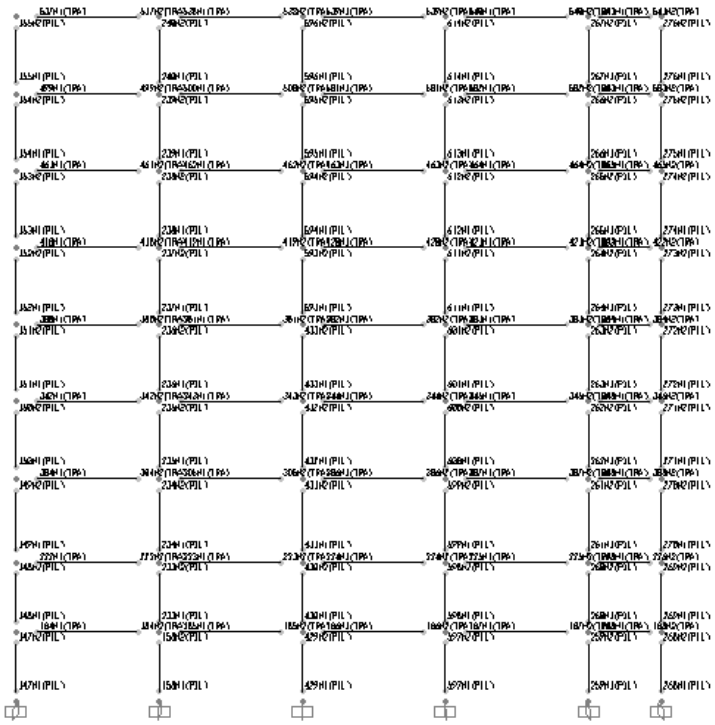
- Per le zone degli elementi strutturali ove è possibile che abbiano luogo fenomeni di escursione in campo post-elastico, sono state adottate opportune leggi di comportamento (cerniere plastiche o plastic hinges) in grado di riprodurre il comportamento della sezione in campo non-lineare nei confronti di varie caratteristiche di sollecitazione (solitamente momento flettente e taglio).
- Le cerniere plastiche dei pilastri sono state valutate tenendo in considerazione lo sforzo assiale presente in condizioni statiche, essendo quest'ultimo un fattore in grado di influenzare fortemente la capacità di rotazione delle stesse.
- Per gli elementi in c.a dove non è stato possibile risalire alle armature presenti si è proceduto ad una valutazione dei minimi necessari in condizioni statiche.

**Immagini modello 3D**



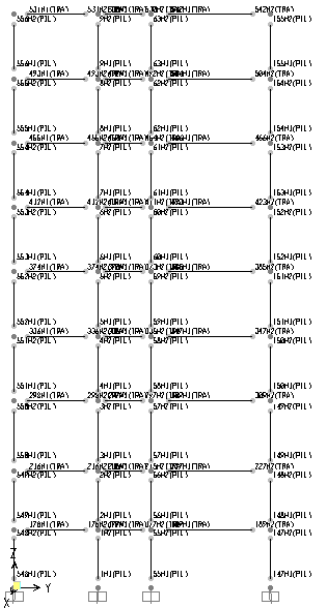


⇒ **Posizionamento delle cerniere plastiche (lato parallelo all'asse X )**



## Sezione Longitudinale

## Posizionamento delle cerniere plastiche (lato parallelo all'asse Y )



## Sezione trasversale

## 6.6 RISULTATI DELLE ELABORAZIONI

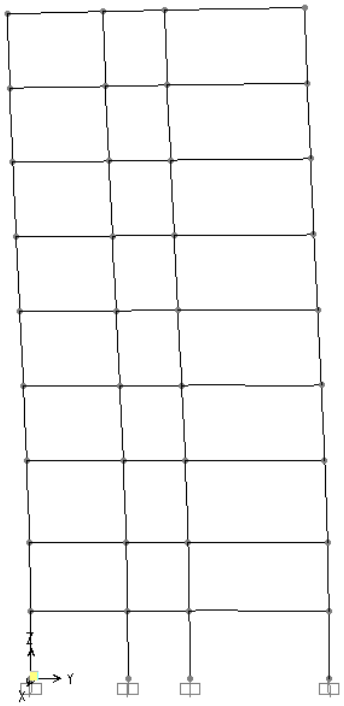
### 6.6.1 Analisi modale

Di seguito si riportano i principali risultati dell'analisi modale (elastica) condotta sulla struttura ed alcune immagini relative ai modi principali.

| TABLE: Modal Participating Mass Ratios | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OutputCase | StepType | StepNum | Period | UX | UY | UZ | SumUX | SumUY | SumUZ |
| Text | Text | Unitless | Sec | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless |
| MODAL | Mode | 1 | 2,315356 | 0,00032 | 0,62204 | 4,889E-07 | 0,00032 | 0,62204 | 4,889E-07 |
| MODAL | Mode | 2 | 1,79378 | 0,75099 | 0,00155 | 6,924E-07 | 0,75131 | 0,62359 | 0,000001181 |
| MODAL | Mode | 3 | 1,554863 | 0,00912 | 0,04333 | 2,732E-09 | 0,76043 | 0,66691 | 0,000001184 |
| MODAL | Mode | 4 | 0,819381 | 0,0000635 | 0,12 | 0,000001873 | 0,76049 | 0,78691 | 0,000003057 |
| MODAL | Mode | 5 | 0,67121 | 0,09718 | 0,00033 | 4,297E-07 | 0,85767 | 0,78724 | 0,000003487 |
| MODAL | Mode | 6 | 0,603858 | 0,00297 | 0,00285 | 1,674E-07 | 0,86064 | 0,79009 | 0,000003654 |
| MODAL | Mode | 7 | 0,479215 | 0,00001297 | 0,06338 | 0,000001228 | 0,86065 | 0,85347 | 0,000004882 |
| MODAL | Mode | 8 | 0,386585 | 0,03272 | 0,00003838 | 0,000003263 | 0,89337 | 0,85351 | 0,000008145 |
| MODAL | Mode | 9 | 0,361406 | 0,00184 | 0,00007036 | 4,597E-08 | 0,89522 | 0,85358 | 0,000008191 |
| MODAL | Mode | 10 | 0,328729 | 0,00004322 | 0,04533 | 0,000009233 | 0,89526 | 0,89891 | 0,00001742 |
| MODAL | Mode | 11 | 0,271302 | 0,01909 | 0,000001144 | 2,266E-07 | 0,91435 | 0,89891 | 0,00001765 |
| MODAL | Mode | 12 | 0,258249 | 0,00162 | 0,00474 | 7,413E-08 | 0,91598 | 0,90365 | 0,00001772 |
| MODAL | Mode | 13 | 0,245038 | 0,00022 | 0,03047 | 0,00001881 | 0,9162 | 0,93412 | 0,00003653 |
| MODAL | Mode | 14 | 0,207584 | 0,0158 | 0,000005082 | 2,917E-08 | 0,932 | 0,93413 | 0,00003656 |
| MODAL | Mode | 15 | 0,198287 | 0,00192 | 0,00377 | 2,525E-08 | 0,93392 | 0,9379 | 0,00003659 |
| MODAL | Mode | 16 | 0,191415 | 0,00052 | 0,01926 | 0,00004252 | 0,93444 | 0,95716 | 0,00007911 |
| MODAL | Mode | 17 | 0,163495 | 0,01499 | 0,00045 | 6,594E-08 | 0,94943 | 0,9576 | 0,00007918 |
| MODAL | Mode | 18 | 0,154879 | 0,00388 | 7,886E-07 | 0,00006356 | 0,95331 | 0,9576 | 0,00014 |
| MODAL | Mode | 19 | 0,152257 | 0,0005 | 0,01225 | 0,0003 | 0,95382 | 0,96986 | 0,00044 |
| MODAL | Mode | 20 | 0,145445 | 0,000007819 | 0,000002821 | 0,17041 | 0,95383 | 0,96986 | 0,17085 |
| MODAL | Mode | 21 | 0,134036 | 2,411E-07 | 3,048E-07 | 0,15613 | 0,95383 | 0,96986 | 0,32698 |
| MODAL | Mode | 22 | 0,131224 | 5,918E-07 | 0,000001688 | 0,05305 | 0,95383 | 0,96986 | 0,38004 |
| MODAL | Mode | 23 | 0,12782 | 0,00139 | 0,00019 | 0,00801 | 0,95522 | 0,97005 | 0,38804 |
| MODAL | Mode | 24 | 0,127654 | 0,00589 | 0,00056 | 0,00205 | 0,96111 | 0,97061 | 0,39009 |
| MODAL | Mode | 25 | 0,124232 | 0,000004828 | 0,00001363 | 0,07221 | 0,96111 | 0,97062 | 0,4623 |
| MODAL | Mode | 26 | 0,121354 | 0,00796 | 0,00038 | 0,00007544 | 0,96908 | 0,971 | 0,46238 |
| MODAL | Mode | 27 | 0,118963 | 0,000002416 | 0,00004607 | 0,13854 | 0,96908 | 0,97105 | 0,60091 |

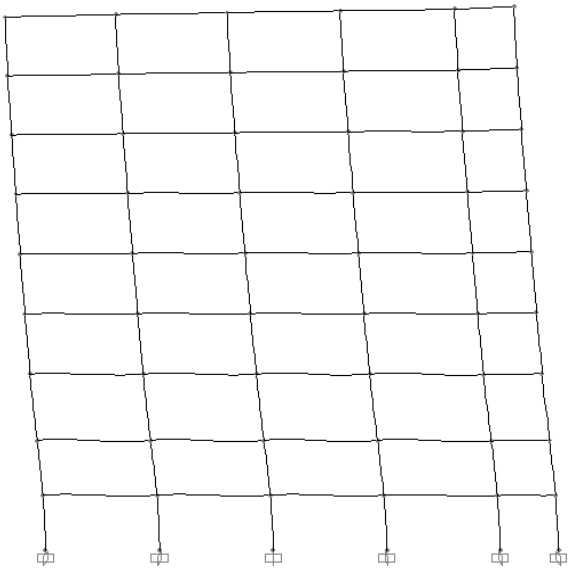
Si riportano di seguito le deformate corrispondenti ai primi tre modi della struttura

⇒ **Modo 1 – T = 2.315 s (traslazionale lungo Y)**



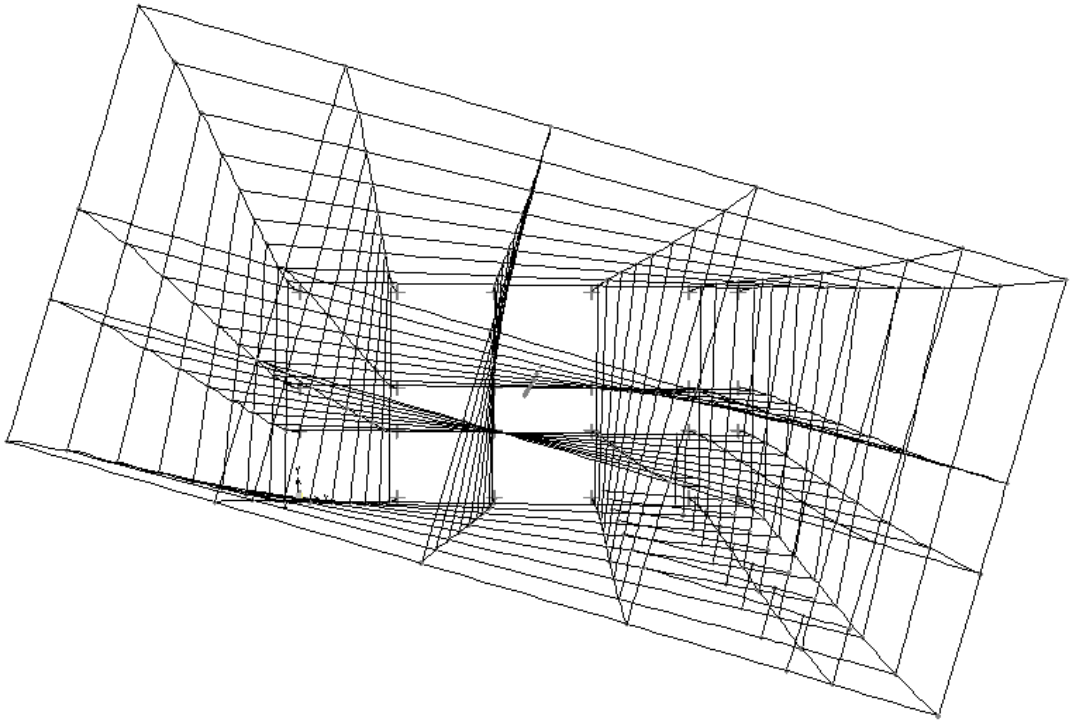

**Sezione Trasversale**

⇒ **Modo 2 – T = 1.79s (traslazione lungo X)**



**Sezione Longitudinale**

⇒ **Modo 3 – T = 1.55 s (rotazionale intorno a Z)**



### 6.6.2 Analisi statica non lineare (pushover)

Di seguito si riportano:

- le masse assemblate ai baricentri dei vari piani
- la distribuzione di forze orizzontali

L'analisi statica non lineare è stata svolta separatamente nelle due direzioni X e Y rispettivamente applicando ai centri di massa le seguenti distribuzioni di forze.

I due sistemi di forze sono di seguito riportati:

| **Distribuzione Forze Orizzontali** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Livello** | **Massa ( T )** | **Distribuzione Triangolare Tipo 1 (KN)** | | **Distribuzione Costante Tipo 2 (KN)** | |
| | | Direzione X | Direzione Y | Direzione X | Direzione Y |
| 1 | 750 | 326 | 252 | 1692 | 1310 |
| 2 | 756 | 657 | 508 | 1706 | 1320 |
| 3 | 731 | 1020 | 789 | 1649 | 1276 |
| 4 | 704 | 1321 | 1022 | 1588 | 1229 |
| 5 | 690 | 1626 | 1258 | 1557 | 1205 |
| 6 | 676 | 1918 | 1484 | 1525 | 1180 |
| 7 | 662 | 2196 | 1700 | 1493 | 1156 |
| 8 | 649 | 2465 | 1908 | 1464 | 1133 |
| 9 | 567 | 2426 | 1877 | 1279 | 990 |

Sulla struttura in oggetto sono state quindi eseguite le seguenti analisi pushover:

**1.** Pushover n.1 - Direzione X Sistema di forze Tipo 1
**2.** Pushover n.2 - Direzione X Sistema di forze Tipo 2
**3.** Pushover n.3 - Direzione Y Sistema di forze Tipo 1
**4.** Pushover n.4 - Direzione Y Sistema di forze Tipo 2

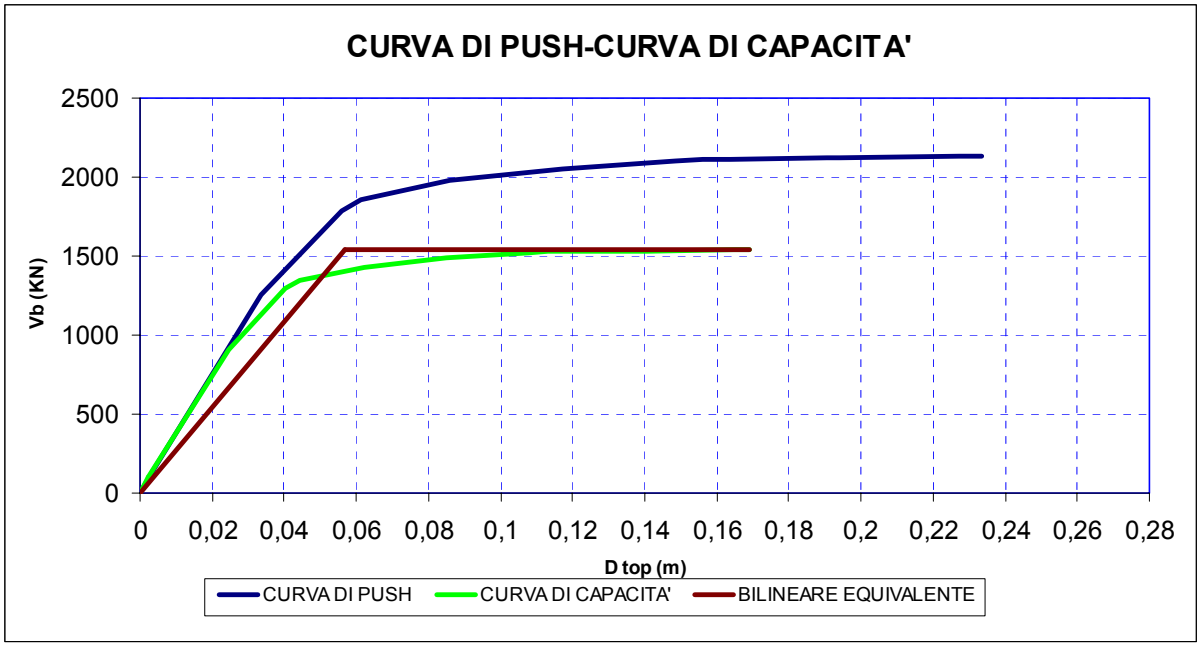
Di seguito si riportano le Curve di Push, le Curve di Capacità e le relative conversioni nel sistema elasto-plastico equivalente.

### 6.6.3 Pushover n°1

Pushover in direzione X con applicato alla struttura il sistema di forze Tipo 1(triangolare).

### *6.6.3.1 Curva di push*

Si riporta la curva di push in termini di taglio totale alla base nella direzione considerata e spostamento del baricentro del 9°piano ($V_{base}$ – $D_{top}$).

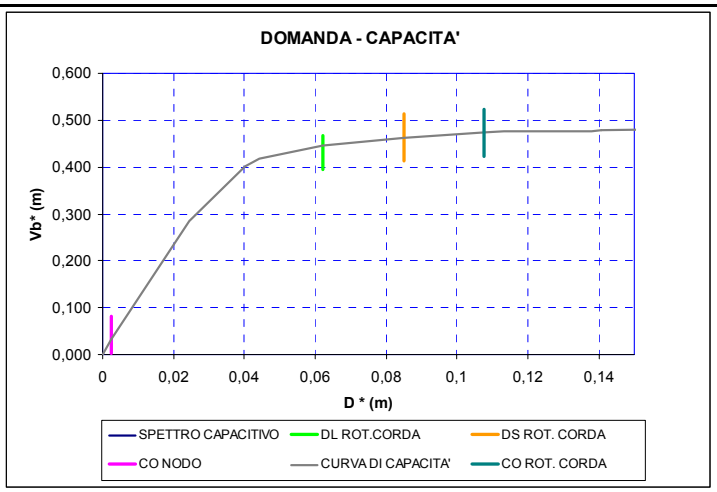



| CURVA DI PUSCH | | |
|---|---|---|
| **Step** | **D top (m)** | **Vb (KN)** |
| 0 | 0,00005 | 0 |
| 1 | 0,00336 | 144 |
| 2 | 0,03373 | 1260 |
| 3 | 0,05570 | 1785 |
| 4 | 0,06108 | 1853 |
| 5 | 0,08583 | 1975 |
| 6 | 0,11737 | 2055 |
| 7 | 0,14857 | 2102 |
| 8 | 0,15616 | 2109 |
| 9 | 0,15823 | 2110 |
| 10 | 0,16355 | 2113 |
| 11 | 0,19057 | 2118 |
| 12 | 0,19429 | 2119 |
| 13 | 0,22718 | 2131 |
| 14 | 0,23353 | 2134 |

### *6.6.3.2 Curva di capacita' e sistema sdof bilineare equivalente*

**ALGORITMI DI TRASFORMAZIONE TRA CURVA DI PUSH E CURVA DI CAPACITA'**

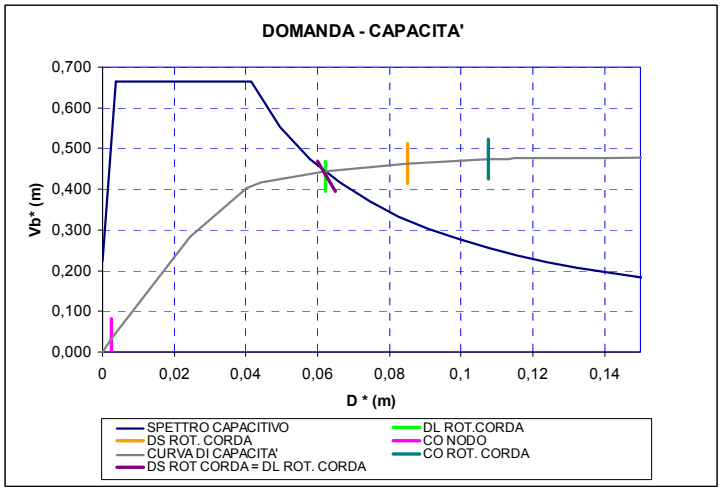
| | Autovettore N | m*Φ | m*Φ^2 | | Masse | Autovettore |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Φ1 | 0,047 | 34,88 | 1,62 | | 750 | 0,000024 |
| Φ2 | 0,138 | 104,02 | 14,31 | | 756 | 0,000071 |
| Φ3 | 0,285 | 208,25 | 59,33 | | 731 | 0,000147 |
| Φ4 | 0,417 | 293,33 | 122,22 | | 704 | 0,000215 |
| Φ5 | 0,548 | 378,43 | 207,55 | **Γ= 1,38** | 690 | 0,000283 |
| Φ6 | 0,686 | 463,77 | 318,17 | | 676 | 0,000354 |
| Φ7 | 0,837 | 554,23 | 464,01 | | 662 | 0,000432 |
| Φ8 | 0,940 | 610,01 | 573,36 | | 649 | 0,000485 |
| Φ9 | 1,000 | 567,00 | 567,00 | | 567 | 0,000516 |
| | totale | 3213,93 | | | | |



| CURVA DI CAPACITA' | | | |
|---|---|---|---|
| **Step** | **D* (m)** | **Vb (KN)** | **Sa (m/s^2)** |
| 0 | 0,000 | 0 | 0,000 |
| 1 | 0,002 | 104 | 0,032 |
| 2 | 0,024 | 912 | 0,284 |
| 3 | 0,040 | 1293 | 0,402 |
| 4 | 0,044 | 1342 | 0,418 |
| 5 | 0,062 | 1431 | 0,445 |
| 6 | 0,085 | 1489 | 0,463 |
| 7 | 0,108 | 1522 | 0,474 |
| 8 | 0,113 | 1528 | 0,475 |
| 9 | 0,115 | 1528 | 0,476 |
| 10 | 0,118 | 1530 | 0,476 |
| 11 | 0,138 | 1534 | 0,477 |
| 12 | 0,141 | 1535 | 0,477 |
| 13 | 0,165 | 1543 | 0,480 |
| 14 | 0,169 | 1545 | 0,481 |

### *6.6.3.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari stati limite*

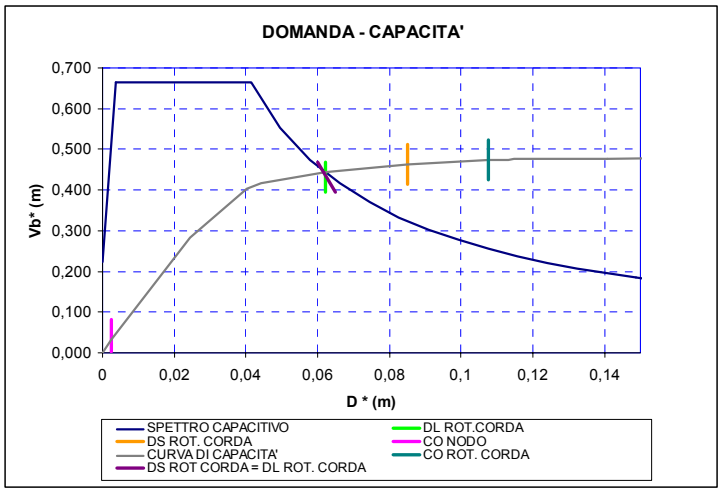
**STATO LIMITE DI DANNO LIEVE (rotazione rispetto alla corda)**




**PGA = 0.343 g**

**$\xi_{eq}$ = 21.0 %**

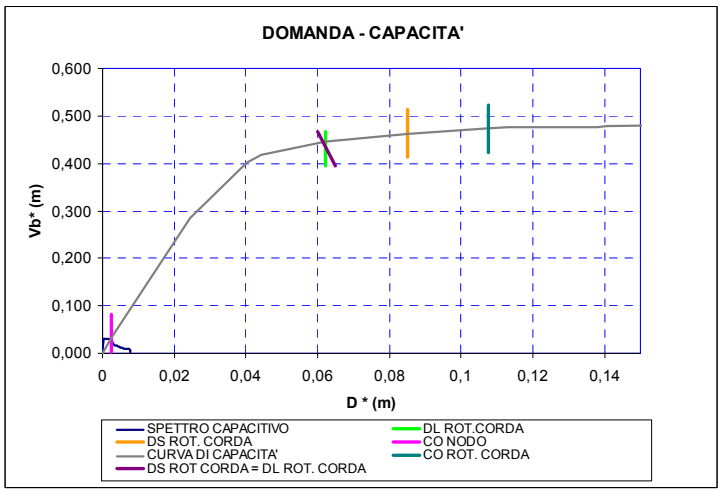
## STATO LIMITE DI DANNO SEVERO (rotazione rispetto alla corda)




**PGA = 0.343g**

**$\xi_{eq}$ = 21.0 %**

## STATO LIMITE DI COLLASO (collasso nodo)




**PGA = 0.010 g**

**$\xi_{eq}$ = 5.0 %**

**INDICATORI DI RISCHIO**

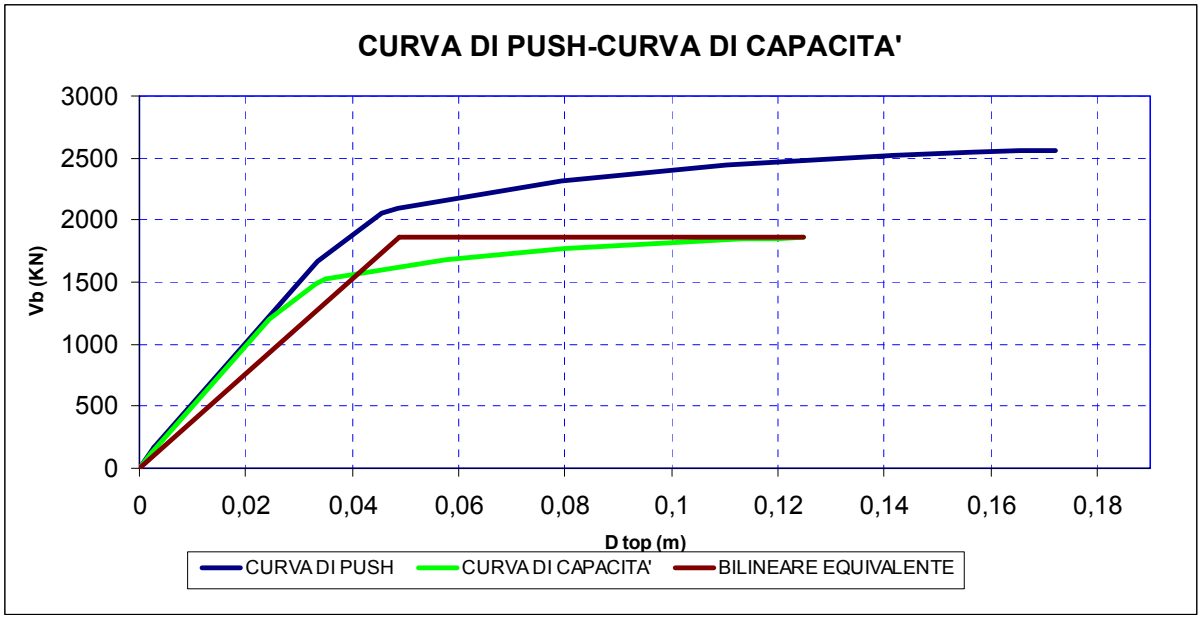
| Stato Limite | PGA | PGARIF | Tr | α |
|---|---|---|---|---|
| DL ROT. CORDA | 3.365 | 1.226 | 50%_50 | 2.744 |
| DS ROT. CORDA | 3.365 | 3.066 | 10%_50 | 2.097 |
| CO NODO | 0.098 | 4.598 | 2%_50 | 0.021 |
| CO TAGLIO PARETE | - | 4.598 | 2%_50 | - |
| CO ROT. CORDA | 5.543 | 4.598 | 2%_50 | 1.205 |

### 6.6.4 Pushover n°2

Pushover in direzione X con applicato alla struttura il sistema di forze Tipo 2 (costante).

### *6.6.4.1 Curva di push*

Si riporta la curva di push in termini di taglio totale alla base nella direzione considerata e spostamento del baricentro del 9piano ($V_{base}$ – $D_{top}$).

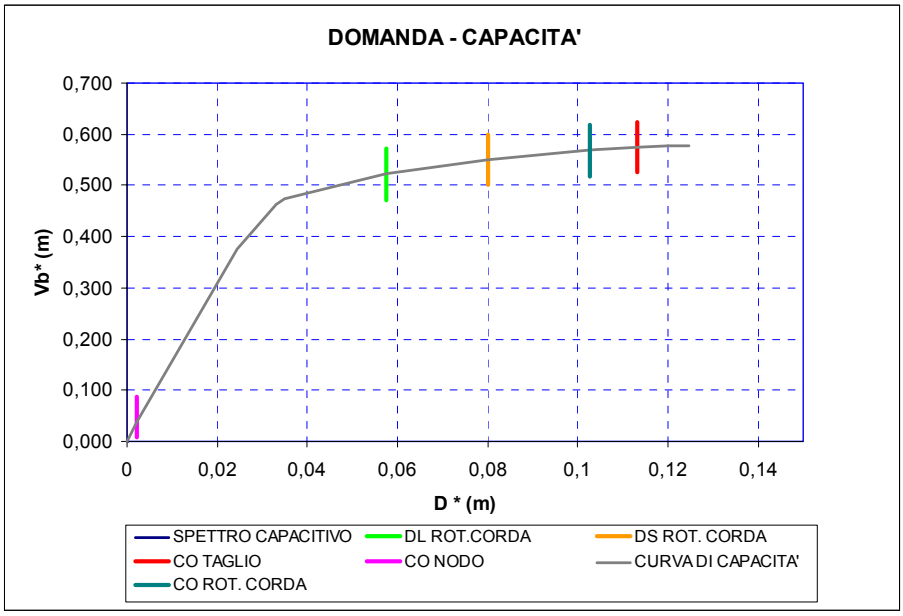



| CURVA DI PUSCH | | |
|---|---|---|
| **Step** | **D top (m)** | **Vb (KN)** |
| 0 | 0,000054 | 0 |
| 1 | 0,00278 | 165 |
| 2 | 0,033593 | 1.666 |
| 3 | 0,045636 | 2.050 |
| 4 | 0,048421 | 2.100 |
| 5 | 0,079341 | 2.319 |
| 6 | 0,110443 | 2.440 |
| 7 | 0,141679 | 2.521 |
| 8 | 0,156442 | 2.550 |
| 9 | 0,165692 | 2.561 |
| 10 | 0,172207 | 2.565 |

### *6.6.4.2 Curva di capacita' e sistema sdof bilineare equivalente*

**ALGORITMI DI TRASFORMAZIONE TRA CURVA DI PUSH E CURVA DI CAPACITA'**

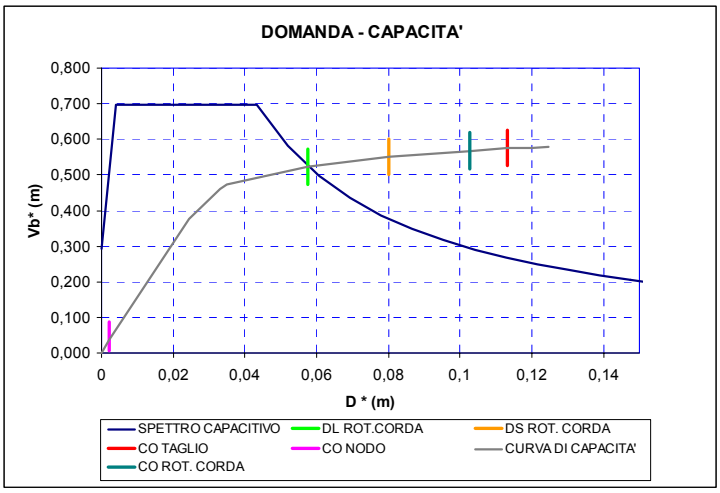
| | Autovettore N | m*Φ | m*Φ^2 | | Masse (T) | Autovettore |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Φ1 | 0,047 | 34,88 | 1,62 | | 750 | 0,000024 |
| Φ2 | 0,138 | 104,02 | 14,31 | | 756 | 0,000071 |
| Φ3 | 0,285 | 208,25 | 59,33 | | 731 | 0,000147 |
| Φ4 | 0,417 | 293,33 | 122,22 | | 704 | 0,000215 |
| Φ5 | 0,548 | 378,43 | 207,55 | **Γ= 1,38** | 690 | 0,000283 |
| Φ6 | 0,686 | 463,77 | 318,17 | | 676 | 0,000354 |
| Φ7 | 0,837 | 554,23 | 464,01 | | 662 | 0,000432 |
| Φ8 | 0,940 | 610,01 | 573,36 | | 649 | 0,000485 |
| Φ9 | 1,000 | 567,00 | 567,00 | | 567 | 0,000516 |
| | totale | 3213,93 | | | | |



| CURVA DI CAPACITA' | | | |
|---|---|---|---|
| **Step** | **D* (m)** | **Vb (KN)** | **Sa (m/s^2)** |
| 0 | 0,000 | 0 | 0,000 |
| 1 | 0,002 | 119 | 0,037 |
| 2 | 0,024 | 1206 | 0,375 |
| 3 | 0,033 | 1485 | 0,462 |
| 4 | 0,035 | 1521 | 0,473 |
| 5 | 0,057 | 1679 | 0,523 |
| 6 | 0,080 | 1767 | 0,550 |
| 7 | 0,103 | 1826 | 0,568 |
| 8 | 0,113 | 1847 | 0,575 |
| 9 | 0,120 | 1855 | 0,577 |
| 10 | 0,125 | 1857 | 0,578 |

### *6.6.4.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari stati limite*

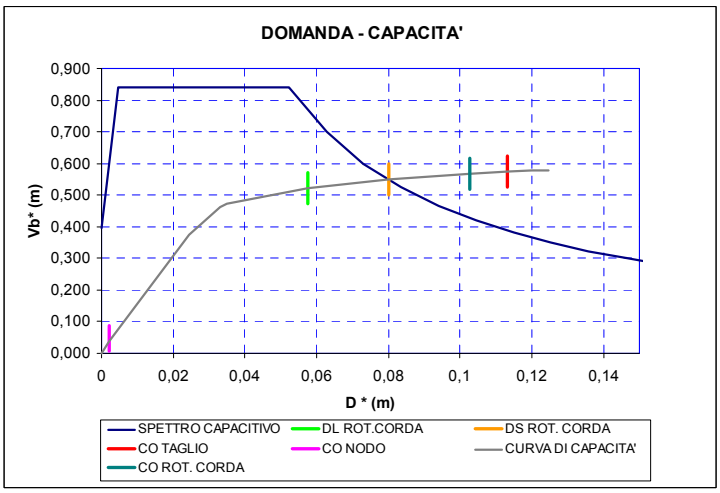
**STATO LIMITE DI DANNO LIEVE (rotazione rispetto alla corda)**




**PGA = 0.380 g**

**$\xi_{eq}$ = 24 %**

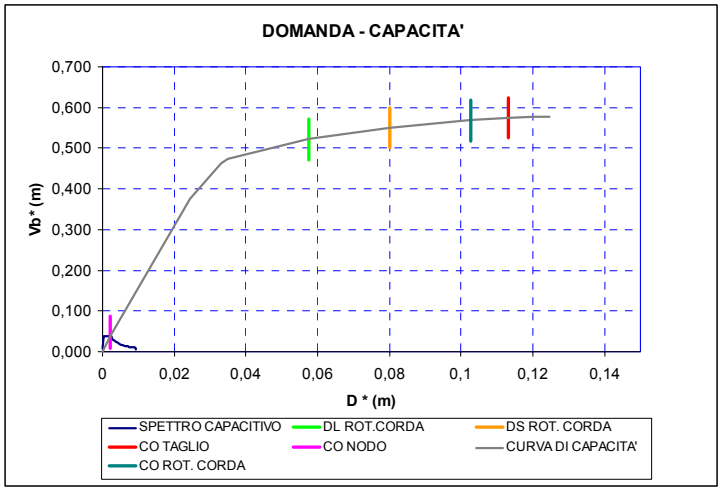
**STATO LIMITE DI DANNO SEVERO (rotazione rispetto alla corda)**




**PGA = 0.510 g**

**$\xi_{eq}$ = 31 %**

## STATO LIMITE DI COLLASSO (COLLASSO NODO)




**PGA = 0.012 g**

**$\xi_{eq}$ = 5 %**

### INDICATORI DI RISCHIO

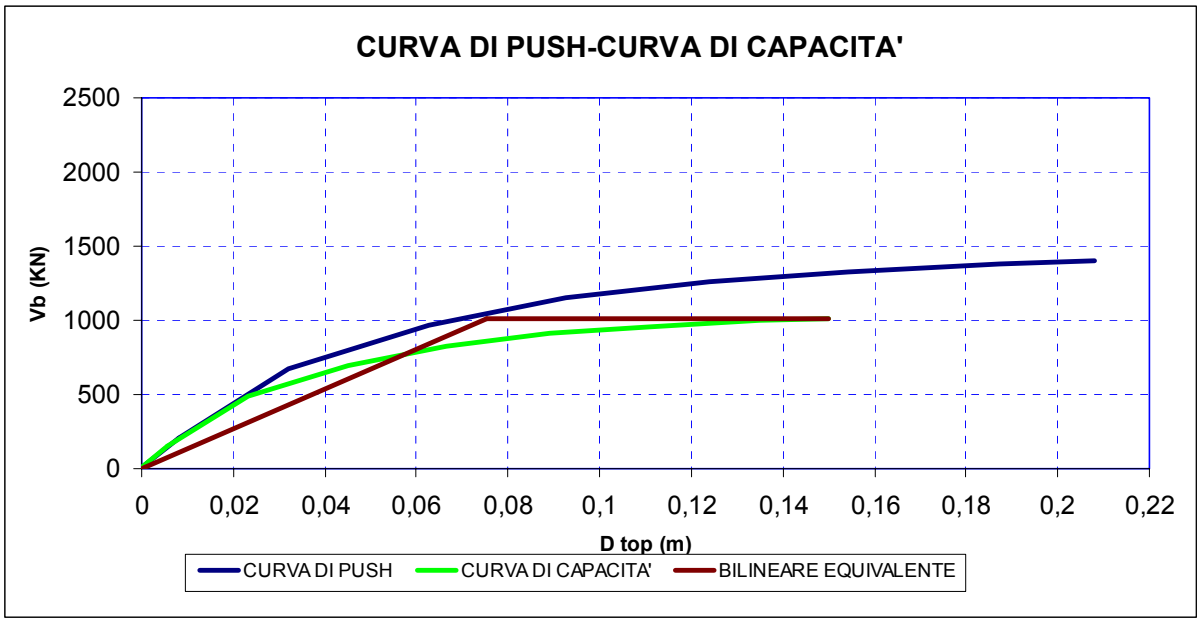
| Stato Limite | PGA | PGARIF | Tr | α |
|---|---|---|---|---|
| DL ROT. CORDA | 3.728 | 1.226 | 50%_50 | 3.040 |
| DS ROT. CORDA | 5.003 | 3.066 | 10%_50 | 1.632 |
| CO NODO | 0,118 | 4.598 | 2%_50 | 0.064 |
| CO TAGLIO PILASTRO | 4.426 | 4.598 | 2%_50 | 1.397 |
| CO ROT. CORDA | 5.984 | 4.598 | 2%_50 | 1.301 |

### 6.6.5 Pushover n°3

Pushover in direzione Y con applicato alla struttura il sistema di forze Tipo 1 (triangolare).

#### *6.6.5.1 Curva di push*

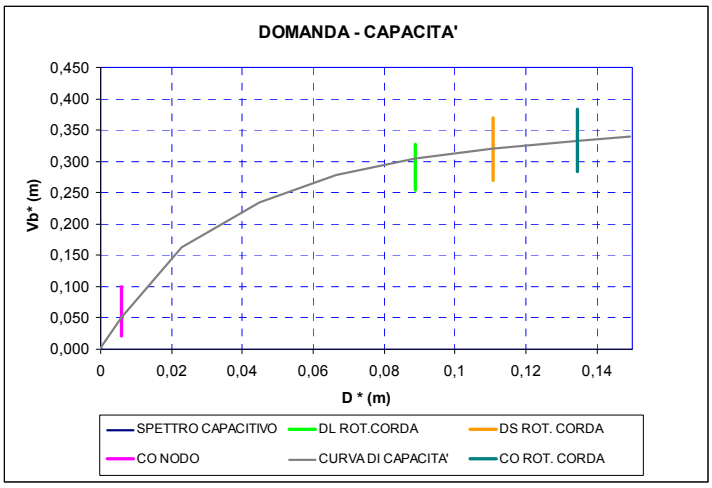
Si riporta la curva di push in termini di taglio totale alla base nella direzione considerata e spostamento del baricentro del 9°piano ($V_{base}$ – $D_{top}$).




| CURVA DI PUSCH | | |
|---|---|---|
| **Step** | **D top (m)** | **Vb (KN)** |
| 0 | -0,000418 | 0 |
| 1 | 0,007994 | 210 |
| 2 | 0,032016 | 678 |
| 3 | 0,062506 | 972 |
| 4 | 0,092507 | 1.154 |
| 5 | 0,123761 | 1.261 |
| 6 | 0,154045 | 1.327 |
| 7 | 0,187294 | 1.382 |
| 8 | 0,208142 | 1.407 |
| 9 | 0,208162 | 1.407 |

### *6.6.5.2 Curva di capacita' e sistema sdof bilineare equivalente*

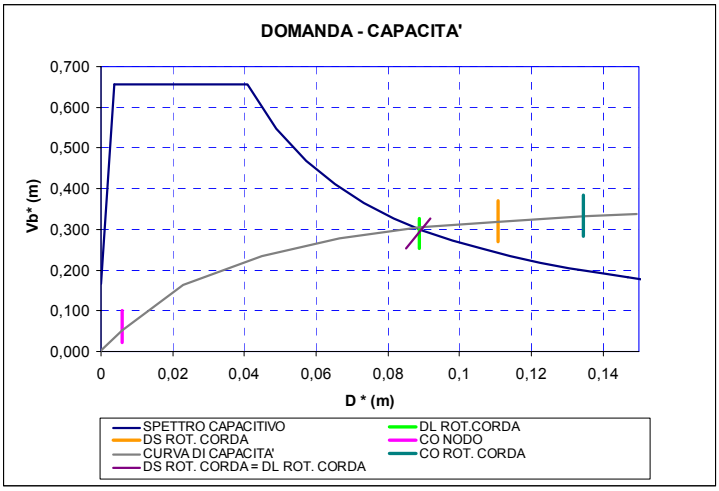
| ALGORITMI DI TRASFORMAZIONE TRA CURVA DI PUSH E CURVA DI CAPACITA' | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Autovettore N** | **m*Φ** | **m*Φ^2** | | | **Masse** | **Autovettore** |
| Φ1 | 0,062 | 46,48 | 2,88 | | | 750 | 0,001316 |
| Φ2 | 0,189 | 143,01 | 27,05 | | | 756 | 0,004017 |
| Φ3 | 0,354 | 258,56 | 91,46 | | | 731 | 0,007511 |
| Φ4 | 0,479 | 337,13 | 161,45 | | | 704 | 0,010169 |
| Φ5 | 0,597 | 411,89 | 245,87 | **Γ=** | **1,39** | 690 | 0,012676 |
| Φ6 | 0,710 | 480,22 | 341,14 | | | 676 | 0,015085 |
| Φ7 | 0,823 | 544,88 | 448,47 | | | 662 | 0,017478 |
| Φ8 | 0,926 | 601,11 | 556,75 | | | 649 | 0,019668 |
| Φ9 | 1,000 | 567,00 | 567,00 | | | 567 | 0,021235 |
| | | totale | 3390,27 | | m tot | 6185 | |




| CURVA DI CAPACITA' | | | |
|---|---|---|---|
| **Step** | **D* (m)** | **Vb (KN)** | **Sa (m/s^2)** |
| 0 | 0,000 | 0 | 0,000 |
| 1 | 0,006 | 151 | 0,045 |
| 2 | 0,023 | 488 | 0,144 |
| 3 | 0,045 | 700 | 0,206 |
| 4 | 0,067 | 831 | 0,245 |
| 5 | 0,089 | 908 | 0,268 |
| 6 | 0,111 | 956 | 0,282 |
| 7 | 0,135 | 996 | 0,294 |
| 8 | 0,150 | 1013 | 0,299 |
| 9 | 0,150 | 1014 | 0,299 |

### *6.6.5.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari stati limite*

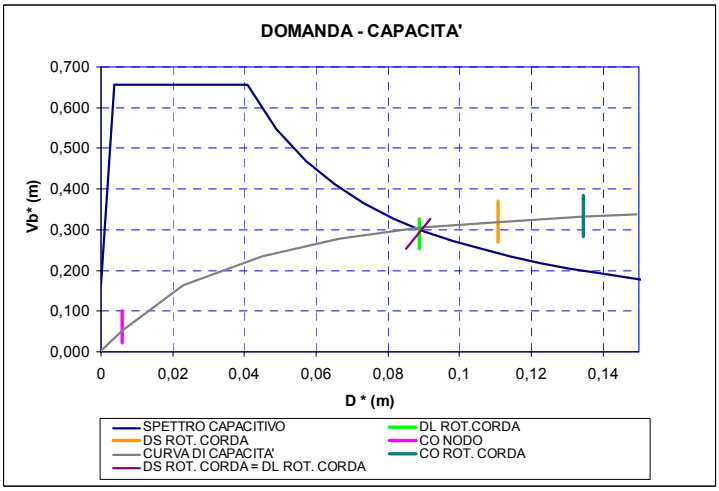
**STATO LIMITE DI DANNO LIEVE (rotazione rispetto alla corda)**




**PGA = 0.345 g**

**$\xi_{eq}$ = 22 %**

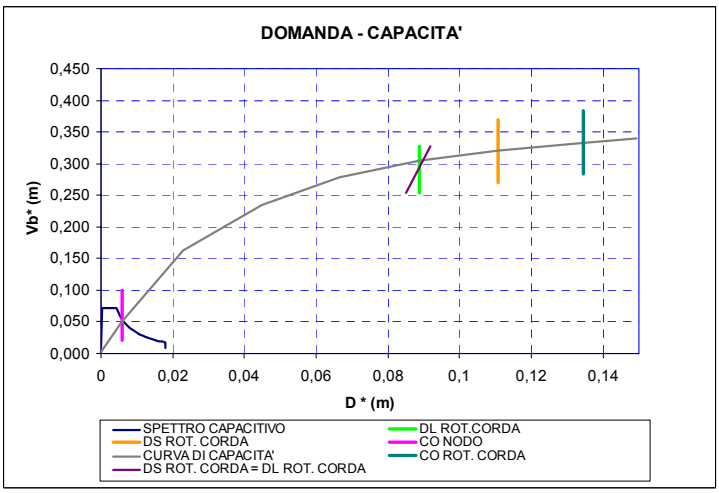
**STATO LIMITE DI DANNO SEVERO (rotazione rispetto alla corda)**




**PGA = 0.345 g**

**$\xi_{eq}$ = 22 %**

**STATO LIMITE DI COLLASSO (collasso nodo)**




**PGA = 0.023g**

**$\xi_{eq}$ =5 %**

**INDICATORI DI RISCHIO**

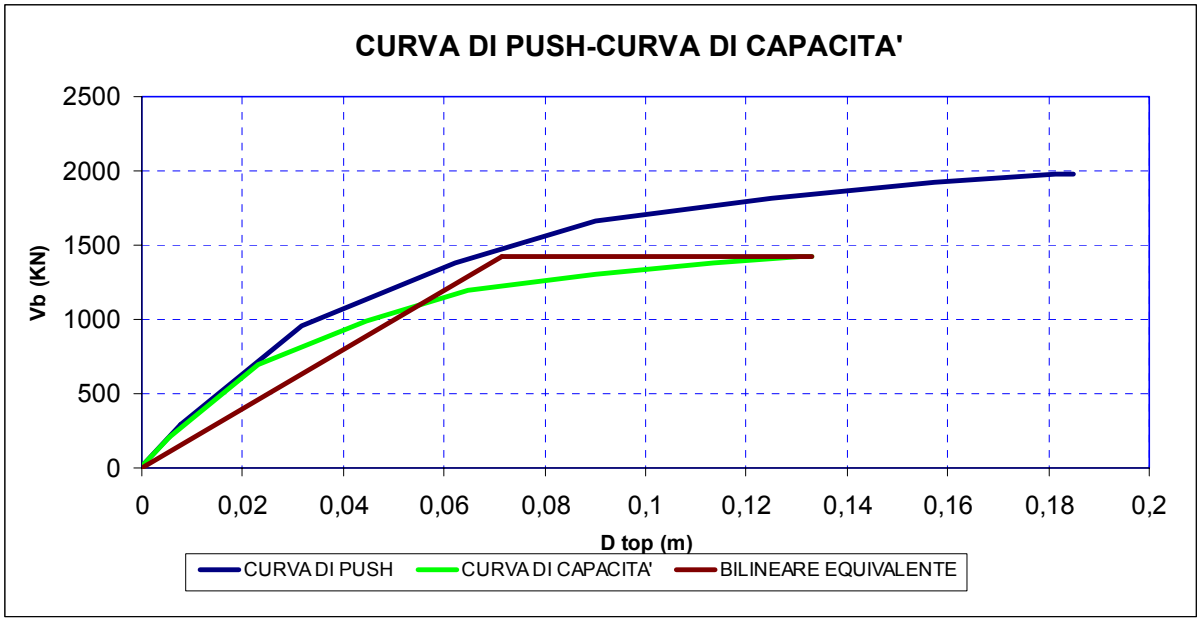
| Stato Limite | PGA | PGARIF | Tr | α |
|---|---|---|---|---|
| DL ROT. CORDA | 3.384 | 1.226 | 50%_50 | 2.759 |
| DS ROT. CORDA | 3.384 | 3.066 | 10%_50 | 1.104 |
| CO NODO | 0.226 | 4.598 | 2%_50 | 0.049 |
| CO TAGLIO PILASTRO | - | 4.598 | 2%_50 | - |
| CO ROT. CORDA | 5.001 | 4.598 | 2%_50 | 1.087 |

### 6.6.6 Pushover n°4

Pushover in direzione Y con applicato alla struttura il sistema di forze Tipo 2 (costante).

### *6.6.6.1 Curva di push*

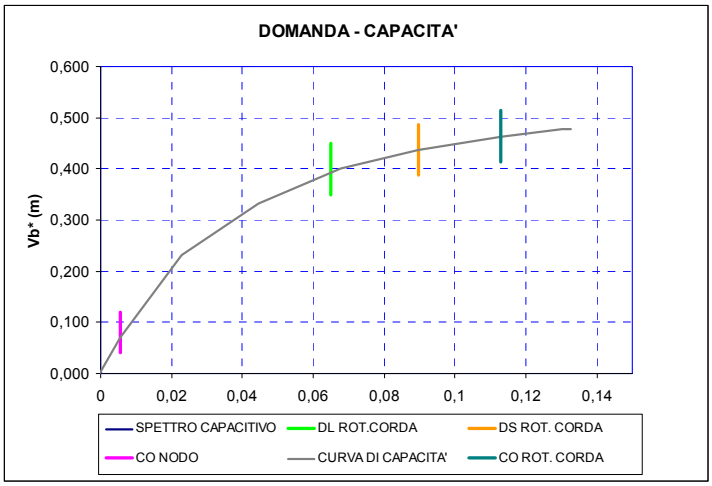
Si riporta la curva di push in termini di taglio totale alla base nella direzione considerata e spostamento del baricentro del 9°piano ($V_{base}$ – $D_{top}$).




| CURVA DI PUSCH | | |
|---|---|---|
| **Step** | **D top (m)** | **Vb (KN)** |
| 0 | -0,000418 | 0 |
| 1 | 0,007585 | 289 |
| 2 | 0,031832 | 962 |
| 3 | 0,062055 | 1378 |
| 4 | 0,090000 | 1659 |
| 5 | 0,124983 | 1812 |
| 6 | 0,157392 | 1922 |
| 7 | 0,181323 | 1980 |
| 8 | 0,183838 | 1983 |
| 9 | 0,184859 | 1983 |

### *6.6.6.2 Curva di capacita' e sistem a sdof bilineare equivalente*

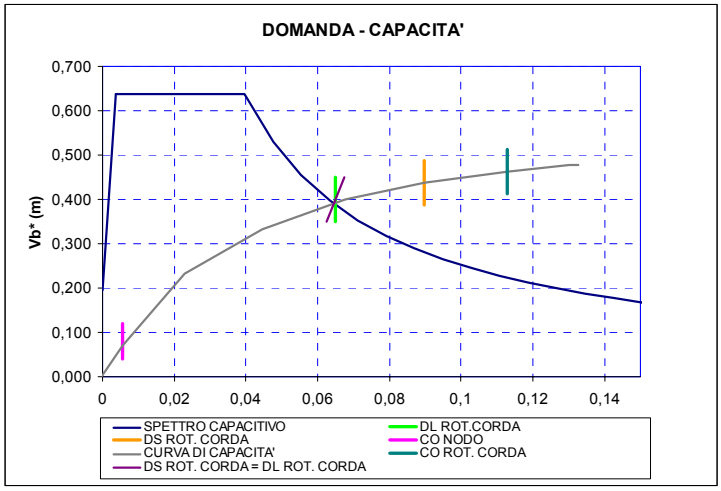
| ALGORITMI DI TRASFORMAZIONE TRA CURVA DI PUSH E CURVA DI CAPACITA' | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Autovettore N** | **m*Φ** | **m*Φ^2** | | **Masse** | **Autovettore** |
| Φ1 | 0,062 | 46,48 | 2,88 | | 750 | 0,001316 |
| Φ2 | 0,189 | 143,01 | 27,05 | | 756 | 0,004017 |
| Φ3 | 0,354 | 258,56 | 91,46 | | 731 | 0,007511 |
| Φ4 | 0,479 | 337,13 | 161,45 | | 704 | 0,010169 |
| Φ5 | 0,597 | 411,89 | 245,87 | **Γ= 1,39** | 690 | 0,012676 |
| Φ6 | 0,710 | 480,22 | 341,14 | | 676 | 0,015085 |
| Φ7 | 0,823 | 544,88 | 448,47 | | 662 | 0,017478 |
| Φ8 | 0,926 | 601,11 | 556,75 | | 649 | 0,019668 |
| Φ9 | 1,000 | 567,00 | 567,00 | | 567 | 0,021235 |
| | totale | 3390,27 | | m tot | 6185 | |




| CURVA DI CAPACITA' | | | |
|---|---|---|---|
| **Step** | **D* (m)** | **Vb (KN)** | **Sa (m/s^2)** |
| 0 | 0,000 | 0 | 0,000 |
| 1 | 0,005 | 208 | 0,061 |
| 2 | 0,023 | 693 | 0,204 |
| 3 | 0,045 | 993 | 0,293 |
| 4 | 0,065 | 1195 | 0,352 |
| 5 | 0,090 | 1306 | 0,385 |
| 6 | 0,113 | 1385 | 0,408 |
| 7 | 0,131 | 1426 | 0,421 |
| 8 | 0,132 | 1428 | 0,421 |
| 9 | 0,133 | 1429 | 0,421 |

### *6.6.6.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari stati limite*

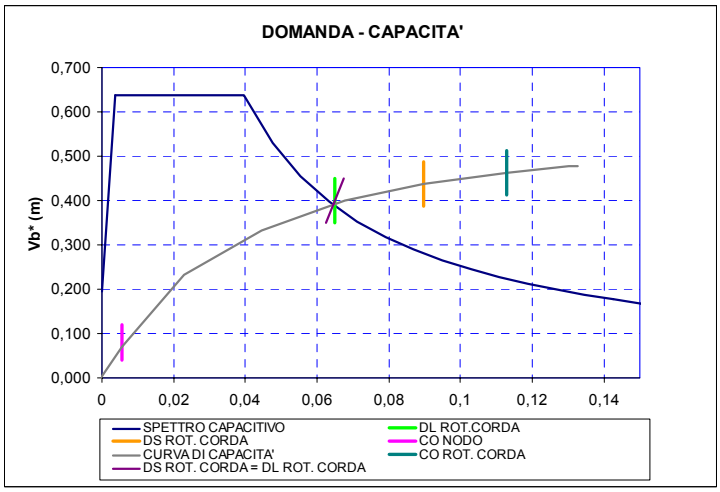
**STATO LIMITE DI DANNO LIEVE (rotazione rispetto alla corda)**




**PGA = 0.302 g**

**$\xi_{eq}$ = 17 %**

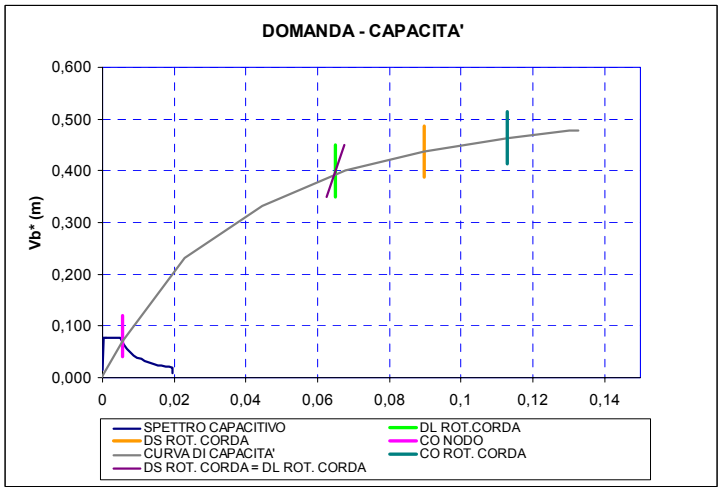
**STATO LIMITE DI DANNO SEVERO (rotazione rispetto alla corda)**




**PGA = 0.302g**

**$\xi_{eq}$ = 17**

**STATO LIMITE DI COLLASSO (collasso nodo)**




**PGA = 0.025**

**$\xi_{eq}$ = 5%**

**INDICATORI DI RISCHIO**

| Stato Limite | PGA | PGARIF | Tr | α |
|---|---|---|---|---|
| DL ROT. CORDA | 2.962 | 1.226 | 50%_50 | 2.415 |
| DS ROT. CORDA | 2.962 | 3.066 | 10%_50 | 0.966 |
| CO NODO | 0.245 | 4.598 | 2%_50 | 0.053 |
| CO TAGLIO PILASTRO | - | 4.598 | 2%_50 | - |
| CO ROT. CORDA | 5.199 | 4.598 | 2%_50 | 1.130 |

## 6.7 CONCLUSIONI

Di conseguenza gli indicatori di rischio da inserire nelle schede di sintesi, risultano:

INDICATORE DI RISCHIO DI INAGIBILITA'

$$\alpha_e = \frac{PGA_{DL}}{PGA_{50\%}} =$$

INDICATORE DI RISCHIO DI COLLASSO 2

$$\alpha_{U2} = \frac{PGA_{DS}}{PGA_{10\%}} =$$

INDICATORE DI RISCHIO DI COLLASSO 1

$$\alpha_{U1} = \frac{PGA_{CO}}{PGA_{2\%}} =$$

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva con i risultati dei quattro casi sopra descritti :

| **RIPEILOGO INDICATORI DI RISCHIO SETTORE B - γI = 1** | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **MODELLI** | | **Distribuzione triangolare** | | | | **Distribuzione uniforme** | | | |
| | | **Direzione X** | | **Direzione Y** | | **Direzione X** | | **Direzione Y** | |
| **STATO LIMITE** | **PGA Rif.** | **PGA Analisi** | **α** | **PGA Analisi** | **α** | **PGA Analisi** | **α** | **PGA Analisi** | **α** |
| danno lieve rotazione alla corda | 1.226 | 3.365 | **2.744** | 3.384 | **2.759** | 3.728 | **3.040** | 2.269 | **2.415** |
| danno severo rotazione alla corda | 3.066 | 3.365 | **1.097** | 3.384 | **1.104** | 5.003 | **1.632** | 2.269 | **0.966** |
| collasso rotazione alla corda | 4.599 | 5.543 | **1.205** | 5.001 | **1.087** | 5.984 | **1.301** | 5.199 | **1.130** |
| collasso nodo | 4.599 | 1.373 | **0.021** | 0.226 | **0.049** | 0.118 | **0.064** | 0.245 | **0.053** |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| collasso pilastro a taglio | 4.599 | -- | -- | -- | -- | 6.426 | **1.397** | -- | -- |

# 7 RELAZIONE DI CALCOLO CORPO G

## 7.1 LIVELLO DI CONOSCENZA RAGGIUNTO

La determinazione del livello di conoscenza è necessaria per definire i parametri meccanici ed i fattori di confidenza (FC).
In relazione alla Tabella 11.1 della normativa di riferimento si specifica:
- **Geometria**: è stata ottenuta da disegni di carpenteria originali; è stato eseguito inoltre un rilievo visivo a campione.
- **Dettagli strutturali**: sono stati desunti dai disegni costruttivi completi e da **"limitate verifiche in situ"**.
- **Materiali**: sono state eseguite **"limitate prove in situ"**.

Considerato quanto sopra si conclude che il livello di conoscenza acquisito per l'edificio in oggetto è **LC2** che comporta un Fattore di Confidenza **FC = 1.2**.

## 7.2 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI ADOTTATE NELL'ANALISI

Sulla base delle prescrizioni progettuali, delle prove effettuate e considerato il fattore di confidenza **FC = 1.2**, si è scelto di adottare per i materiali le seguenti caratteristiche di calcolo:

- **CLS**

$f_c$ = 17 N/mm$^2$
E = 29000 N/mm$^2$
G = 11100 N/mm$^2$
$w_{CLS}$ = 25.0 kN/m$^3$

- **ACCIAIO (AQ50/60)**

$f_y$ = 295 N/mm$^2$

E = 206000 N/mm$^2$

G = 79000 N/mm$^2$

## 7.3 ANALISI DEI CARICHI

Per la valutazione dei carichi agenti sono stati adottati valori tradizionalmente riportati in letteratura.

### 7.3.1 Valutazione carico neve

E' stato considerato $\Rightarrow$ **$q_{neve}$ = 1.20 kN/m$^2$**

### 7.3.2 Solaio piani degenze [laterocemento 14+4]

**Permanenti:**

| | | |
|---|---|---|
| peso proprio solaio: | | = 2.20 kN/m$^2$ |
| sovracc. perm.: | | = 1.80 kN/m$^2$ |
| tramezzature: | | = 1.00 kN/m$^2$ |
| | **P** | **= 5.00 kN/m$^2$** |
| **Accidentale (ospedale):** | **Q** | **= 3.00 kN/m$^2$** |

### 7.3.3 Solaio piani degenze [laterocemento 18+4]

**Permanenti:**

| | | |
|---|---|---|
| peso proprio solaio: | | = 2.60 kN/m$^2$ |
| sovracc. perm.: | | = 1.80 kN/m$^2$ |
| tramezzature: | | = 1.00 kN/m$^2$ |
| | **P** | **= 5.40 kN/m$^2$** |
| **Accidentale (ospedale):** | **Q** | **= 3.00 kN/m$^2$** |

### 7.3.4 Solaio piani degenze [laterocemento 25+5]

**Permanenti:**

| | | |
|---|---|---|
| peso proprio solaio: | | = 3.20 kN/m$^2$ |
| sovracc. perm.: | | = 1.80 kN/m$^2$ |
| tramezzature: | | = 1.00 kN/m$^2$ |
| | **P** | **= 6.00 kN/m$^2$** |
| **Accidentale (ospedale):** | **Q** | **= 3.00 kN/m$^2$** |

### 7.3.5 Solaio copertura [laterocemento 18+4]

**Permanenti:**

| | | |
|---|---|---|
| peso proprio solaio: | | = 2.60 kN/m$^2$ |
| sovracc. perm.: | | = 1.40 kN/m$^2$ |
| | **P** | **= 4.00 kN/m$^2$** |
| **Accidentale (neve):** | **Q** | **= 1.20 kN/m$^2$** |

### 7.3.6 Solaio copertura [laterocemento 25+5]

**Permanenti:**

| | | |
|---|---|---|
| peso proprio solaio: | | = 3.20 kN/m$^2$ |
| sovracc. perm.: | | = 1.40 kN/m$^2$ |
| | **P** | **= 4.60 kN/m$^2$** |
| **Accidentale (neve):** | **Q** | **= 1.20 kN/m$^2$** |

### 7.3.7 Scala [soletta in c.a.]

**Permanenti:**

| | | |
|---|---|---|
| peso proprio: | | = 4.50 kN/m$^2$ |
| sovracc. perm.: | | = 1.50 kN/m$^2$ |
| | **P** | **= 6.00 kN/m$^2$** |
| **Accidentale (scale):** | **Q** | **= 4.00 kN/m$^2$** |

### 7.3.8 Tamponatura perimetrale

**Permanenti:**

muratura a doppio intonaco: = 3.00 kN/m$^2$

**P = 3.00 kN/m$^2$**

**N.B.** Per le pareti finestrate sono state valutate opportune riduzioni del carico dovuto alle tamponature.

## 7.4 MODELLO STRUTTURALE

Il modello di calcolo utilizzato è di tipo tridimensionale ed è stato costruito adottando elementi di tipo "frame" per la schematizzazione degli elementi snelli (travi e pilastri).

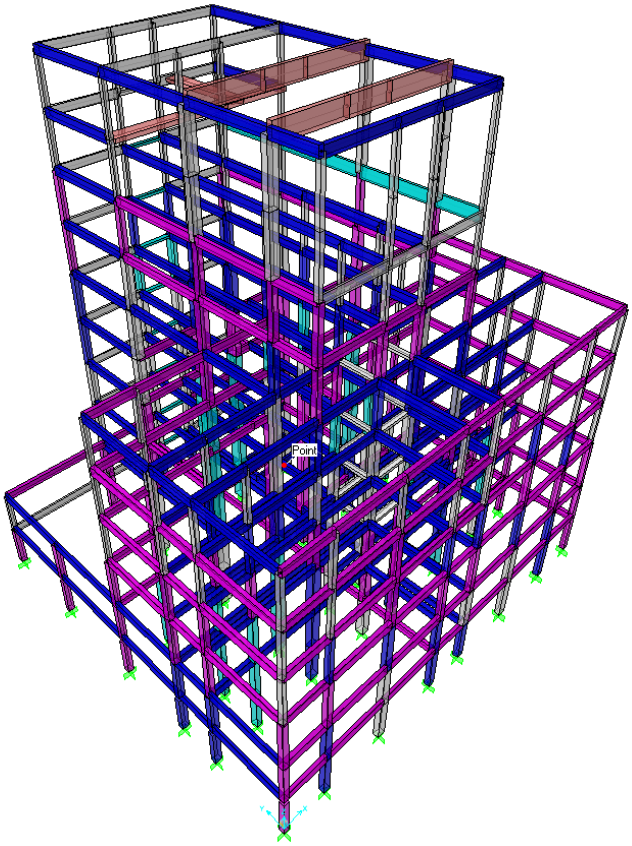
### 7.4.1 Dettagli sulla modellazione

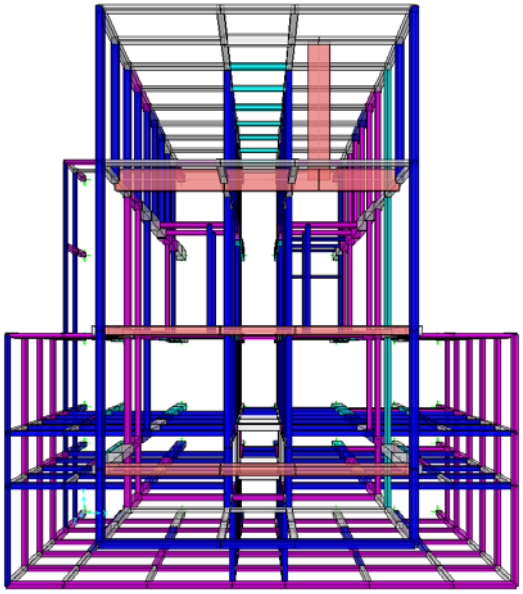
Nella modellazione della struttura sono stati utilizzati i seguenti accorgimenti:

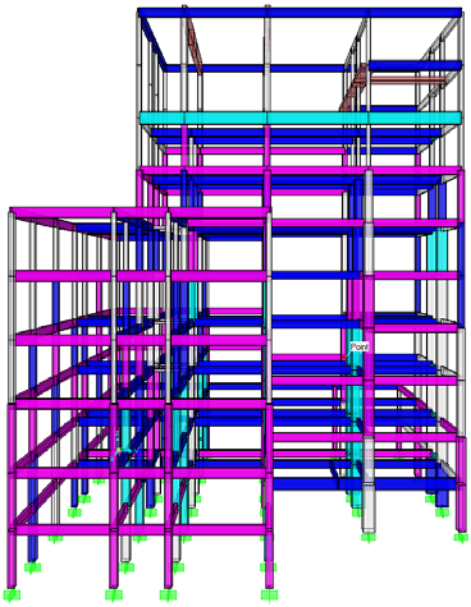
- Tutti gli impalcati sono stati considerati infinitamente rigidi nel loro piano essendo costituiti da solai in laterocemento con getto di soletta di completamento.
- I pilastri del primo ordine sono stati considerati incastrati a terra.
- Ove ritenuto necessario sono stati inseriti degli elementi infinitamente rigidi ("braccetti rigidi") al fine di riprodurre in maniera più accurata la presenza di nodi di grandi dimensioni e quindi di elementi tozzi.
- Le rigidezze a taglio e flessionali degli elementi trave sono state ridotte al 50% (come consigliato dalla normativa di riferimento) al fine di tenere in considerazione l'effetto della fessurazione delle sezioni in C.A. sottoposte a notevoli curvature; le rigidezze dei pilastri, in virtù dello sforzo assiale presente, non sono invece state abbattute.
- Per le zone degli elementi strutturali ove è possibile che abbiano luogo fenomeni di escursione in campo post-elastico, sono state adottate opportune leggi di comportamento (cerniere plastiche o plastic hinges) in grado di riprodurre il comportamento della sezione in campo non-lineare nei confronti di varie caratteristiche di sollecitazione (solitamente momento flettente e taglio).

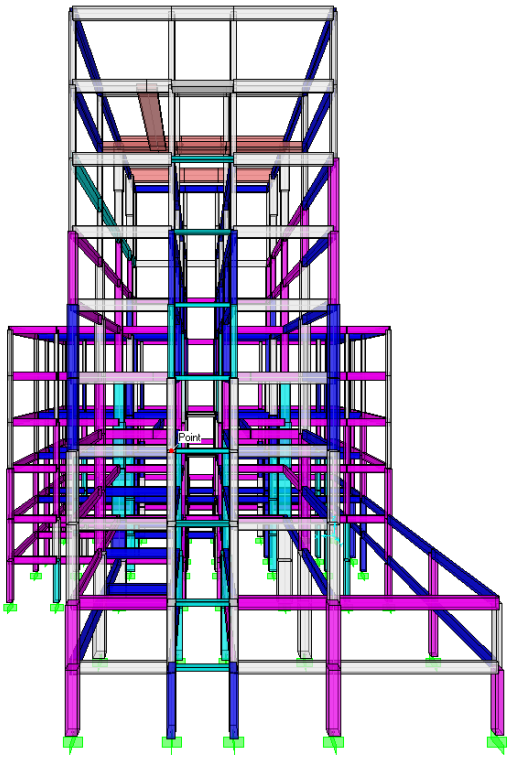
- Le cerniere plastiche dei pilastri sono state valutate tenendo in considerazione lo sforzo assiale presente in condizioni statiche, essendo quest'ultimo un fattore in grado di influenzare fortemente la capacità di rotazione delle stesse.

⇒ **Immagini modello 3D**

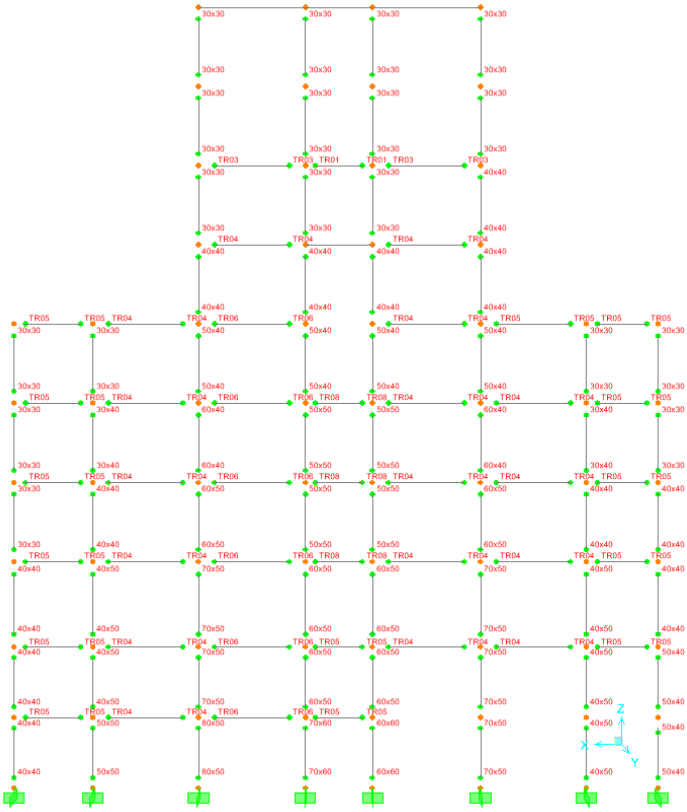


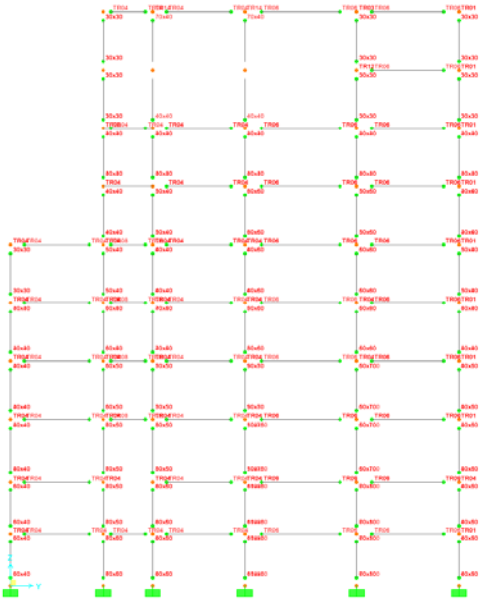


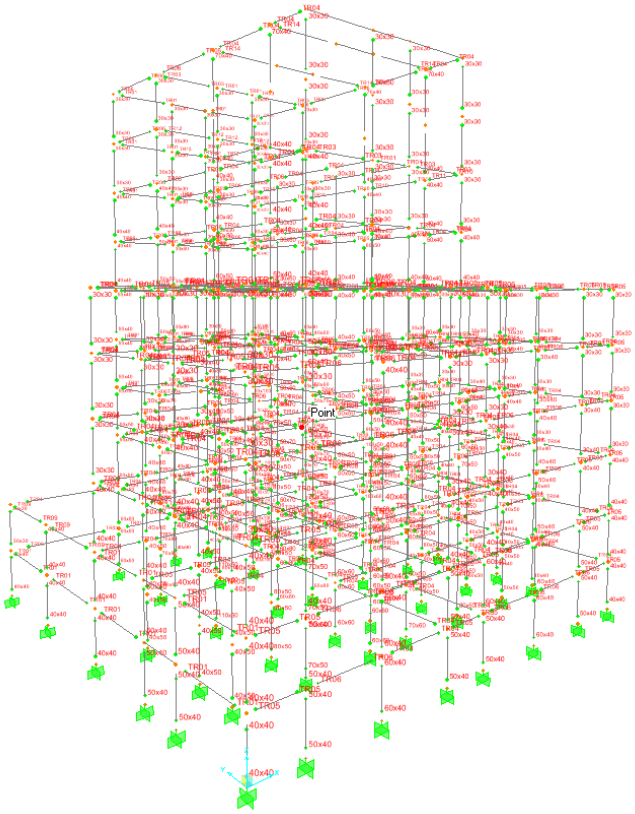



Point

## ⇒ Posizionamento delle cerniere plastiche







## 7.5 RISULTATI DELLE ELABORAZIONI

### 7.5.1 Analisi modale

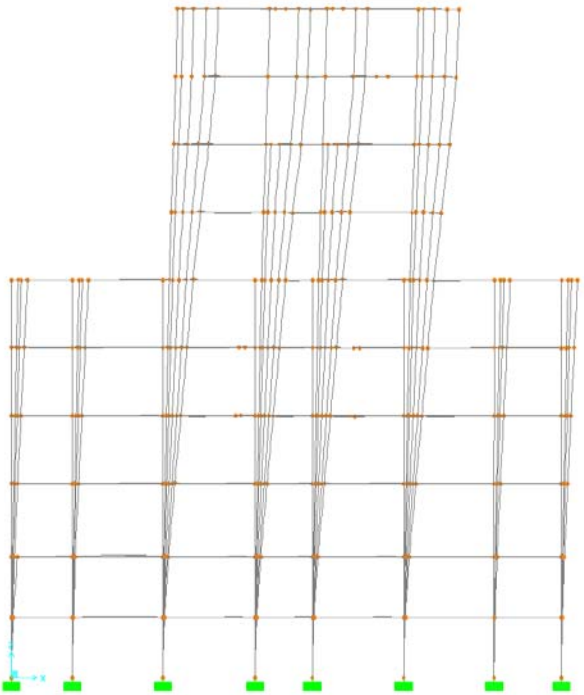
Di seguito si riportano i principali risultati dell'analisi modale (elastica) condotta sulla struttura ed alcune immagini relative ai modi principali.

**TABLE: Modal Participating Mass Ratios**

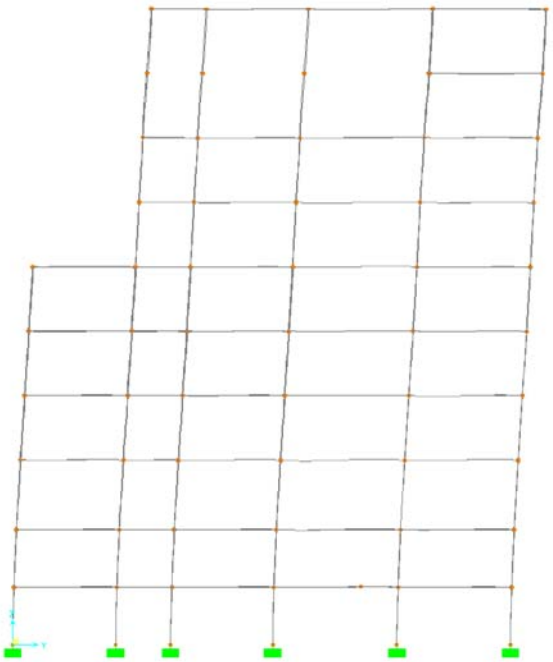
| OutputCase | StepType | StepNum | Period | UX | UY | RZ | SumUX | SumUY | SumRZ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Text | Text | Unitless | Sec | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless |
| AnalisiModale | Mode | 1 | 1.81 | 0.40 | 0.00 | 0.25 | 0.40 | 0.00 | 0.25 |
| AnalisiModale | Mode | 2 | 1.75 | 0.00 | 0.66 | 0.00 | 0.40 | 0.66 | 0.25 |
| AnalisiModale | Mode | 3 | 1.33 | 0.23 | 0.00 | 0.39 | 0.63 | 0.66 | 0.64 |
| AnalisiModale | Mode | 4 | 0.84 | 0.00 | 0.12 | 0.00 | 0.63 | 0.78 | 0.64 |
| AnalisiModale | Mode | 5 | 0.82 | 0.16 | 0.00 | 0.00 | 0.79 | 0.78 | 0.64 |
| AnalisiModale | Mode | 6 | 0.80 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.79 | 0.78 | 0.68 |
| AnalisiModale | Mode | 7 | 0.79 | 0.00 | 0.00 | 0.11 | 0.79 | 0.78 | 0.79 |
| AnalisiModale | Mode | 8 | 0.47 | 0.00 | 0.08 | 0.00 | 0.79 | 0.86 | 0.79 |
| AnalisiModale | Mode | 9 | 0.44 | 0.04 | 0.00 | 0.02 | 0.84 | 0.86 | 0.81 |
| AnalisiModale | Mode | 10 | 0.42 | 0.02 | 0.00 | 0.07 | 0.86 | 0.86 | 0.87 |
| AnalisiModale | Mode | 11 | 0.32 | 0.00 | 0.04 | 0.00 | 0.86 | 0.90 | 0.87 |
| AnalisiModale | Mode | 12 | 0.31 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.86 | 0.90 | 0.91 |
| AnalisiModale | Mode | 13 | 0.31 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.91 | 0.90 | 0.91 |
| AnalisiModale | Mode | 14 | 0.26 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.91 | 0.91 | 0.91 |
| AnalisiModale | Mode | 15 | 0.25 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.91 | 0.91 | 0.91 |
| AnalisiModale | Mode | 16 | 0.23 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.91 | 0.91 | 0.93 |
| AnalisiModale | Mode | 17 | 0.21 | 0.01 | 0.00 | 0.02 | 0.92 | 0.91 | 0.94 |
| AnalisiModale | Mode | 18 | 0.20 | 0.00 | 0.03 | 0.00 | 0.92 | 0.94 | 0.94 |
| AnalisiModale | Mode | 19 | 0.20 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.94 | 0.94 | 0.95 |
| AnalisiModale | Mode | 20 | 0.19 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.94 | 0.94 | 0.95 |
| AnalisiModale | Mode | 21 | 0.17 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.94 | 0.94 | 0.95 |
| AnalisiModale | Mode | 22 | 0.16 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.94 | 0.95 | 0.96 |
| AnalisiModale | Mode | 23 | 0.15 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.96 | 0.95 | 0.96 |
| AnalisiModale | Mode | 24 | 0.15 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.96 | 0.96 | 0.96 |
| AnalisiModale | Mode | 25 | 0.13 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.96 | 0.96 | 0.97 |
| AnalisiModale | Mode | 26 | 0.12 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.96 | 0.96 | 0.97 |
| AnalisiModale | Mode | 27 | 0.12 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.97 | 0.96 | 0.97 |
| AnalisiModale | Mode | 28 | 0.11 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.97 | 0.97 | 0.97 |
| AnalisiModale | Mode | 29 | 0.11 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.97 | 0.97 | 0.97 |
| AnalisiModale | Mode | 30 | 0.11 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.97 | 0.97 | 0.98 |

Si riportano di seguito le deformate corrispondenti ai primi tre modi della struttura:

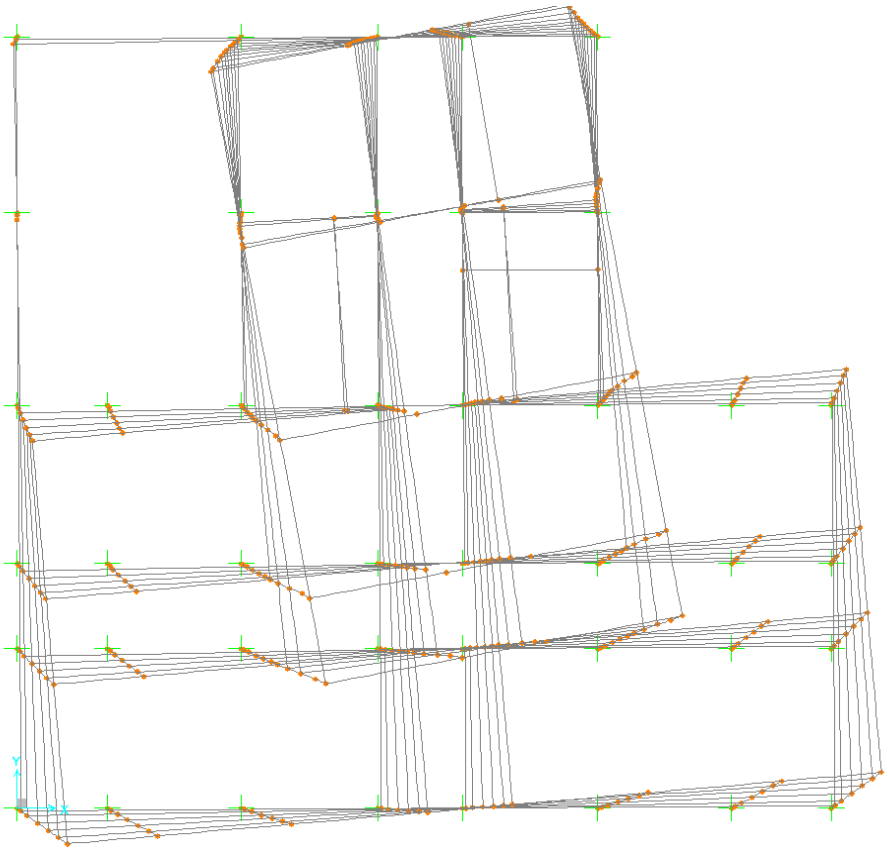
⇒ **Modo 1 – T = 1.81 s (traslazionale lungo X)**



⇒ **Modo 2 – T = 1.75 s (traslazionale lungo Y)**



⇒ **Modo 3 – T = 1.33 s (rotazionale attorno Z)**



### 7.5.2 Analisi statica non lineare (Pushover)

Di seguito si riportano:

- gli autovettori (deformate modali) per i modi traslazionali 1 e 2;
- gli autovettori normalizzati allo spostamento del centro di massa del 10° livello;
- le masse assemblate ai baricentri dei vari piani
- i fattori di partecipazione modale.

**1° MODO DIR X** (modo 2)

**Autovettore nodi MASSA - comp X**

| | |
|---|---|
| $\phi_1$ | -0.0006 |
| $\phi_2$ | -0.0018 |
| $\phi_3$ | -0.0036 |
| $\phi_4$ | -0.0054 |
| $\phi_5$ | -0.0073 |
| $\phi_6$ | -0.0100 |
| $\phi_7$ | -0.0173 |
| $\phi_8$ | -0.0216 |
| $\phi_9$ | -0.0369 |
| $\phi_{10}$ | -0.0278 |

**Autovettore nodi MASSA - comp X (normalizzato)**

| | | |
|---|---|---|
| $\phi_{1,norm}$ | 0.020 | 0.0004 |
| $\phi_{2,norm}$ | 0.064 | 0.0041 |
| $\phi_{3,norm}$ | 0.129 | 0.0167 |
| $\phi_{4,norm}$ | 0.194 | 0.0378 |
| $\phi_{5,norm}$ | 0.262 | 0.0689 |
| $\phi_{6,norm}$ | 0.361 | 0.1303 |
| $\phi_{7,norm}$ | 0.622 | 0.3873 |
| $\phi_{8,norm}$ | 0.779 | 0.6069 |
| $\phi_{9,norm}$ | 1.331 | 1.7704 |
| $\phi_{10,norm}$ | 1.000 | 1.0000 |

**MASSE traslazionali X**

| | | |
|---|---|---|
| $M_1$ | 508 | t |
| $M_2$ | 888 | t |
| $M_3$ | 809 | t |
| $M_4$ | 742 | t |
| $M_5$ | 718 | t |
| $M_6$ | 641 | t |
| $M_7$ | 345 | t |
| $M_8$ | 326 | t |
| $M_9$ | 125 | t |
| $M_{10}$ | 231 | t |

**COEFFICIENTE DI PARTECIPAZIONE**

**$\Gamma x$** 1.66

**$\Sigma mi*\phi i$** 1602 t

**1° MODO DIR Y** (modo 3)

**Autovettore nodi MASSA - comp Y**

| | |
|---|---|
| $\phi_1$ | -0.0009 |
| $\phi_2$ | -0.0030 |
| $\phi_3$ | -0.0064 |
| $\phi_4$ | -0.0099 |
| $\phi_5$ | -0.0134 |
| $\phi_6$ | -0.0164 |
| $\phi_7$ | -0.0191 |
| $\phi_8$ | -0.0222 |
| $\phi_9$ | -0.0264 |
| $\phi_{10}$ | -0.0293 |

**Autovettore nodi MASSA - comp Y (normalizzato)**

| | | |
|---|---|---|
| $\phi_{1,norm}$ | 0.032 | 0.0010 |
| $\phi_{2,norm}$ | 0.104 | 0.0108 |
| $\phi_{3,norm}$ | 0.219 | 0.0482 |
| $\phi_{4,norm}$ | 0.337 | 0.1137 |
| $\phi_{5,norm}$ | 0.456 | 0.2080 |
| $\phi_{6,norm}$ | 0.560 | 0.3141 |
| $\phi_{7,norm}$ | 0.653 | 0.4266 |
| $\phi_{8,norm}$ | 0.757 | 0.5729 |
| $\phi_{9,norm}$ | 0.902 | 0.8129 |
| $\phi_{10,norm}$ | 1.000 | 1.0000 |

**MASSE traslazionali Y**

| | | |
|---|---|---|
| $M_1$ | 508 | t |
| $M_2$ | 888 | t |
| $M_3$ | 809 | t |
| $M_4$ | 742 | t |
| $M_5$ | 718 | t |
| $M_6$ | 641 | t |
| $M_7$ | 345 | t |
| $M_8$ | 326 | t |
| $M_9$ | 125 | t |
| $M_{10}$ | 231 | t |

**COEFFICIENTE DI PARTECIPAZIONE**

**$\Gamma y$** 1.77

**$\Sigma mi*\phi i$** 2039 t

I due sistemi di forze sono di seguito riportati:

**SISTEMI DI FORZE DIR X**

| | |
|---|---|
| 510 | 10 |
| 890 | 60 |
| 810 | 100 |
| 740 | 140 |
| 720 | 190 |
| 640 | 230 |
| 350 | 210 |
| 330 | 250 |
| 130 | 170 |
| 230 | 230 |

**SISTEMI DI FORZE DIR Y**

| | |
|---|---|
| 510 | 20 |
| 890 | 90 |
| 810 | 180 |
| 740 | 250 |
| 720 | 330 |
| 640 | 360 |
| 350 | 230 |
| 330 | 250 |
| 130 | 110 |
| 230 | 230 |

Sulla struttura in oggetto sono state quindi eseguite le seguenti analisi pushover:

**1.** Pushover n.1 - Direzione X Sistema di forze Tipo 1
**2.** Pushover n.2 - Direzione X Sistema di forze Tipo 2
**3.** Pushover n.3 - Direzione Y Sistema di forze Tipo 1
**4.** Pushover n.4 - Direzione Y Sistema di forze Tipo 2

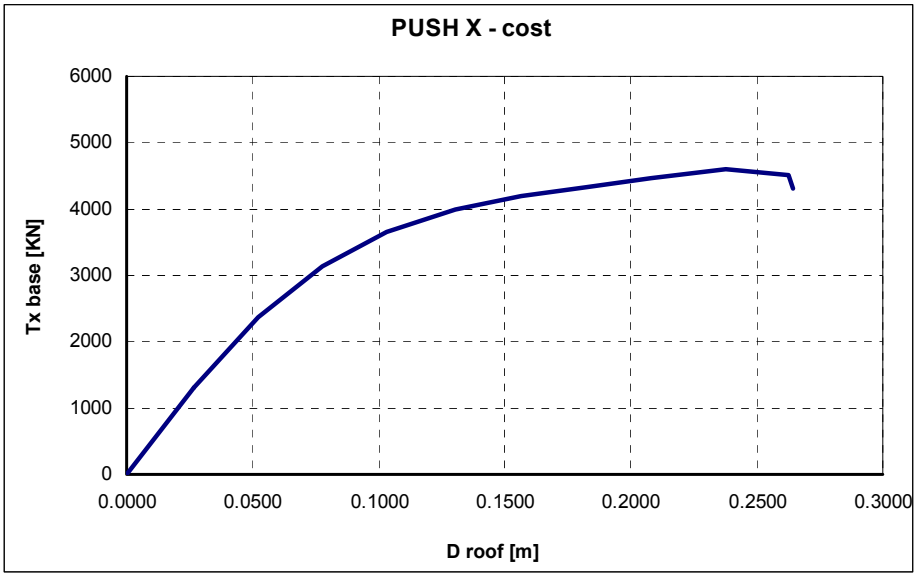
Di seguito si riportano le Curve di Push, le Curve di Capacità e le relative conversioni nel sistema elasto-plastico equivalente.

### 7.5.3 Pushover n°1

Pushover in direzione X con applicato alla struttura il sistema di forze Tipo 1.

### 7.5.4 Curva di push

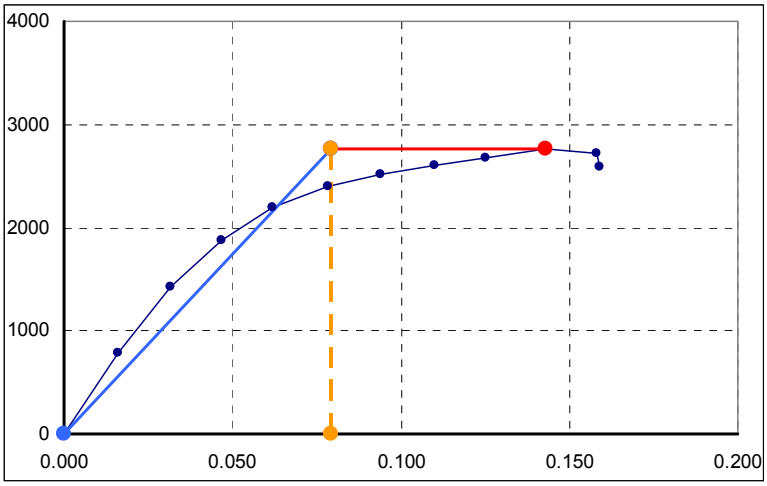
Si riporta la curva di push in termini di taglio totale alla base nella direzione considerata e spostamento del baricentro del 10°piano ($T_{base}$ – $D_{roof}$).



### *7.5.4.1 Curva di capacità e sistema SDOF bilineare equivalente*

**PUSH X COST**

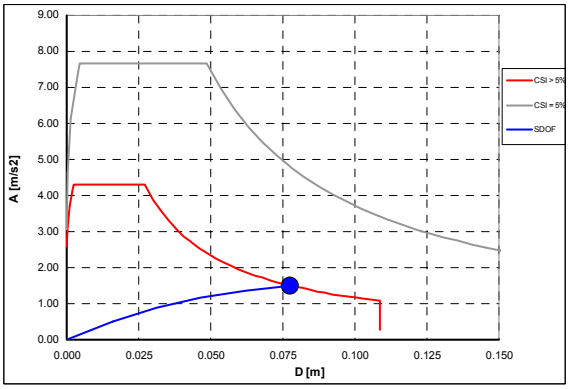
| STEP [ ] | SPOST [m] | TAGLIO [KN] |
|---|---|---|
| 0 | 0.0000 | 0 |
| 1 | 0.0267 | 1303 |
| 2 | 0.0523 | 2368 |
| 3 | 0.0777 | 3129 |
| 4 | 0.1034 | 3658 |
| 5 | 0.1303 | 3996 |
| 6 | 0.1568 | 4185 |
| 7 | 0.1828 | 4329 |
| 8 | 0.2082 | 4457 |
| 9 | 0.2377 | 4595 |
| 10 | 0.2629 | 4520 |
| 11 | 0.2645 | 4302 |




| | | |
|---|---|---|
| **Fbu** | 4595 | KN |
| **du** | 0.238 | m |
| **Γx** | 1.66 | |
| **F*y** | 2760 | KN |
| **d*u** | 0.143 | m |
| **k*** | 34766 | KN/m |
| **d*y** | 0.079 | m |
| **m*** | 1602 | t |
| **T*** | 1.35 | s |

### *7.5.4.2 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari Stati Limite (Push n°1)*

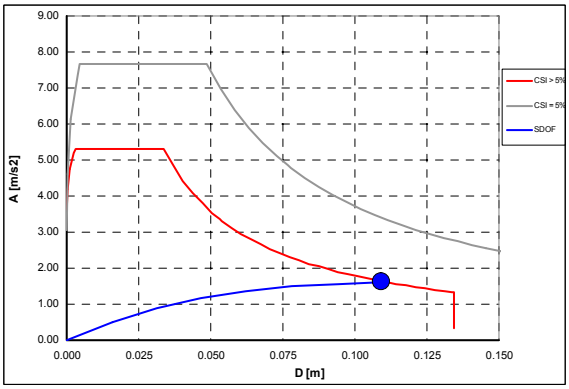
**ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA ALLO SNERVAMENTO**




Viscosità equivalente = 17.5%

Step 5 ⇒ **PGA = 2.575 m/s$^2$**

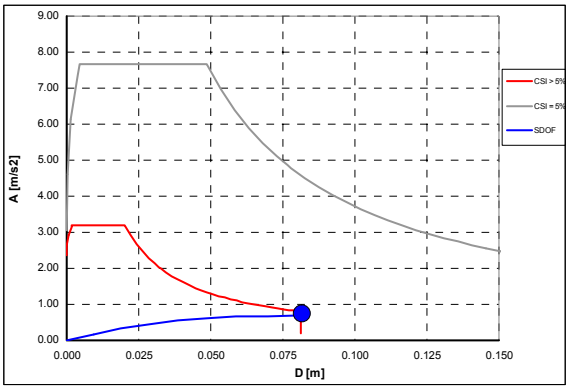
**ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA DI DANNO SEVERO**




Viscosità equivalente = 24.0%

Step 7 ⇒ **PGA = 3.556 m/s$^2$**

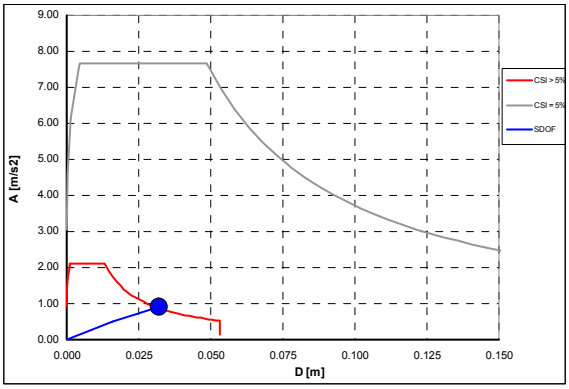
**ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA DI COLLASSO**




Viscosità equivalente = 27.6%

Step 9 ⇒ **PGA = 4.476 m/s$^2$**

**COLLASSO A TAGLIO**




Viscosità equivalente =7.0%

Step 2 ⇒ **PGA = 0.920 m/s$^2$**

**RIEPILOGO**

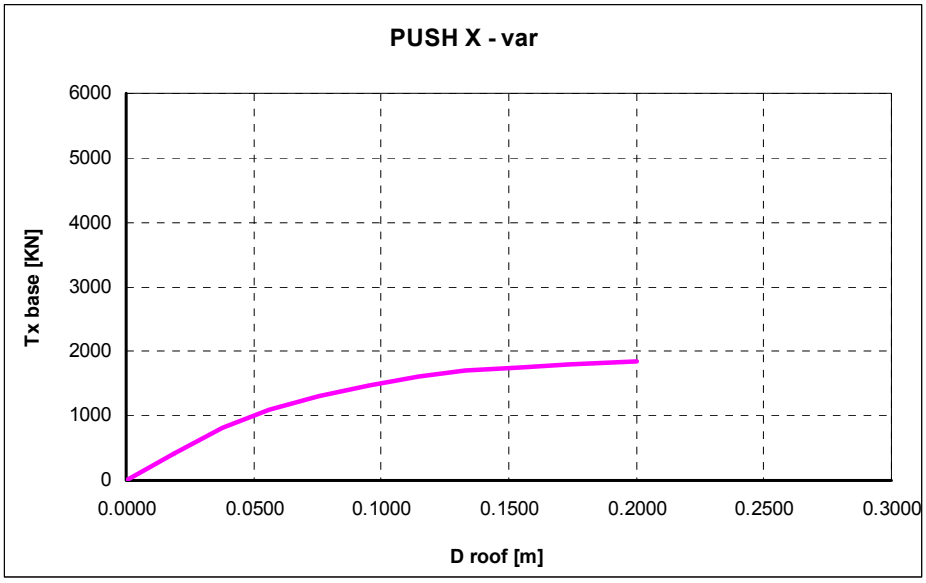
| | | | |
|---|---|---|---|
| Step 2 | ⇒ | **$PGA_{TAGLIO}$ = 0.920 m/s$^2$** | (collasso a taglio) |
| Step 5 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ Y}$ = 2.575 m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |
| Step 7 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ DS}$ = 3.556 m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |
| Step 9 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ CO}$ = 4.476 m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |

### 7.5.5 Pushover n°2

Pushover in direzione X con applicato alla struttura il sistema di forze Tipo 2.

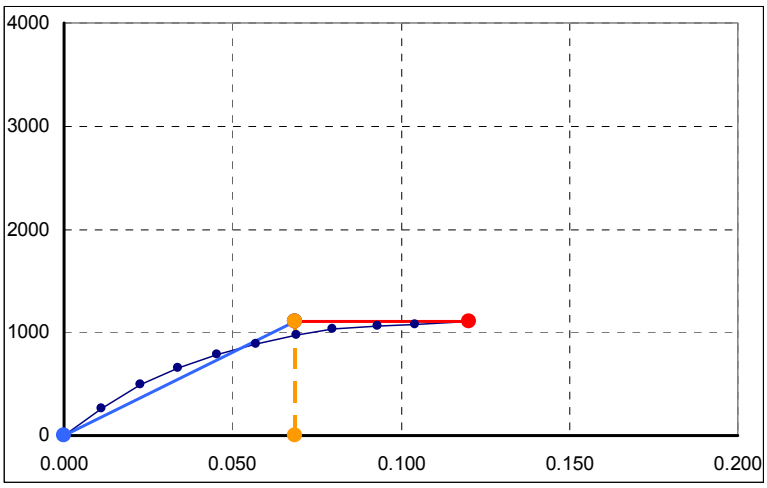
#### *7.5.5.1 Curva di push*

Si riporta la curva di push in termini di taglio totale alla base nella direzione considerata e spostamento del baricentro del 10°piano ($T_{base}$ – $D_{roof}$).




### *7.5.5.2 Curva di capacità e sistema SDOF bilineare equivalente*

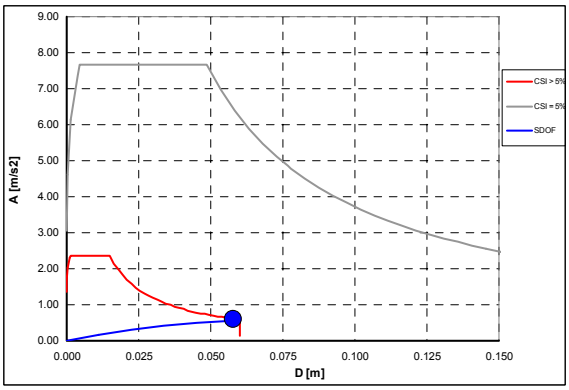
| PUSH X VAR | | |
|---|---|---|
| **STEP** | **SPOST** | **TAGLIO** |
| **[ ]** | **[m]** | **[KN]** |
| 0 | 0.0000 | 0 |
| 1 | 0.0187 | 430 |
| 2 | 0.0375 | 818 |
| 3 | 0.0563 | 1101 |
| 4 | 0.0754 | 1304 |
| 5 | 0.0952 | 1473 |
| 6 | 0.1146 | 1611 |
| 7 | 0.1328 | 1712 |
| 8 | 0.1547 | 1757 |
| 9 | 0.1737 | 1799 |
| 10 | 0.2003 | 1847 |




| | | |
|---|---|---|
| **Fbu** | 1847 | KN |
| **du** | 0.200 | m |
| **Γx** | 1.66 | |
| **F*y** | 1109 | KN |
| **d*u** | 0.120 | m |
| **k*** | 16200 | KN/m |
| **d*y** | 0.068 | m |
| **m*** | 1602 | t |
| **T*** | 1.98 | s |

### *7.5.5.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari Stati Limite (Push n°2)*

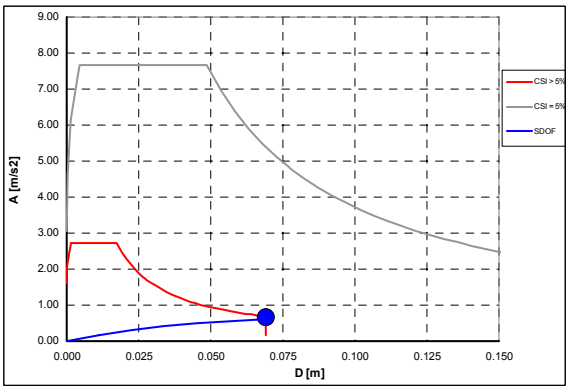
**ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA ALLO SNERVAMENTO**




Viscosità equivalente = 15.3%

Step 5 ⇒ **PGA = 1.349 m/s²**

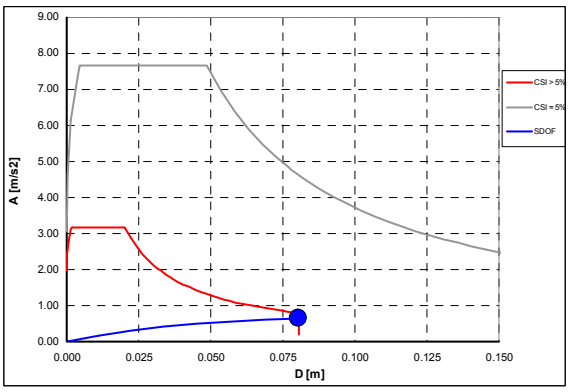
**ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA DI DANNO SEVERO**




Viscosità equivalente = 17.0%

Step 6 ⇒ **PGA = 1.619 m/s²**

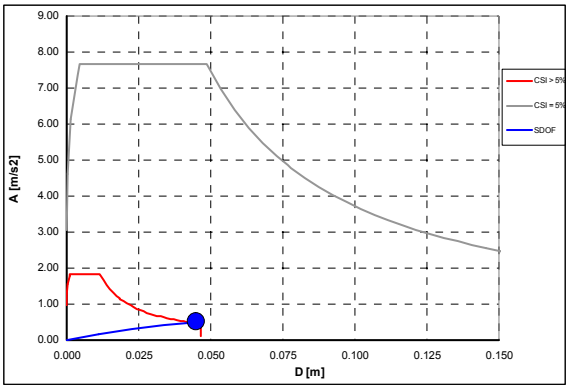
## ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA DI COLLASSO




Viscosità equivalente = 18.8%

Step 7 ⇒ **PGA = 1.962 m/s$^2$**

## COLLASSO A TAGLIO




Viscosità equivalente = 12.9 %

Step 4 ⇒ **PGA = 0.981 m/s$^2$**

## RIEPILOGO

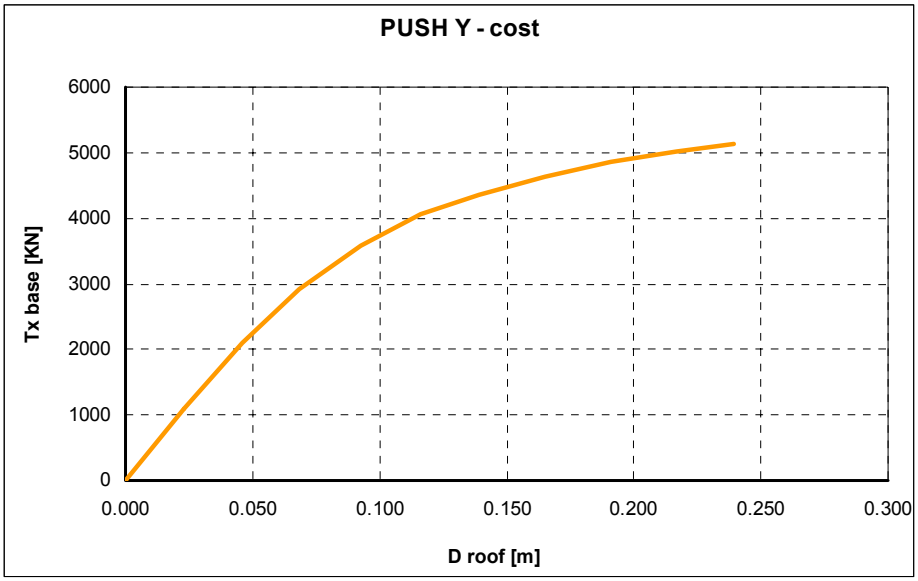
| | | | |
|---|---|---|---|
| Step 4 | ⇒ | **$PGA_{TAGLIO}$ = 0.981 m/s$^2$** | (collasso a taglio) |
| Step 5 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ Y}$ = 1.104 m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |
| Step 6 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ DS}$ = 1.619 m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |
| Step 7 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ CO}$ = 1.962 m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |

### 7.5.6 Pushover n°3

Pushover in direzione Y con applicato alla struttura il sistema di forze Tipo 1.

#### *7.5.6.1 Curva di push*

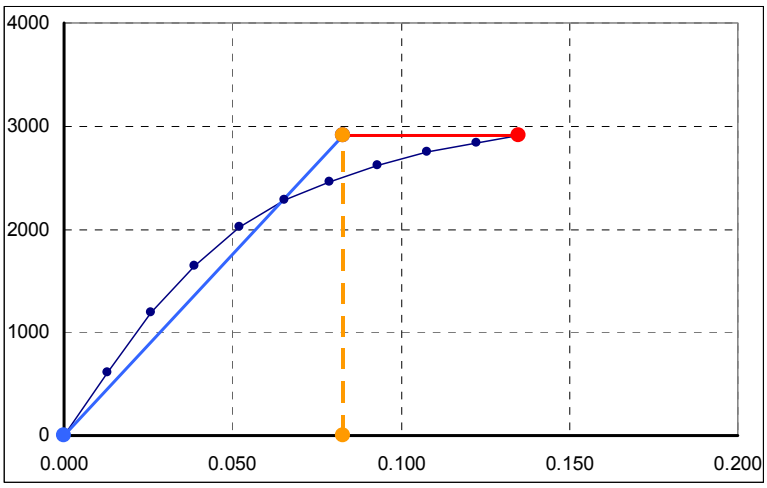
Si riporta la curva di push in termini di taglio totale alla base nella direzione considerata e spostamento del baricentro del 10°piano ($T_{base}$ – $D_{roof}$).




#### *7.5.6.2 Curva di capacità e sistema SDOF bilineare equivalente*

**PUSH Y COST**

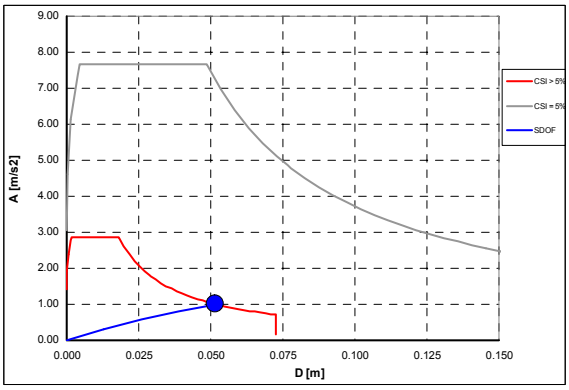
| STEP [ ] | SPOST [m] | TAGLIO [KN] |
|---|---|---|
| 0 | 0.0000 | 0 |
| 1 | 0.0229 | 1094 |
| 2 | 0.0460 | 2109 |
| 3 | 0.0686 | 2912 |
| 4 | 0.0923 | 3589 |
| 5 | 0.1163 | 4049 |
| 6 | 0.1393 | 4362 |
| 7 | 0.1650 | 4639 |
| 8 | 0.1912 | 4860 |
| 9 | 0.2170 | 5025 |
| 10 | 0.2395 | 5144 |




| | | |
|---|---|---|
| **Fbu** | 5144 | KN |
| **du** | 0.240 | m |
| **Γy** | 1.77 | |
| **F*y** | 2903 | KN |
| **d*u** | 0.135 | m |
| **k*** | 34975 | KN/m |
| **d*y** | 0.083 | m |
| **m*** | 2039 | t |
| **T*** | 1.52 | s |

### *7.5.6.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari Stati Limite (Push n°3)*

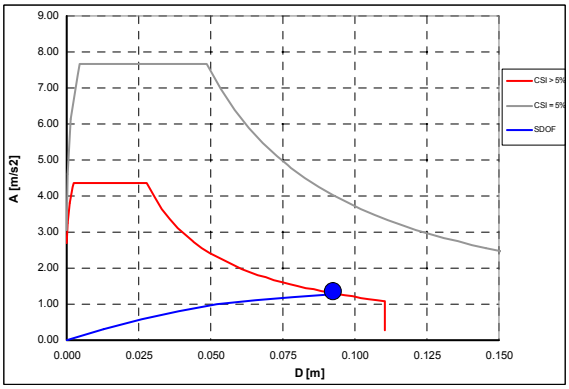
## ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA ALLO SNERVAMENTO




Viscosità equivalente = 10.4%

Step 4 ⇒ **PGA = 1.422 m/s²**

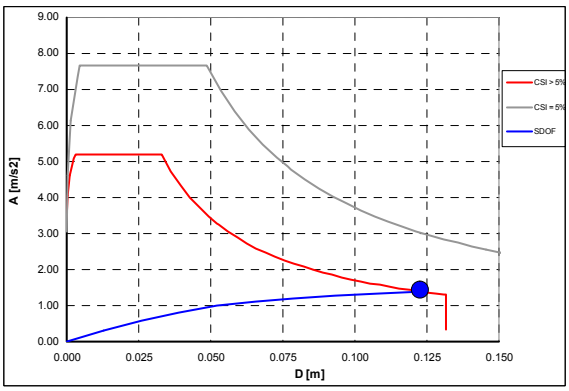
## ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA DI DANNO SEVERO




Viscosità equivalente = 18.9 %

Step 7 ⇒ **PGA = 2.698 m/s²**

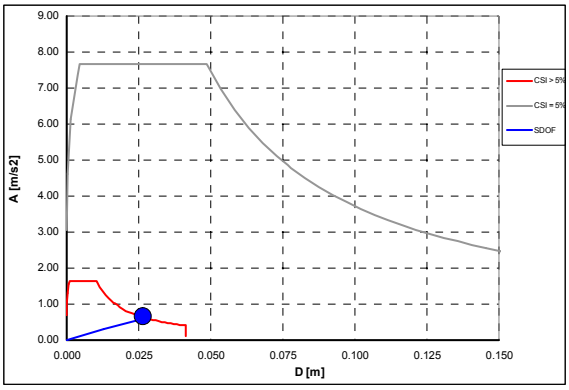
## ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA DI COLLASSO




Viscosità equivalente = 23.1%

Step 9 ⇒ **PGA = 3.483 m/s$^2$**

## COLLASSO A TAGLIO




Viscosità equivalente = 6.1%

Step 2 ⇒ **PGA = 0.687 m/s$^2$**

## RIEPILOGO

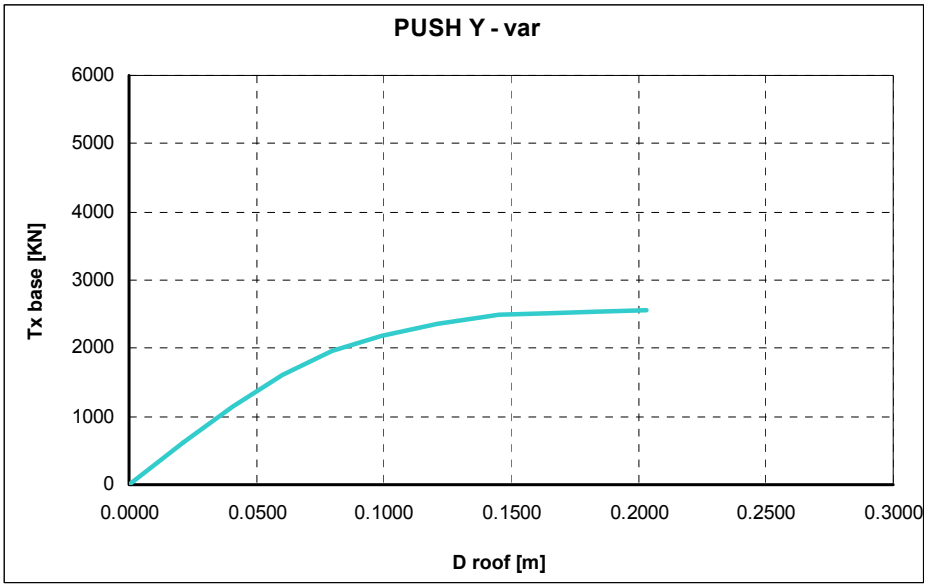
| | | | |
|---|---|---|---|
| Step 2 | ⇒ | **$PGA_{TAGLIO}$ = 0.687 m/s$^2$** | (collasso a taglio) |
| Step 4 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ Y}$ = 1.422 m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |
| Step 7 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ DS}$ = 2.698 m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |
| Step 9 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ CO}$ = 3.483 m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |

### 7.5.7 Pushover n°4

Pushover in direzione Y con applicato alla struttura il sistema di forze Tipo 2.

#### *7.5.7.1 Curva di push*

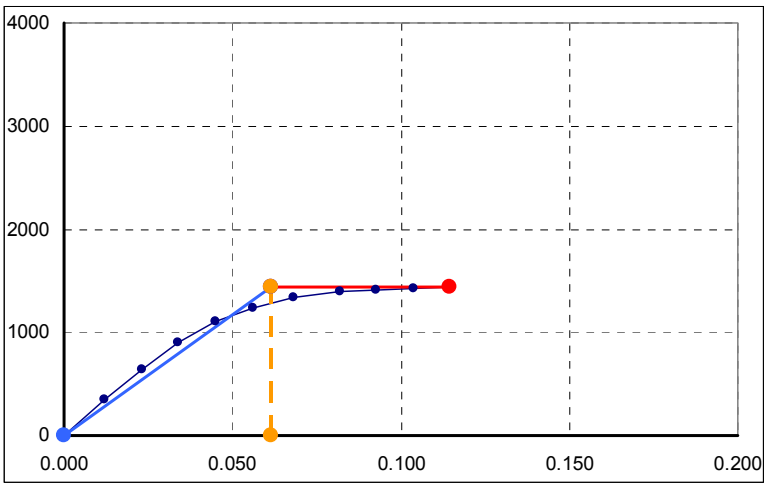
Si riporta la curva di push in termini di taglio totale alla base nella direzione considerata e spostamento del baricentro del 10°piano ($T_{base}$ – $D_{roof}$).




#### *7.5.7.2 Curva di capacità e sistema SDOF bilineare equivalente*

**PUSH Y VAR**

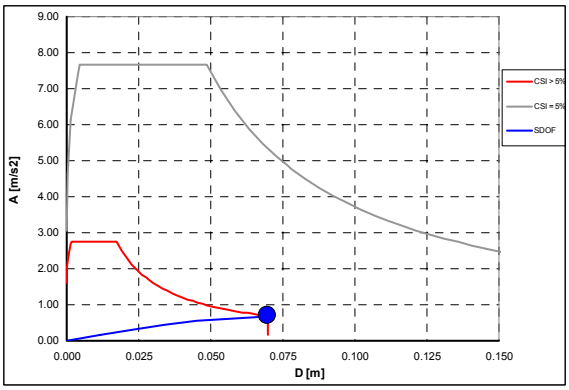
| STEP [ ] | SPOST [m] | TAGLIO [KN] |
|---|---|---|
| 0 | 0.0000 | 0 |
| 1 | 0.0212 | 609 |
| 2 | 0.0407 | 1146 |
| 3 | 0.0600 | 1608 |
| 4 | 0.0798 | 1966 |
| 5 | 0.0994 | 2190 |
| 6 | 0.1208 | 2364 |
| 7 | 0.1454 | 2483 |
| 8 | 0.1645 | 2506 |
| 9 | 0.1837 | 2530 |
| 10 | 0.2029 | 2553 |




| | | |
|---|---|---|
| **Fbu** | 2553 | KN |
| **du** | 0.203 | m |
| **Γy** | 1.77 | |
| **F*y** | 1441 | KN |
| **d*u** | 0.115 | m |
| **k*** | 23511 | KN/m |
| **d*y** | 0.061 | m |
| **m*** | 2039 | t |
| **T*** | 1.85 | s |

### *7.5.7.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari Stati Limite (Push n°4)*

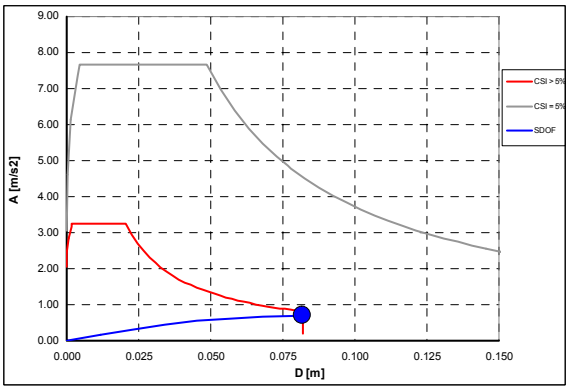
## ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA ALLO SNERVAMENTO




Viscosità equivalente = 16.5 %

Step 6 ⇒ **PGA = 1.619 m/s²**

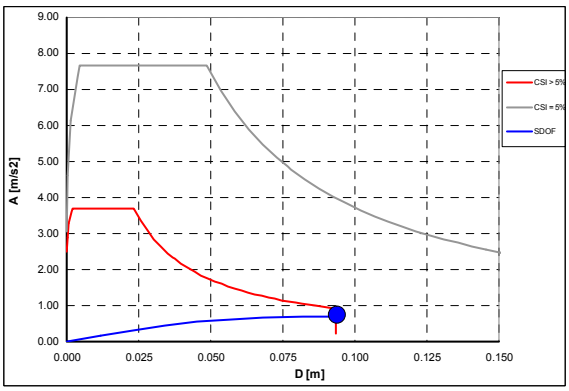
## ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA DI DANNO SEVERO




Viscosità equivalente = 20.3 %

Step 7 ⇒ **PGA = 2.060m/s²**

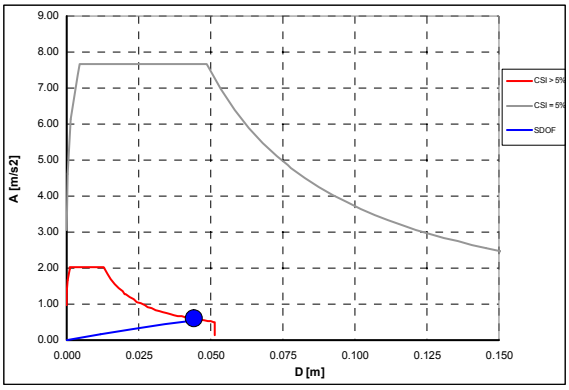
## ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA DI COLLASSO




Viscosità equivalente = 23.8 %

Step 8 ⇒ **PGA = 2.502 m/s$^2$**

## COLLASSO A TAGLIO




Viscosità equivalente = 9.6 %

Step 4 ⇒ **PGA = 0.981 m/s$^2$**

## RIEPILOGO

| | | | |
|---|---|---|---|
| Step 4 | ⇒ | **$PGA_{TAGLIO}$ = 0.981 m/s$^2$** | (collasso a taglio) |
| Step 6 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ Y}$ = 1.619 m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |
| Step 7 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ DS}$ = 2.060 m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |
| Step 8 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ CO}$ = 2.502 m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |

## 7.6 CONCLUSIONI

I valori degli indicatori di rischio da inserire nelle schede di sintesi, risultano:

INDICATORE DI RISCHIO DI INAGIBILITA'

$$\alpha_e = \frac{PGA_{DL}}{PGA_{50\%}} = 1.100$$

INDICATORE DI RISCHIO DI COLLASSO 2

$$\alpha_{U2} = \frac{PGA_{DS}}{PGA_{10\%}} = 0.528$$

INDICATORE DI RISCHIO DI COLLASSO 1

$$\alpha_{U1} = \frac{PGA_{CO}}{PGA_{2\%}} = 0.149$$

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva con i risultati dei quattro casi sopra descritti:

| **RIEPILOGO INDICATORI DI RISCHIO CORPO G - $\gamma_I = 1$** | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **MODELLI** | | **Distribuzione triangolare** | | | | **Distribuzione uniforme** | | | |
| | | **Direzione X** | | **Direzione Y** | | **Direzione X** | | **Direzione Y** | |
| **STATO LIMITE** | **PGA Rif.** | **PGA Analisi** | **α** | **PGA Analisi** | **α** | **PGA Analisi** | **α** | **PGA Analisi** | **α** |
| Danno lieve rotazione alla corda | 1.226 | 1.349 | **1.100** | 1.619 | **1.320** | 2.575 | **2.100** | 1.422 | **1.160** |
| Danno severo rotazione alla corda | 3.066 | 1.619 | **0.528** | 2.060 | **0.672** | 3.556 | **1.160** | 2.698 | **0.880** |
| Collasso rotazione alla corda | 4.598 | 1.962 | **0.427** | 2.502 | **0.544** | 4.476 | **0.973** | 3.483 | **0.758** |
| Collasso nodo | 4.598 | - | **-** | - | **-** | - | **-** | - | **-** |
| Collasso taglio | 4.598 | 0.981 | **0.213** | 0.981 | **0.213** | 0.920 | **0.200** | 0.687 | **0.149** |

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva con i risultati dei quattro casi sopra descritti:

| **RIEPILOGO INDICATORI DI RISCHIO CORPO G - $\gamma_I$ = 1.4** | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **MODELLI** | | **Distribuzione triangolare** | | | | **Distribuzione uniforme** | | | |
| | | **Direzione X** | | **Direzione Y** | | **Direzione X** | | **Direzione Y** | |
| **STATO LIMITE** | **PGA Rif.** | **PGA Analisi** | **α** | **PGA Analisi** | **α** | **PGA Analisi** | **α** | **PGA Analisi** | **α** |
| Danno lieve rotazione alla corda | 1.716 | 1.349 | **0.786** | 1.619 | **0.943** | 2.575 | **1.500** | 1.422 | **0.829** |
| Danno severo rotazione alla corda | 4.292 | 1.619 | **0.377** | 2.060 | **0.480** | 3.556 | **0.829** | 2.698 | **0.629** |
| Collasso rotazione alla corda | 6.437 | 1.962 | **0.305** | 2.502 | **0.389** | 4.476 | **0.695** | 3.483 | **0.541** |
| Collasso nodo | 6.437 | - | **-** | - | **-** | - | **-** | - | **-** |
| Collasso taglio | 6.437 | 0.981 | **0.152** | 0.981 | **0.152** | 0.920 | **0.143** | 0.687 | **0.106** |

# 8 RELAZIONE DI CALCOLO CORPO H

## 8.1 LIVELLO DI CONOSCENZA RAGGIUNTO

La determinazione del livello di conoscenza è necessaria per definire i parametri meccanici ed i fattori di confidenza (FC).
In relazione alla Tabella 11.1 della normativa di riferimento si specifica:
- **Geometria**: è stata ottenuta da disegni di carpenteria originali; è stato eseguito inoltre un rilievo visivo a campione.
- **Dettagli strutturali**: sono stati desunti dai disegni costruttivi completi e da **"limitate verifiche in situ"**.
- **Materiali**: sono state eseguite **"limitate prove in situ"**.

Considerato quanto sopra si conclude che il livello di conoscenza acquisito per l'edificio in oggetto è **LC2** che comporta un Fattore di Confidenza **FC = 1.2**.

## 8.2 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI ADOTTATE NELL'ANALISI

Sulla base delle prescrizioni progettuali, delle prove effettuate e considerato il fattore di confidenza **FC = 1.2**, si è scelto di adottare per i materiali le seguenti caratteristiche di calcolo:

- **CLS**

$f_c$ = 17 N/mm$^2$
E = 29000 N/mm$^2$
G = 11100 N/mm$^2$
$w_{CLS}$ = 25.0 kN/m$^3$

- **ACCIAIO (AQ50/60)**

$f_y$ = 295 N/mm$^2$

E = 206000 N/mm$^2$

G = 79000 N/mm$^2$

## 8.3 ANALISI DEI CARICHI

Per la valutazione dei carichi agenti sono stati adottati valori tradizionalmente riportati in letteratura.

### 8.3.1 Valutazione carico neve

E' stato considerato $\Rightarrow$ **$q_{neve}$ = 1.20 kN/m$^2$**

### 8.3.2 Solaio piani degenze [laterocemento 14+4]

**Permanenti:**

| | | |
|---|---|---|
| peso proprio solaio: | | = 2.20 kN/m$^2$ |
| sovracc. perm.: | | = 1.80 kN/m$^2$ |
| tramezzature: | | = 1.00 kN/m$^2$ |
| | **P** | **= 5.00 kN/m$^2$** |
| **Accidentale (ospedale):** | **Q** | **= 3.00 kN/m$^2$** |

### 8.3.3 Solaio piani degenze [laterocemento 18+4]

**Permanenti:**

| | | |
|---|---|---|
| peso proprio solaio: | | = 2.60 kN/m$^2$ |
| sovracc. perm.: | | = 1.80 kN/m$^2$ |
| tramezzature: | | = 1.00 kN/m$^2$ |
| | **P** | **= 5.40 kN/m$^2$** |
| **Accidentale (ospedale):** | **Q** | **= 3.00 kN/m$^2$** |

### 8.3.4 Solaio piani degenze [laterocemento 25+5]

**Permanenti:**

| | | |
|---|---|---|
| peso proprio solaio: | | = 3.20 kN/m$^2$ |
| sovracc. perm.: | | = 1.80 kN/m$^2$ |
| tramezzature: | | = 1.00 kN/m$^2$ |
| | **P** | **= 6.00 kN/m$^2$** |
| **Accidentale (ospedale):** | **Q** | **= 3.00 kN/m$^2$** |

### 8.3.5 Solaio copertura [laterocemento 18+4]

**Permanenti:**

| | | |
|---|---|---|
| peso proprio solaio: | | = 2.60 kN/m$^2$ |
| sovracc. perm.: | | = 1.40 kN/m$^2$ |
| | **P** | **= 4.00 kN/m$^2$** |
| **Accidentale (neve):** | **Q** | **= 1.20 kN/m$^2$** |

### 8.3.6 Solaio copertura [laterocemento 25+5]

**Permanenti:**

| | | |
|---|---|---|
| peso proprio solaio: | | = 3.20 kN/m$^2$ |
| sovracc. perm.: | | = 1.40 kN/m$^2$ |
| | **P** | **= 4.60 kN/m$^2$** |
| **Accidentale (neve):** | **Q** | **= 1.20 kN/m$^2$** |

### 8.3.7 Scala [soletta in c.a.]

**Permanenti:**

| | | |
|---|---|---|
| peso proprio: | | = 4.50 kN/m$^2$ |
| sovracc. perm.: | | = 1.50 kN/m$^2$ |
| | **P** | **= 6.00 kN/m$^2$** |
| **Accidentale (scale):** | **Q** | **= 4.00 kN/m$^2$** |

### 8.3.8 Tamponatura perimetrale

**Permanenti:**

muratura a doppio intonaco: = 3.00 kN/m$^2$

**P = 3.00 kN/m$^2$**

**N.B.** Per le pareti finestrate sono state valutate opportune riduzioni del carico dovuto alle tamponature.

## 8.4 MODELLO STRUTTURALE

Il modello di calcolo utilizzato è di tipo tridimensionale ed è stato costruito adottando elementi di tipo "frame" per la schematizzazione degli elementi snelli (travi e pilastri).

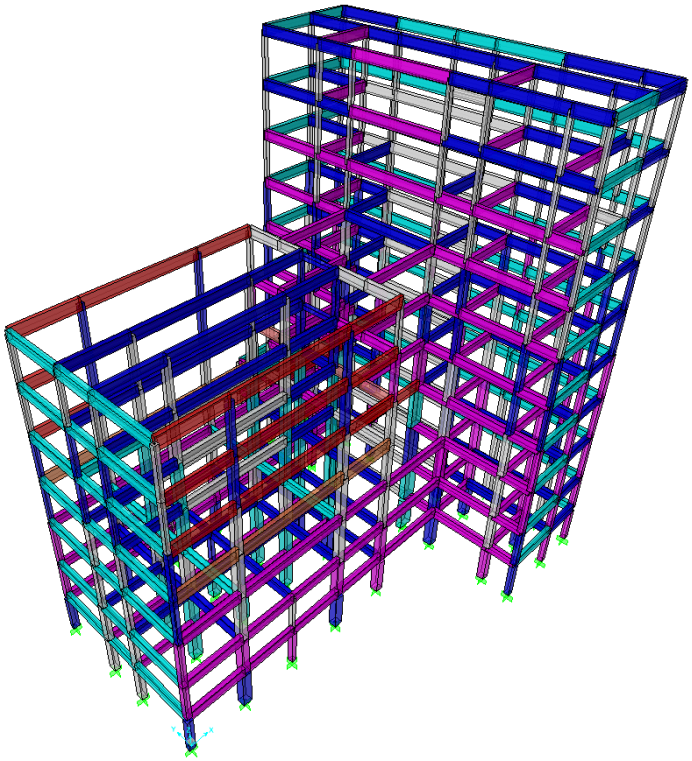
### 8.4.1 Dettagli sulla modellazione

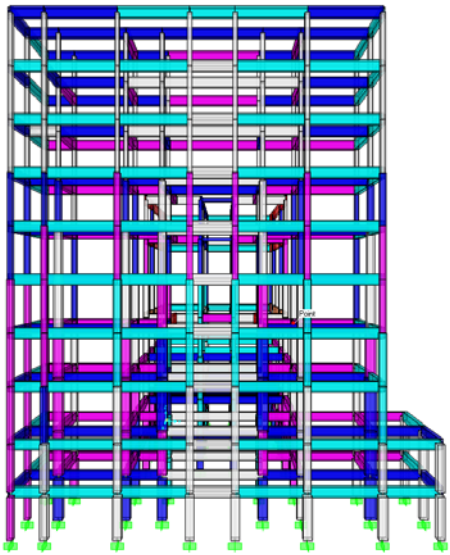
Nella modellazione della struttura sono stati utilizzati i seguenti accorgimenti:

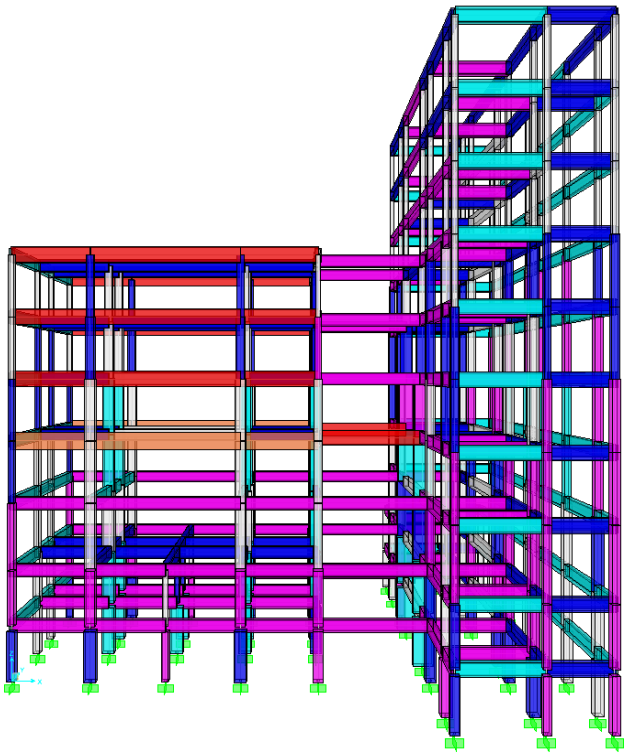
- Tutti gli impalcati sono stati considerati infinitamente rigidi nel loro piano essendo costituiti da solai in laterocemento con getto di soletta di completamento.
- I pilastri del primo ordine sono stati considerati incastrati a terra.
- Ove ritenuto necessario sono stati inseriti degli elementi infinitamente rigidi ("braccetti rigidi") al fine di riprodurre in maniera più accurata la presenza di nodi di grandi dimensioni e quindi di elementi tozzi.
- Le rigidezze a taglio e flessionali degli elementi trave sono state ridotte al 50% (come consigliato dalla normativa di riferimento) al fine di tenere in considerazione l'effetto della fessurazione delle sezioni in C.A. sottoposte a notevoli curvature; le rigidezze dei pilastri, in virtù dello sforzo assiale presente, non sono invece state abbattute.
- Per le zone degli elementi strutturali ove è possibile che abbiano luogo fenomeni di escursione in campo post-elastico, sono state adottate opportune leggi di comportamento (cerniere plastiche o plastic hinges) in grado di riprodurre il comportamento della sezione in campo non-lineare nei confronti di varie caratteristiche di sollecitazione (solitamente momento flettente e taglio).

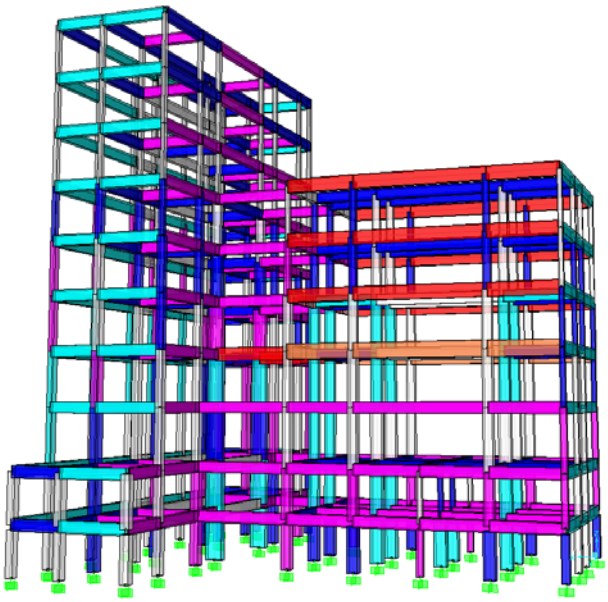
- Le cerniere plastiche dei pilastri sono state valutate tenendo in considerazione lo sforzo assiale presente in condizioni statiche, essendo quest'ultimo un fattore in grado di influenzare fortemente la capacità di rotazione delle stesse.

⇒ **Immagini modello 3D**

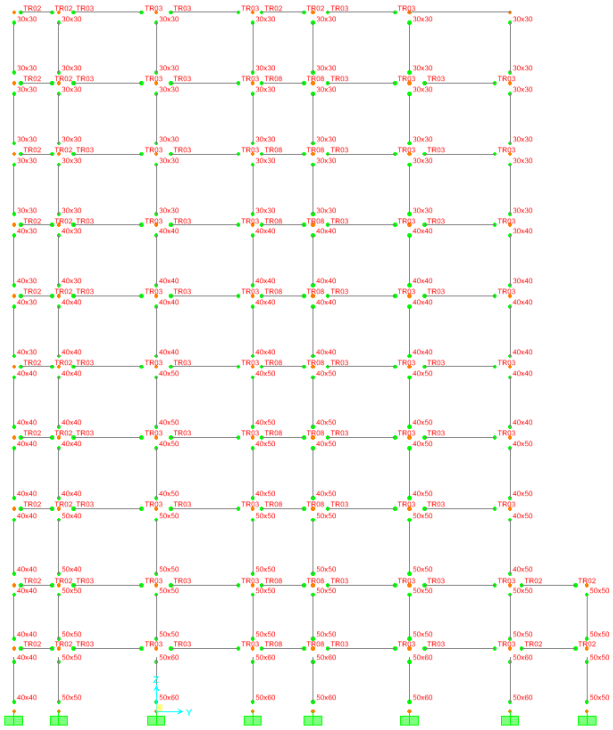


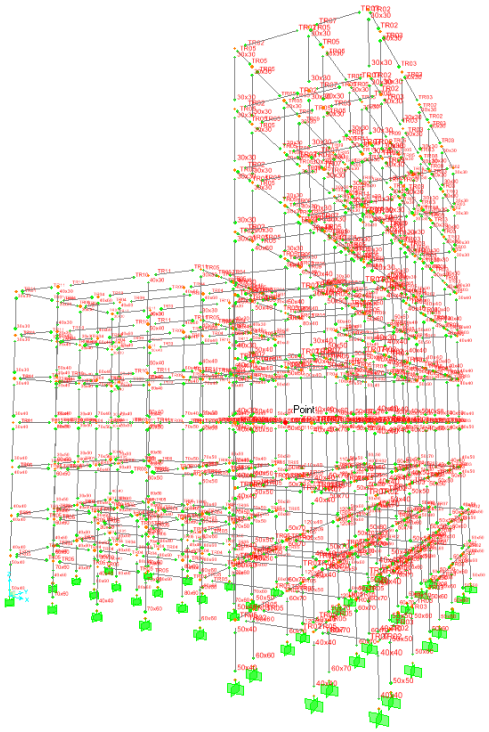






## ⇒ Posizionamento delle cerniere plastiche





## 8.5 RISULTATI DELLE ELABORAZIONI

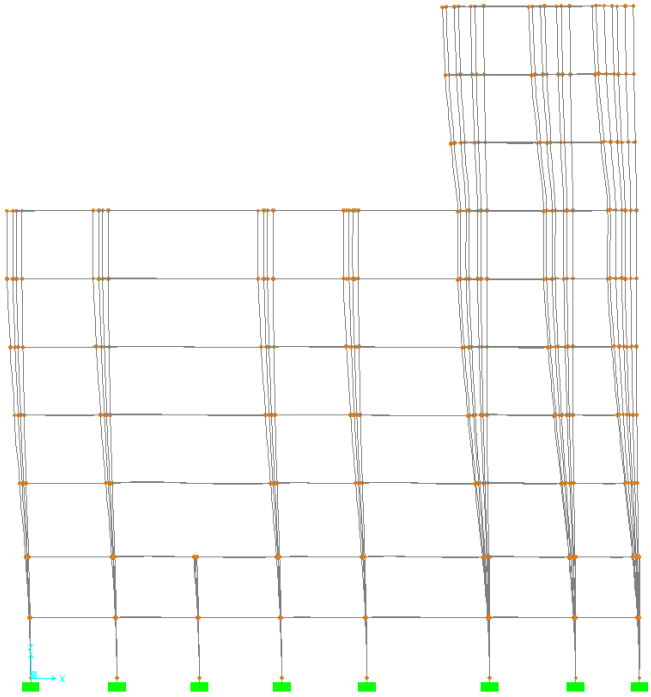
### 8.5.1 Analisi modale

Di seguito si riportano i principali risultati dell'analisi modale (elastica) condotta sulla struttura ed alcune immagini relative ai modi principali.

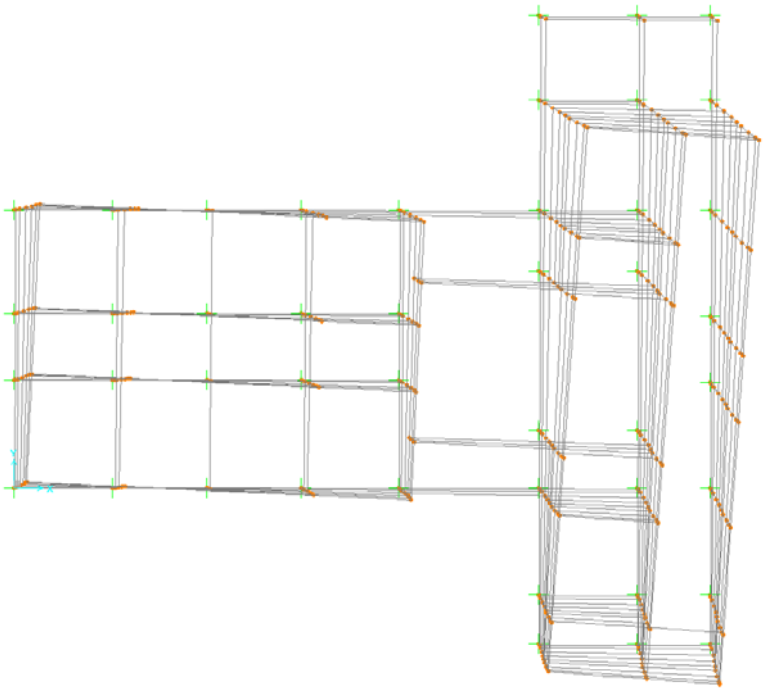
| TABLE: Modal Participating Mass Ratios | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OutputCase | StepType | StepNum | Period | UX | UY | RZ | SumUX | SumUY | SumRZ |
| Text | Text | Unitless | Sec | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless |
| AnalisiModale | Mode | 1 | 1,92 | 0,36 | 0,10 | 0,26 | 0,36 | 0,10 | 0,26 |
| AnalisiModale | Mode | 2 | 1,86 | 0,32 | 0,22 | 0,15 | 0,68 | 0,32 | 0,41 |
| AnalisiModale | Mode | 3 | 1,72 | 0,02 | 0,36 | 0,27 | 0,69 | 0,68 | 0,67 |
| AnalisiModale | Mode | 4 | 0,95 | 0,03 | 0,01 | 0,01 | 0,72 | 0,69 | 0,68 |
| AnalisiModale | Mode | 5 | 0,91 | 0,04 | 0,01 | 0,01 | 0,76 | 0,70 | 0,69 |
| AnalisiModale | Mode | 6 | 0,82 | 0,00 | 0,05 | 0,04 | 0,76 | 0,75 | 0,73 |
| AnalisiModale | Mode | 7 | 0,56 | 0,00 | 0,07 | 0,09 | 0,76 | 0,82 | 0,82 |
| AnalisiModale | Mode | 8 | 0,48 | 0,10 | 0,00 | 0,00 | 0,86 | 0,82 | 0,82 |
| AnalisiModale | Mode | 9 | 0,47 | 0,00 | 0,05 | 0,04 | 0,86 | 0,87 | 0,86 |
| AnalisiModale | Mode | 10 | 0,34 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,87 | 0,87 | 0,86 |
| AnalisiModale | Mode | 11 | 0,32 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,87 | 0,88 | 0,86 |
| AnalisiModale | Mode | 12 | 0,32 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,87 | 0,88 | 0,88 |
| AnalisiModale | Mode | 13 | 0,30 | 0,00 | 0,03 | 0,03 | 0,87 | 0,90 | 0,91 |
| AnalisiModale | Mode | 14 | 0,26 | 0,07 | 0,00 | 0,00 | 0,93 | 0,90 | 0,91 |
| AnalisiModale | Mode | 15 | 0,26 | 0,00 | 0,03 | 0,03 | 0,93 | 0,93 | 0,93 |
| AnalisiModale | Mode | 16 | 0,23 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,93 | 0,93 | 0,93 |
| AnalisiModale | Mode | 17 | 0,22 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,93 | 0,93 | 0,93 |
| AnalisiModale | Mode | 18 | 0,21 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,93 | 0,93 | 0,93 |
| AnalisiModale | Mode | 19 | 0,20 | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,93 | 0,95 | 0,95 |
| AnalisiModale | Mode | 20 | 0,17 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,93 | 0,96 | 0,96 |
| AnalisiModale | Mode | 21 | 0,16 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,96 | 0,96 | 0,96 |
| AnalisiModale | Mode | 22 | 0,14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,96 | 0,96 | 0,96 |
| AnalisiModale | Mode | 23 | 0,14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,96 | 0,96 | 0,96 |
| AnalisiModale | Mode | 24 | 0,14 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,96 | 0,97 | 0,96 |
| AnalisiModale | Mode | 25 | 0,14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,96 | 0,97 | 0,96 |
| AnalisiModale | Mode | 26 | 0,13 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,96 | 0,97 | 0,96 |
| AnalisiModale | Mode | 27 | 0,13 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,96 | 0,97 | 0,96 |
| AnalisiModale | Mode | 28 | 0,13 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,96 | 0,97 | 0,96 |
| AnalisiModale | Mode | 29 | 0,12 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,96 | 0,97 | 0,96 |
| AnalisiModale | Mode | 30 | 0,12 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,96 | 0,97 | 0,96 |

Si riportano di seguito le deformate corrispondenti ai primi tre modi della struttura:

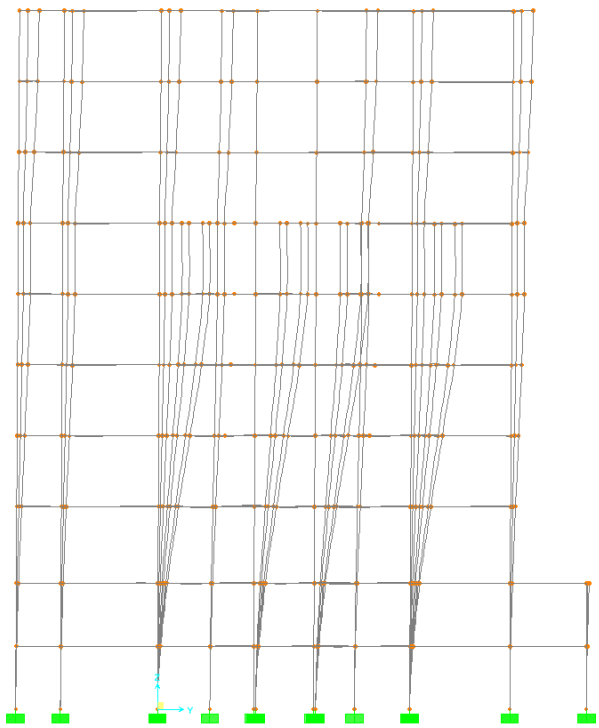
⇒ **Modo 1 – T = 1.92 s (traslazionale lungo X)**



⇒ **Modo 2 – T = 1.86 s (rotazionale attorno Z)**



⇒ **Modo 3 – T = 1.72 s (traslazionale lungo Y)**



### 8.5.2 Analisi statica non lineare (Pushover)

Di seguito si riportano:

- gli autovettori (deformate modali) per i modi traslazionali 1 e 3;
- gli autovettori normalizzati allo spostamento del centro di massa del 10° livello;
- le masse assemblate ai baricentri dei vari piani
- i fattori di partecipazione modale.

**1° MODO DIR X** (modo 1)

**Autovettore nodi MASSA - comp X**

| | |
|---|---|
| $\phi_1$ | 0.0006 |
| $\phi_2$ | 0.0020 |
| $\phi_3$ | 0.0042 |
| $\phi_4$ | 0.0062 |
| $\phi_5$ | 0.0078 |
| $\phi_6$ | 0.0089 |
| $\phi_7$ | 0.0088 |
| $\phi_8$ | 0.0105 |
| $\phi_9$ | 0.0126 |
| $\phi_{10}$ | 0.0137 |

**Autovettore nodi MASSA - comp X (normalizzato)**

| | |
|---|---|
| $\phi_{1,norm}$ | 0.044 |
| $\phi_{2,norm}$ | 0.144 |
| $\phi_{3,norm}$ | 0.307 |
| $\phi_{4,norm}$ | 0.452 |
| $\phi_{5,norm}$ | 0.567 |
| $\phi_{6,norm}$ | 0.649 |
| $\phi_{7,norm}$ | 0.643 |
| $\phi_{8,norm}$ | 0.771 |
| $\phi_{9,norm}$ | 0.920 |
| $\phi_{10,norm}$ | 1.000 |

**MASSE traslazionali X**

| | | |
|---|---|---|
| $M_1$ | 1804 | t |
| $M_2$ | 1779 | t |
| $M_3$ | 1587 | t |
| $M_4$ | 1445 | t |
| $M_5$ | 1307 | t |
| $M_6$ | 1150 | t |
| $M_7$ | 825 | t |
| $M_8$ | 392 | t |
| $M_9$ | 413 | t |
| $M_{10}$ | 256 | t |

**COEFFICIENTE DI PARTECIPAZIONE**

**$\Gamma x$** 1.73

**$\Sigma mi*\phi i$** 4432 t

**1° MODO DIR Y** (modo 3)

**Autovettore nodi MASSA - comp Y**

| | |
|---|---|
| $\phi_1$ | 0.0008 |
| $\phi_2$ | 0.0022 |
| $\phi_3$ | 0.0045 |
| $\phi_4$ | 0.0070 |
| $\phi_5$ | 0.0094 |
| $\phi_6$ | 0.0111 |
| $\phi_7$ | 0.0100 |
| $\phi_8$ | 0.0055 |
| $\phi_9$ | 0.0066 |
| $\phi_{10}$ | 0.0072 |

**Autovettore nodi MASSA - comp Y (normalizzato)**

| | |
|---|---|
| $\phi_{1,norm}$ | 0.106 |
| $\phi_{2,norm}$ | 0.306 |
| $\phi_{3,norm}$ | 0.632 |
| $\phi_{4,norm}$ | 0.981 |
| $\phi_{5,norm}$ | 1.316 |
| $\phi_{6,norm}$ | 1.556 |
| $\phi_{7,norm}$ | 1.401 |
| $\phi_{8,norm}$ | 0.770 |
| $\phi_{9,norm}$ | 0.916 |
| $\phi_{10,norm}$ | 1.000 |

**MASSE traslazionali Y**

| | | |
|---|---|---|
| $M_1$ | 1804 | t |
| $M_2$ | 1779 | t |
| $M_3$ | 1587 | t |
| $M_4$ | 1445 | t |
| $M_5$ | 1307 | t |
| $M_6$ | 1150 | t |
| $M_7$ | 825 | t |
| $M_8$ | 392 | t |
| $M_9$ | 413 | t |
| $M_{10}$ | 256 | t |

**COEFFICIENTE DI PARTECIPAZIONE**

**$\Gamma y$** 0.90

**$\Sigma mi*\phi i$** 8757 t

I due sistemi di forze sono di seguito riportati:

**SISTEMI DI FORZE DIR X**

| | |
|---|---|
| 1800 | 80 |
| 1780 | 260 |
| 1590 | 490 |
| 1450 | 650 |
| 1310 | 740 |
| 1150 | 750 |
| 830 | 530 |
| 390 | 300 |
| 410 | 380 |
| 260 | 260 |

**SISTEMI DI FORZE DIR Y**

| | |
|---|---|
| 1800 | 190 |
| 1780 | 540 |
| 1590 | 1000 |
| 1450 | 1420 |
| 1310 | 1720 |
| 1150 | 1790 |
| 830 | 1160 |
| 390 | 300 |
| 410 | 380 |
| 260 | 260 |

Sulla struttura in oggetto sono state quindi eseguite le seguenti analisi pushover:

**1.** Pushover n.1 - Direzione X Sistema di forze Tipo 1
**2.** Pushover n.2 - Direzione X Sistema di forze Tipo 2
**3.** Pushover n.3 - Direzione Y Sistema di forze Tipo 1
**4.** Pushover n.4 - Direzione Y Sistema di forze Tipo 2

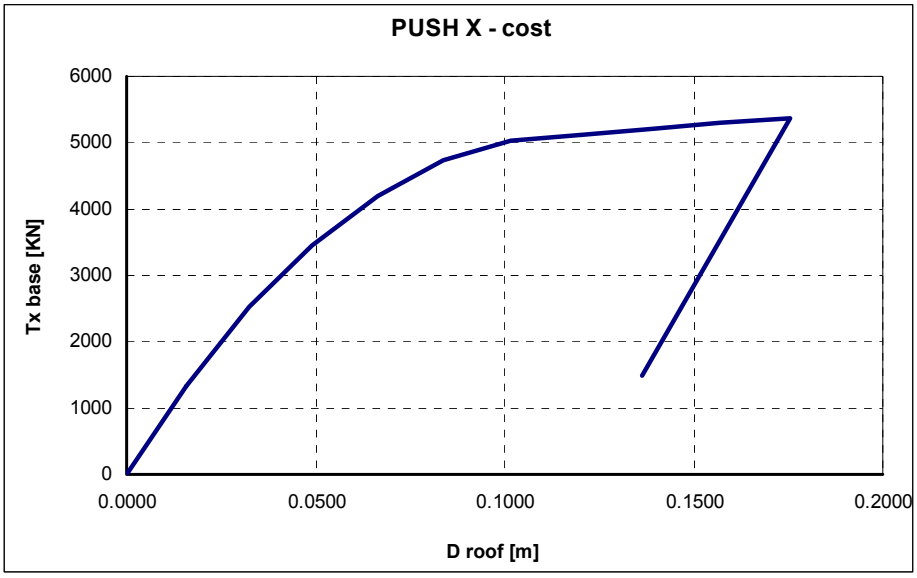
Di seguito si riportano le Curve di Push, le Curve di Capacità e le relative conversioni nel sistema elasto-plastico equivalente.

### 8.5.3 Pushover n°1

Pushover in direzione X con applicato alla struttura il sistema di forze Tipo 1.

#### *8.5.3.1 Curva di push*

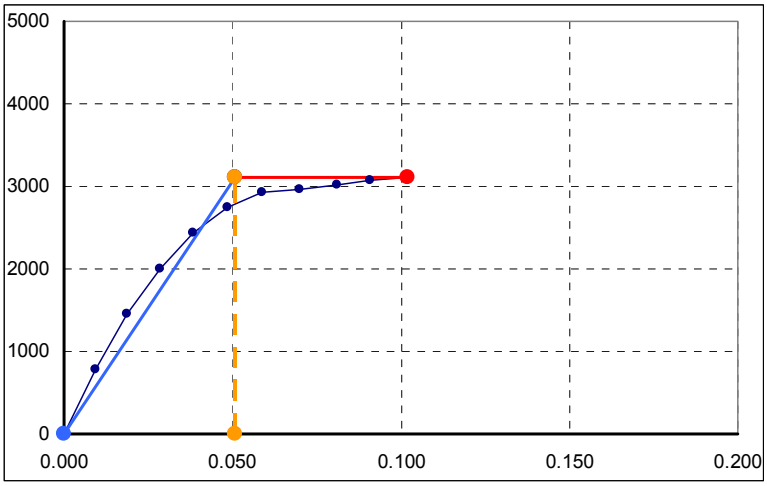
Si riporta la curva di push in termini di taglio totale alla base nella direzione considerata e spostamento del baricentro del 10°piano ($T_{base}$ – $D_{roof}$).



### *8.5.3.2 Curva di capacità e sistema SDOF bilineare equivalente*

**PUSH X COST**

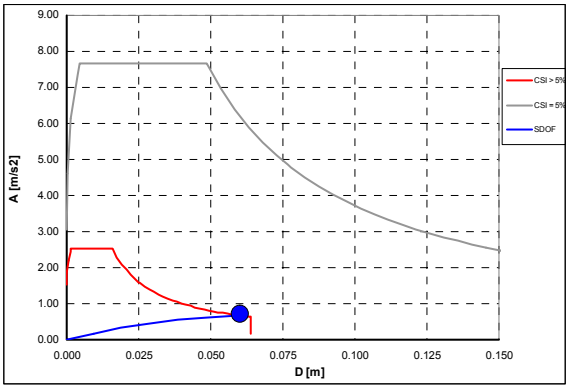
| STEP [ ] | SPOST [m] | TAGLIO [KN] |
|---|---|---|
| 0 | 0.0000 | 0 |
| 1 | 0.0159 | 1334 |
| 2 | 0.0326 | 2516 |
| 3 | 0.0492 | 3446 |
| 4 | 0.0664 | 4196 |
| 5 | 0.0837 | 4728 |
| 6 | 0.1014 | 5036 |
| 7 | 0.1205 | 5127 |
| 8 | 0.1395 | 5215 |
| 9 | 0.1570 | 5295 |
| 10 | 0.1756 | 5378 |
| 11 | 0.1363 | 1490 |




| | | |
|---|---|---|
| **Fbu** | 5378 | KN |
| **du** | 0.176 | m |
| **Γx** | 1.73 | |
| **F*y** | 3118 | KN |
| **d*u** | 0.102 | m |
| **k*** | 61204 | KN/m |
| **d*y** | 0.051 | m |
| **m*** | 4432 | t |
| **T*** | 1.69 | s |

### *8.5.3.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari Stati Limite (Push n°1)*

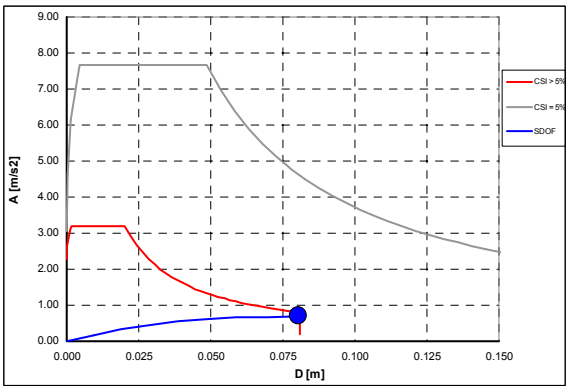
**ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA ALLO SNERVAMENTO**




Viscosità equivalente = 18.2%

Step 6 ⇒ **PGA = 1.533 m/s$^2$**

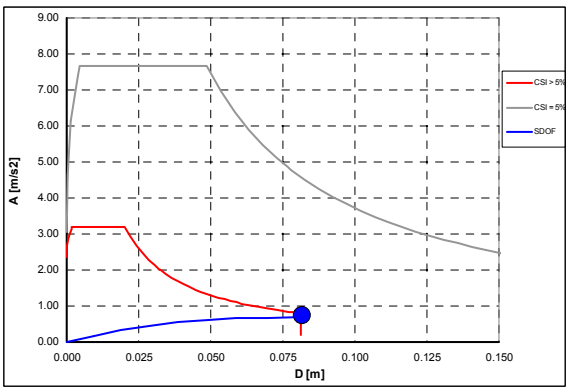
**ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA DI DANNO SEVERO**




Viscosità equivalente = 24.8%

Step 7/8 ⇒ **PGA = 2.085 m/s$^2$**

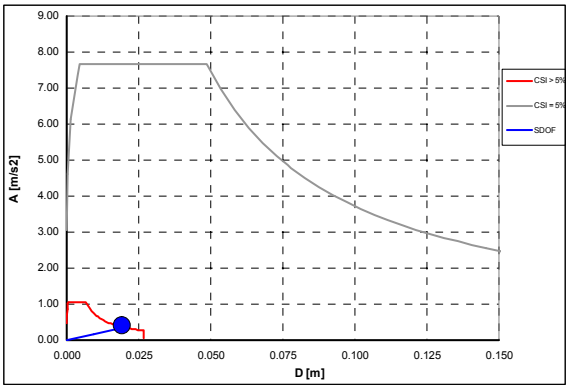
**ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA DI COLLASSO**




Viscosità equivalente = 28.7%

Step 9 ⇒ **PGA = 2.354 m/s$^2$**

**COLLASSO A TAGLIO**




Viscosità equivalente =7.2%

Step 2 ⇒ **PGA = 0.466 m/s$^2$**

**RIEPILOGO**

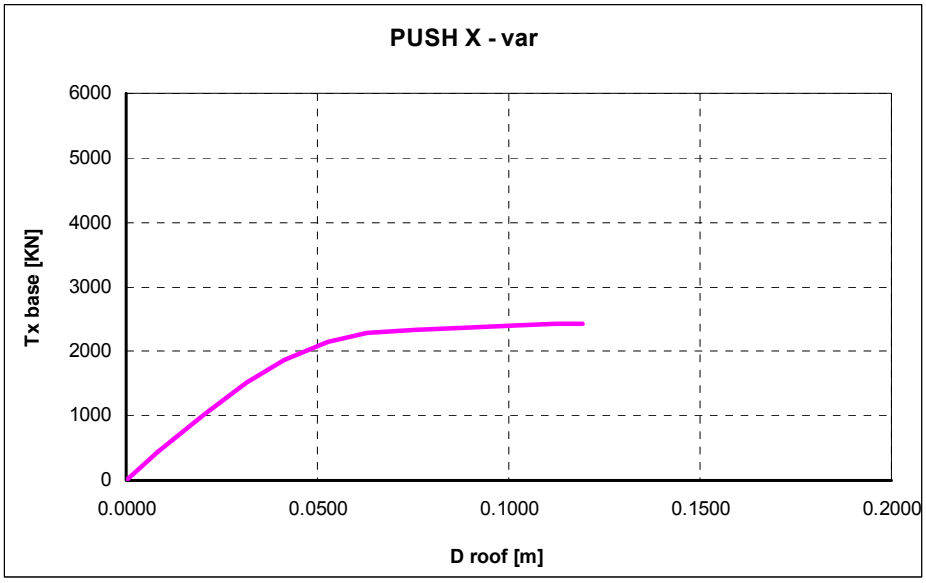
| | | | |
|---|---|---|---|
| Step 2 | ⇒ | **$PGA_{TAGLIO}$ = 0.466 m/s$^2$** | (collasso a taglio) |
| Step 6 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ Y}$ = 1.533 m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |
| Step 7/8 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ DS}$ = 2.085 m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |
| Step 9 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ CO}$ = 2.354 m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |

### 8.5.4 Pushover n°2

Pushover in direzione X con applicato alla struttura il sistema di forze Tipo 2.

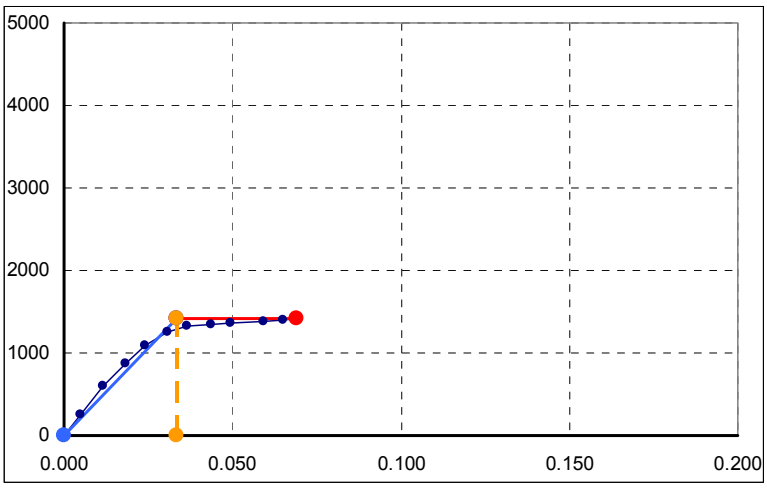
#### *8.5.4.1 Curva di push*

Si riporta la curva di push in termini di taglio totale alla base nella direzione considerata e spostamento del baricentro del 10°piano ($T_{base}$ – $D_{roof}$).




### *8.5.4.2 Curva di capacità e sistema SDOF bilineare equivalente*

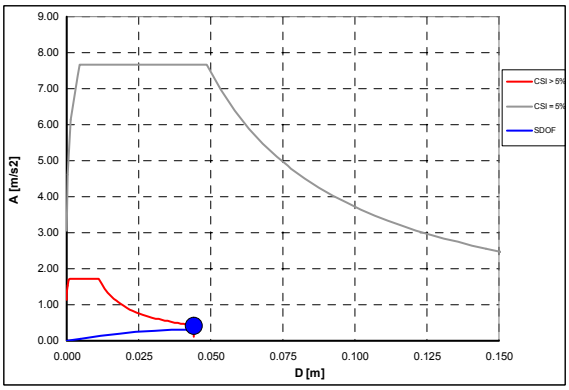
| PUSH X VAR | | |
|---|---|---|
| **STEP** | **SPOST** | **TAGLIO** |
| **[ ]** | **[m]** | **[KN]** |
| 0 | 0.0000 | 0 |
| 1 | 0.0083 | 451 |
| 2 | 0.0203 | 1031 |
| 3 | 0.0315 | 1516 |
| 4 | 0.0415 | 1878 |
| 5 | 0.0528 | 2151 |
| 6 | 0.0629 | 2293 |
| 7 | 0.0754 | 2329 |
| 8 | 0.0854 | 2354 |
| 9 | 0.1025 | 2396 |
| 10 | 0.1124 | 2420 |
| 11 | 0.1191 | 2437 |




| | | |
|---|---|---|
| **Fbu** | 2437 | KN |
| **du** | 0.119 | m |
| **Γx** | 1.73 | |
| **F*y** | 1412 | KN |
| **d*u** | 0.069 | m |
| **k*** | 42422 | KN/m |
| **d*y** | 0.033 | m |
| **m*** | 4432 | t |
| **T*** | 2.03 | s |

### *8.5.4.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari Stati Limite (Push n°2)*

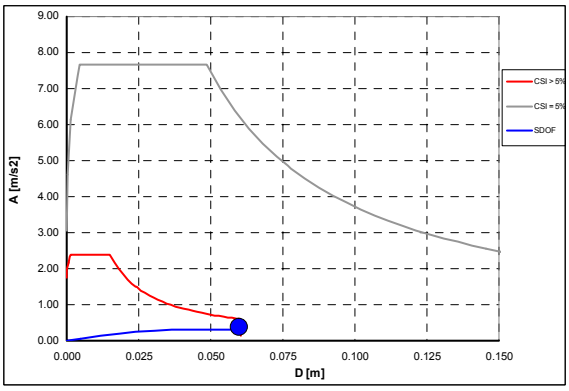
## ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA ALLO SNERVAMENTO




Viscosità equivalente = 21.4%

Step 7 ⇒ **PGA = 1.165 m/s²**

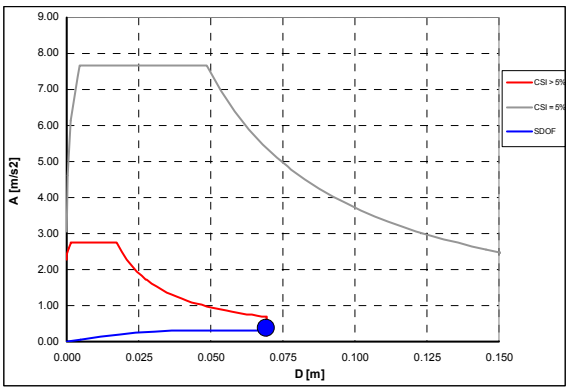
## ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA DI DANNO SEVERO




Viscosità equivalente = 26.8%

Step 8/9 ⇒ **PGA = 1.564 m/s²**

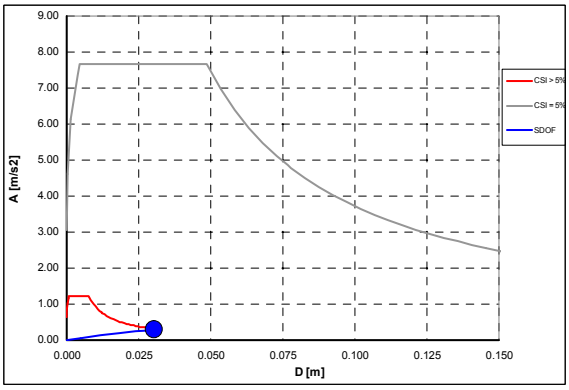
## ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA DI COLLASSO




Viscosità equivalente = 32.6%

Step 11 ⇒ **PGA = 2.269 m/s$^2$**

## COLLASSO A TAGLIO




Viscosità equivalente = 12.2 %

Step 5 ⇒ **PGA = 0.638 m/s$^2$**

## RIEPILOGO

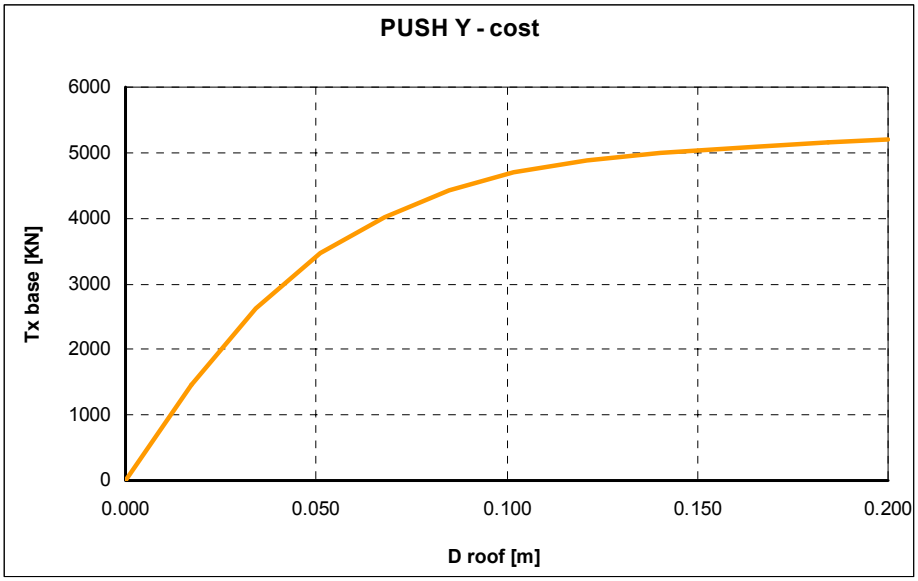
| | | | |
|---|---|---|---|
| Step 5 | ⇒ | **$PGA_{TAGLIO}$ = 0.638 m/s$^2$** | (collasso a taglio) |
| Step 7 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ Y}$ = 1.165 m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |
| Step 8/9 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ DS}$ = 1.564 m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |
| Step 11 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ CO}$ = 2.269 m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |

### 8.5.5 Pushover n°3

Pushover in direzione Y con applicato alla struttura il sistema di forze Tipo 1.

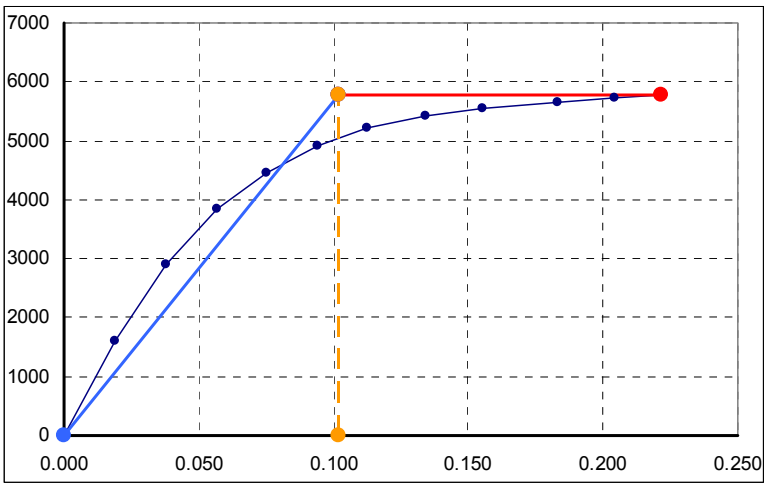
#### *8.5.5.1 Curva di push*

Si riporta la curva di push in termini di taglio totale alla base nella direzione considerata e spostamento del baricentro del 10°piano ($T_{base}$ – $D_{roof}$).




#### *8.5.5.2 Curva di capacità e sistema SDOF bilineare equivalente*

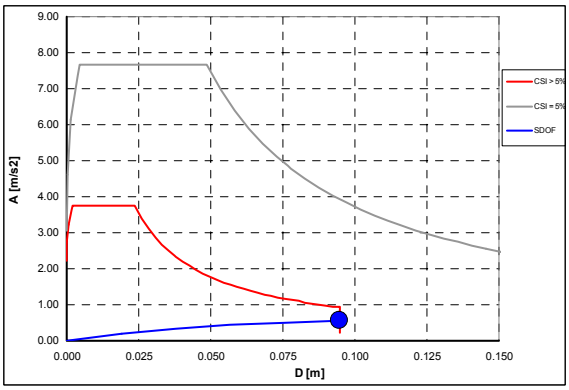
| PUSH Y COST | | |
|---|---|---|
| STEP [ ] | SPOST [m] | TAGLIO [KN] |
| 0 | 0.0000 | 0 |
| 1 | 0.0171 | 1454 |
| 2 | 0.0341 | 2625 |
| 3 | 0.0510 | 3466 |
| 4 | 0.0678 | 4019 |
| 5 | 0.0848 | 4429 |
| 6 | 0.1016 | 4697 |
| 7 | 0.1209 | 4877 |
| 8 | 0.1403 | 5001 |
| 9 | 0.1651 | 5095 |
| 10 | 0.1843 | 5160 |
| 11 | 0.2000 | 5212 |




| | | |
|---|---|---|
| **Fbu** | 5212 | KN |
| **du** | 0.200 | m |
| **Γy** | 0.90 | |
| **F*y** | 5781 | KN |
| **d*u** | 0.222 | m |
| **k*** | 56773 | KN/m |
| **d*y** | 0.102 | m |
| **m*** | 8757 | t |
| **T*** | 2.47 | s |

### *8.5.5.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari Stati Limite (Push n°3)*

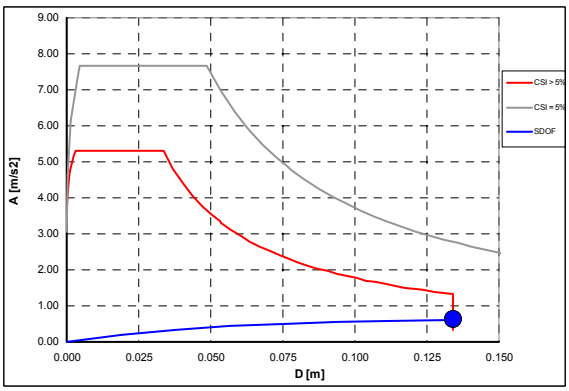
## ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA ALLO SNERVAMENTO




Viscosità equivalente = 17.3%

Step 5 ⇒ **PGA = 2.232m/s²**

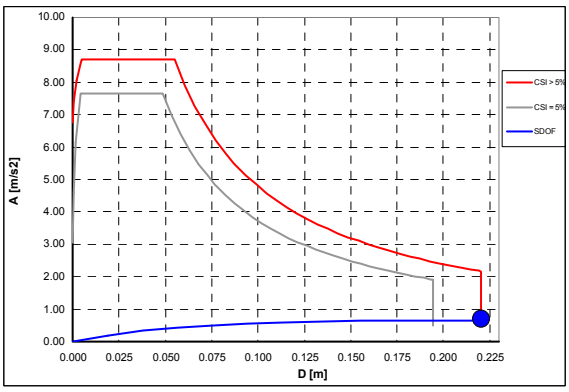
## ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA DI DANNO SEVERO




Viscosità equivalente = 23.6%

Step 7 ⇒ **PGA = 3.581 m/s²**

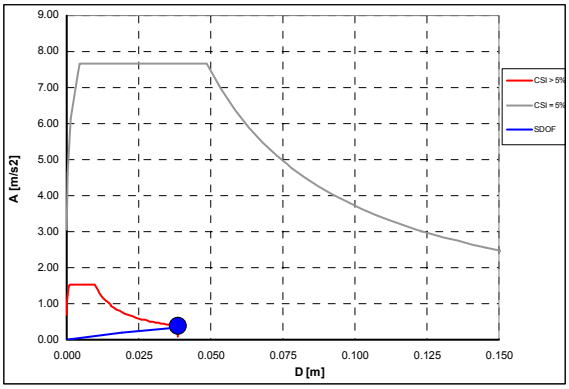
## ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA DI COLLASSO




Viscosità equivalente = 32.6%

Step 11 ⇒ **PGA = 6.744 m/s$^2$**

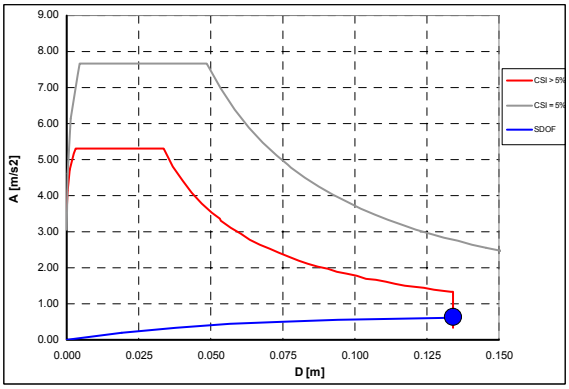
## COLLASSO A TAGLIO




Viscosità equivalente = 7.7%

Step 2 ⇒ **PGA = 0.687 m/s$^2$**

## COLLASSO DI UN NODO




Viscosità equivalente = 23.6%

Step 7 ⇒ **PGA = 3.581 m/s$^2$**

**RIEPILOGO**

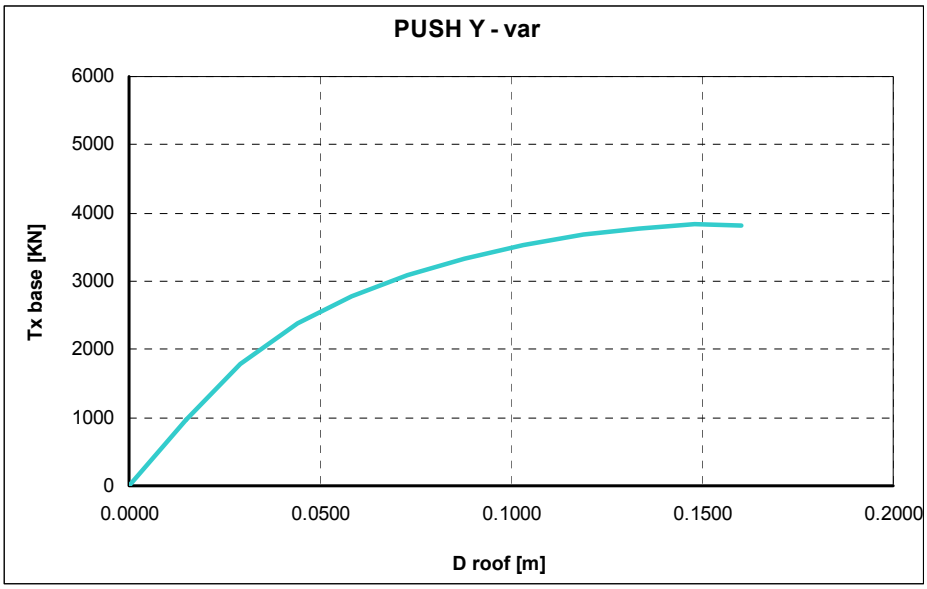
| | | | |
|---|---|---|---|
| Step 2 | ⇒ | **$PGA_{TAGLIO}$ = 0.687 m/s$^2$** | (collasso a taglio) |
| Step 5 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ Y}$ = 2.232 m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |
| Step 7 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ DS}$ = 3.581 m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |
| Step 7 | ⇒ | **$PGA_{NODO}$ = 3.581 m/s$^2$** | (collasso di un nodo) |
| Step 11 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ CO}$ = 6.744 m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |

### 8.5.6 Pushover n°4

Pushover in direzione Y con applicato alla struttura il sistema di forze Tipo 2.

#### *8.5.6.1 Curva di push*

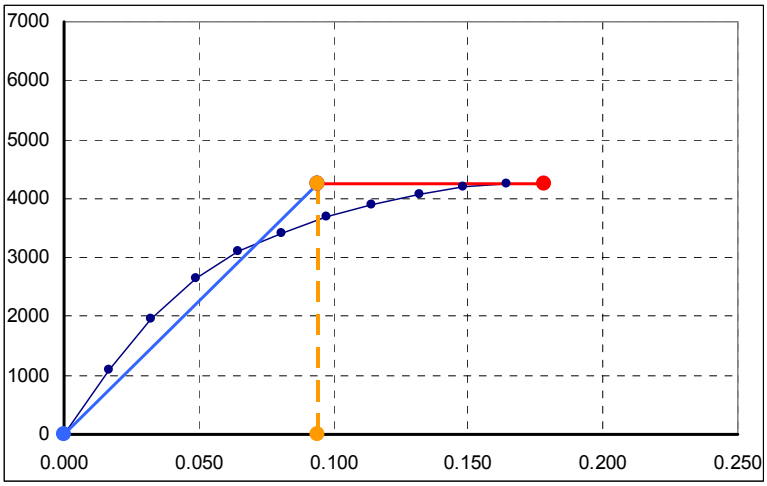
Si riporta la curva di push in termini di taglio totale alla base nella direzione considerata e spostamento del baricentro del 10°piano ($T_{base}$ – $D_{roof}$).



### *8.5.6.2 Curva di capacità e sistema SDOF bilineare equivalente*

**PUSH Y VAR**

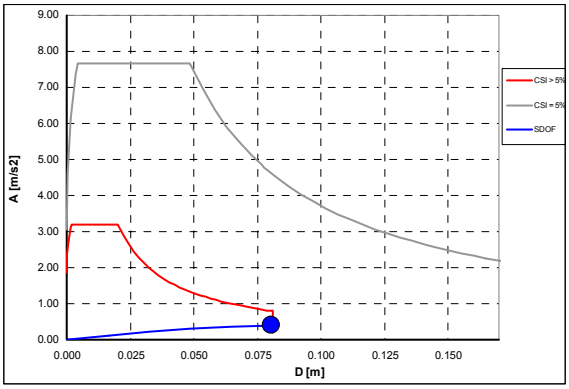
| STEP [ ] | SPOST [m] | TAGLIO [KN] |
|---|---|---|
| 0 | 0.0000 | 0 |
| 1 | 0.0149 | 979 |
| 2 | 0.0293 | 1776 |
| 3 | 0.0441 | 2381 |
| 4 | 0.0584 | 2790 |
| 5 | 0.0728 | 3084 |
| 6 | 0.0879 | 3328 |
| 7 | 0.1031 | 3519 |
| 8 | 0.1189 | 3678 |
| 9 | 0.1335 | 3778 |
| 10 | 0.1480 | 3829 |
| 11 | 0.1604 | 3825 |




| | | |
|---|---|---|
| **Fbu** | 3829 | KN |
| **du** | 0.160 | m |
| **Γy** | 0.90 | |
| **F*y** | 4247 | KN |
| **d*u** | 0.178 | m |
| **k*** | 45062 | KN/m |
| **d*y** | 0.094 | m |
| **m*** | 8757 | t |
| **T*** | 2.77 | s |

### *8.5.6.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari Stati Limite (Push n°4)*

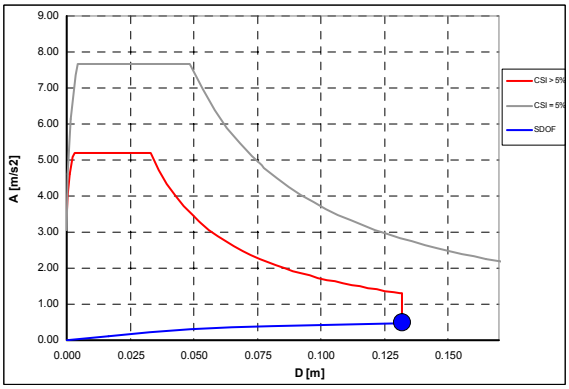
**ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA ALLO SNERVAMENTO**




Viscosità equivalente = 16.3 %

**Step 5** ⇒ **PGA = 1.864 m/s$^2$**

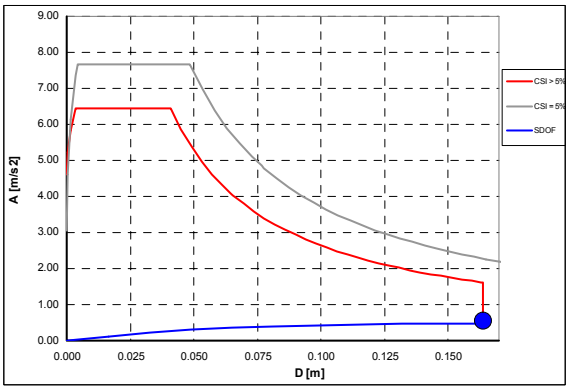
**ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA DI DANNO SEVERO**




Viscosità equivalente = 22.6 %

Step 8 ⇒ **PGA = 3.458m/s$^2$**

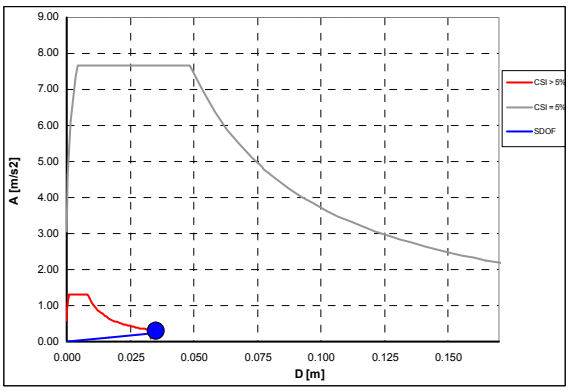
**ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA DI COLLASSO**




Viscosità equivalente = 26.7 %

Step 10 ⇒ **PGA = 4.574 m/s$^2$**

## COLLASSO A TAGLIO




Viscosità equivalente = 7.2 %

Step 2 ⇒ **PGA = 0.576 m/s$^2$**

## RIEPILOGO

| | | | |
|---|---|---|---|
| Step 2 | ⇒ | **$PGA_{TAGLIO}$ = 0.576 m/s$^2$** | (collasso a taglio) |
| Step 5 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ Y}$ = 1.864 m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |
| Step 8 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ DS}$ = 3.458 m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |
| Step 10 | ⇒ | **$PGA_{ROT\ CO}$ = 4.574 m/s$^2$** | (rotazione rispetto alla corda) |

## 8.6 CONCLUSIONI

I valori degli indicatori di rischio da inserire nelle schede di sintesi, risultano:

INDICATORE DI RISCHIO DI INAGIBILITA'

$$\alpha_e = \frac{PGA_{DL}}{PGA_{50\%}} = 0.950$$

INDICATORE DI RISCHIO DI COLLASSO 2

$$\alpha_{U2} = \frac{PGA_{DS}}{PGA_{10\%}} = 0.510$$

INDICATORE DI RISCHIO DI COLLASSO 1

$$\alpha_{U1} = \frac{PGA_{CO}}{PGA_{2\%}} = 0.101$$

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva con i risultati dei quattro casi sopra descritti:

| **RIEPILOGO INDICATORI DI RISCHIO CORPO H - $\gamma_I = 1$** | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **MODELLI** | | **Distribuzione triangolare** | | | | **Distribuzione uniforme** | | | |
| | | **Direzione X** | | **Direzione Y** | | **Direzione X** | | **Direzione Y** | |
| **STATO LIMITE** | **PGA Rif.** | **PGA Analisi** | **α** | **PGA Analisi** | **α** | **PGA Analisi** | **α** | **PGA Analisi** | **α** |
| Danno lieve rotazione alla corda | 1.226 | 1.165 | **0.950** | 1.864 | **1.520** | 1.533 | **1.250** | 2.232 | **1.820** |
| Danno severo rotazione alla corda | 3.066 | 1.564 | **0.510** | 3.458 | **1.128** | 2.085 | **0.680** | 3.581 | **1.168** |
| Collasso rotazione alla corda | 4.598 | 2.269 | **0.493** | 4.574 | **0.995** | 2.354 | **0.512** | 6.744 | **1.467** |
| Collasso nodo | 4.598 | - | **-** | - | **-** | - | **-** | 3.581 | **0.779** |
| Collasso taglio | 4.598 | 0.638 | **0.139** | 0.576 | **0.125** | 0.466 | **0.101** | 0.687 | **0.149** |

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva con i risultati dei quattro casi sopra descritti:

| **RIEPILOGO INDICATORI DI RISCHIO CORPO H - γI = 1.4** | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **MODELLI** | | **Distribuzione triangolare** | | | | **Distribuzione uniforme** | | | |
| | | **Direzione X** | | **Direzione Y** | | **Direzione X** | | **Direzione Y** | |
| **STATO LIMITE** | **PGA Rif.** | **PGA Analisi** | **α** | **PGA Analisi** | **α** | **PGA Analisi** | **α** | **PGA Analisi** | **α** |
| Danno lieve rotazione alla corda | 1.716 | 1.165 | **0.679** | 1.864 | **1.086** | 1.533 | **0.893** | 2.232 | **1.300** |
| Danno severo rotazione alla corda | 4.292 | 1.564 | **0.364** | 3.458 | **0.806** | 2.085 | **0.486** | 3.581 | **0.834** |
| Collasso rotazione alla corda | 6.437 | 2.269 | **0.352** | 4.574 | **0.711** | 2.354 | **0.366** | 6.744 | **1.048** |
| Collasso nodo | 6.437 | - | **-** | - | **-** | - | **-** | 3.581 | **0.556** |
| Collasso taglio | 6.437 | 0.638 | **0.099** | 0.576 | **0.089** | 0.466 | **0.072** | 0.687 | **0.106** |

# 9. RELAZIONE DI CALCOLO CORPO I

## 9.1 PREMESSA

Il settore esaminato in questa parte è costituito principalmente da telai piani in c.a

## 9.2 LIVELLO DI CONOSCENZA RAGGIUNTO

La determinazione del livello di conoscenza è necessaria per definire i parametri meccanici ed i fattori di confidenza (FC).
In relazione alla Tabella 11.1 della normativa di riferimento si specifica:
- **Geometria**: è stata ottenuta da disegni di carpenteria originali; è stato eseguito inoltre un rilievo visivo a campione.
- **Dettagli strutturali**: sono stati desunti dai disegni costruttivi completi e da **"limitate verifiche in situ"**.
- **Materiali**: sono state eseguite **"limitate prove in situ"**.

Considerato quanto sopra si conclude che il livello di conoscenza acquisito per l'edificio in oggetto è **LC2** che comporta un Fattore di Confidenza **FC = 1.2**.

## 9.3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI ADOTTATE NELL'ANALISI

Sulla base delle prescrizioni progettuali, delle prove effettuate e considerato il fattore di confidenza **FC = 1.2**, si è scelto di adottare per i materiali le seguenti caratteristiche di calcolo:
- **CLS**

$f_c$ = 17 N/mm$^2$

E = 28500 N/mm$^2$

$w_{CLS}$ = 25.00 kN/m$^3$

- **ACCIAIO (AQ50-60)**

$f_y$ = 295 N/mm$^2$

E = 206000 N/mm$^2$

## 9.4 ANALISI DEI CARICHI

Per la valutazione dei carichi agenti sono stati adottati valori tradizionalmente riportati in letteratura.

### 9.4.1 Valutazione carico neve

E' stato considerato $\Rightarrow$ **$q_{neve}$ = 1.20 kN/m$^2$**

### 9.4.2 Solaio piani dal 1° al 8° livello (14+4)

**Permanenti:**

| | | |
|---|---|---|
| peso proprio solaio: | | = 2.50 kN/m$^2$ |
| sovracc. perm.: | | = 1.50 kN/m$^2$ |
| tramezzature: | | = 1.00 kN/m$^2$ |
| | **P** | **= 5.00 kN/m$^2$** |
| **Accidentale (ospedale):** | **Q** | **= 3.00 kN/m$^2$** |

### 9.4.3 Solaio piani dal 1° al 8° livello (25+5)

**Permanenti:**

| | | |
|---|---|---|
| peso proprio solaio: | | = 3.50 kN/m$^2$ |
| sovracc. perm.: | | = 1.50 kN/m$^2$ |
| tramezzature: | | = 1.00 kN/m$^2$ |
| | **P** | **= 6.00 kN/m$^2$** |
| **Accidentale (ospedale):** | **Q** | **= 3.00 kN/m$^2$** |

### 9.4.4 Solaio piani 1° al 8° livello (18+4)

**Permanenti:**

| | | |
|---|---|---|
| peso proprio solaio: | | = 3.0 kN/m$^2$ |
| sovracc. perm.: | | = 1.50 kN/m$^2$ |
| tramezzature: | | = 1.00 kN/m$^2$ |
| | **P** | **= 5.50 kN/m$^2$** |
| **Accidentale (ospedale):** | **Q** | **= 4.00 kN/m$^2$** |

### 9.4.5 Solaio copertura 9° livello (14+4)

**Permanenti:**

| | | |
|---|---|---|
| peso proprio solaio: | | = 2.50 kN/m$^2$ |
| sovracc. perm.: | | = 2.50 kN/m$^2$ |
| | **P** | **= 5.00 kN/m$^2$** |
| **Accidentale (neve):** | **Q** | **= 1.20 kN/m$^2$** |

### 9.4.6 Scala in C.A.

**Permanenti:**

| | | |
|---|---|---|
| soletta in C.A. | | = 4.00 kN/m$^2$ |
| sovracc. perm.: | | = 2.00 kN/m$^2$ |
| | **P** | **= 6.00 kN/m$^2$** |
| **Accidentale (scala):** | **Q** | **= 4.00 kN/m$^2$** |

### 9.4.7 Tamponatura perimetrale

**Permanenti:**

muratura esterna: = 14 kN/m$^2$

**N.B.** Per le pareti finestrate sono state valutate opportune riduzioni del carico dovuto alle tamponature.

## 9.5 MODELLO STRUTTURALE

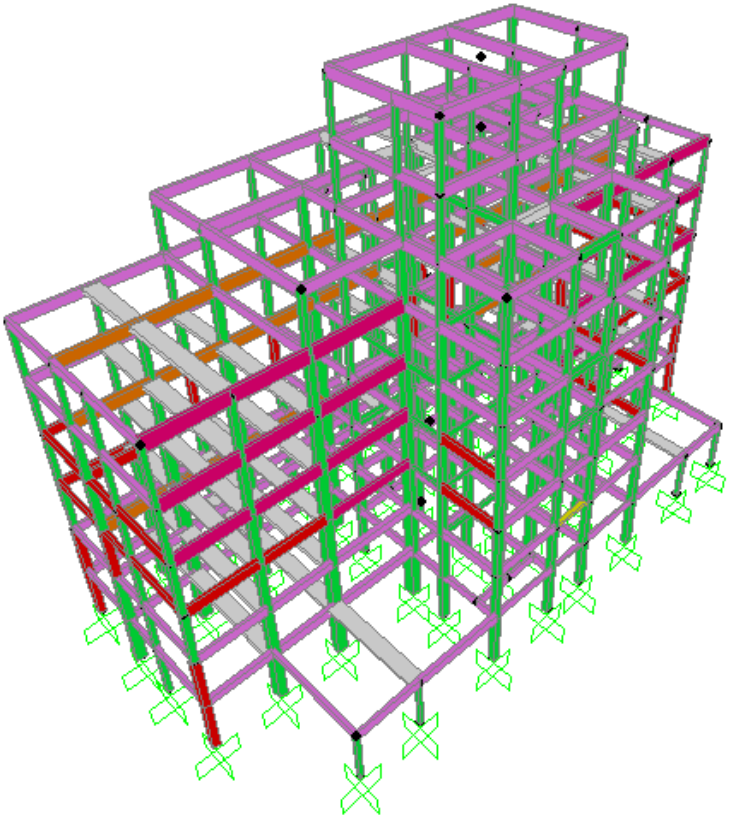
Il modello di calcolo utilizzato è di tipo tridimensionale ed è stato costruito con elementi di tipo "frame" per la schematizzazione degli elementi snelli (travi e pilastri).

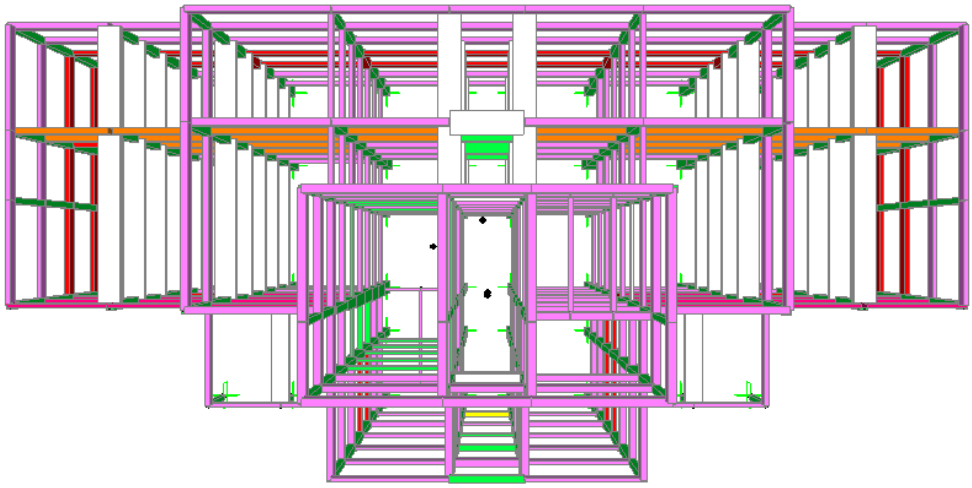
### 9.5.1 Dettagli sulla modellazione

Nella modellazione della struttura sono stati utilizzati i seguenti accorgimenti:

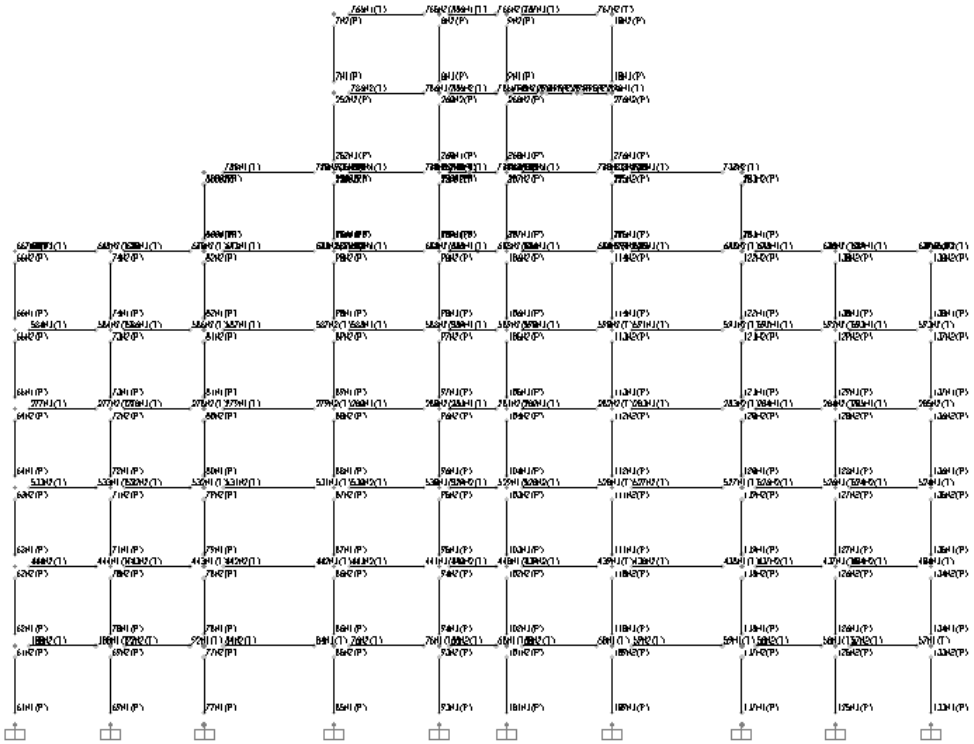
- Tutti gli impalcati sono stati considerati infinitamente rigidi nel loro piano essendo costituiti da solai in laterocemento con getto di soletta di completamento.
- I pilastri del primo ordine sono stati considerati incastrati a terra.
- Ove ritenuto necessario sono stati inseriti degli elementi infinitamente rigidi ("braccetti rigidi") al fine di riprodurre in maniera più accurata la presenza di nodi di grandi dimensioni e quindi di elementi tozzi.
- Le rigidezze a taglio e flessionali degli elementi trave sono state ridotte al 50% (come consigliato dalla normativa di riferimento) al fine di tenere in considerazione l'effetto della fessurazione delle sezioni in C.A. sottoposte a notevoli curvature; le rigidezze dei pilastri, in virtù dello sforzo assiale presente, non sono invece state abbattute.
- Per le zone degli elementi strutturali ove è possibile che abbiano luogo fenomeni di escursione in campo post-elastico, sono state adottate opportune leggi di comportamento (cerniere plastiche o plastic hinges) in grado di riprodurre il comportamento della sezione in campo non-lineare nei confronti di varie caratteristiche di sollecitazione (solitamente momento flettente e taglio).
- Le cerniere plastiche dei pilastri sono state valutate tenendo in considerazione lo sforzo assiale presente in condizioni statiche, essendo quest'ultimo un fattore in grado di influenzare fortemente la capacità di rotazione delle stesse.
- Per gli elementi in c.a dove non è stato possibile risalire alle armature presenti allo stato attuale si è proceduto per gli stessi alla determinazione manuale dei minimi quantitativi di acciaio necessari per condizioni statiche.

## Immagini modello 3D



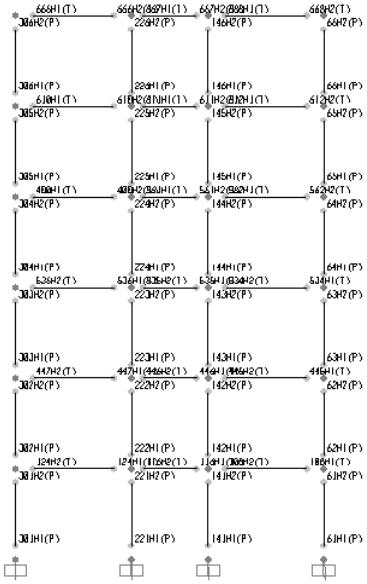


## ⇒ Posizionamento delle cerniere plastiche (lato parallelo all'asse X )



## Sezione Longitudinale

## ⇒ Posizionamento delle cerniere plastiche (lato parallelo all'asse Y )



## Sezione trasversale

## 9.6 RISULTATI DELLE ELABORAZIONI

### 9.6.1 Analisi modale

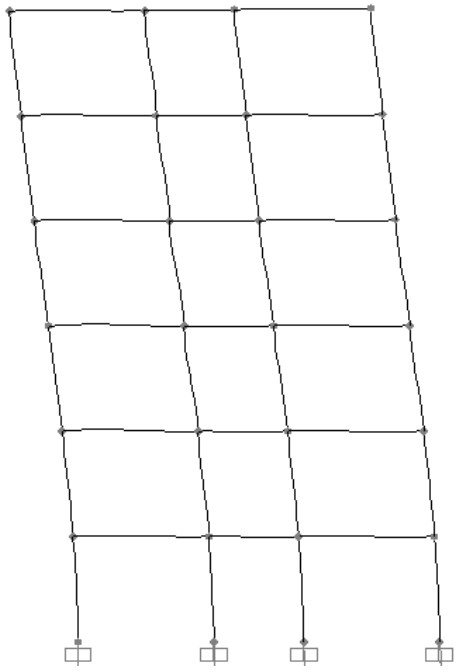
Di seguito si riportano i principali risultati dell'analisi modale (elastica) condotta sulla struttura ed alcune immagini relative ai modi principali.

**TABLE: Modal Participating Mass Ratios**

| OutputCase | StepType | StepNum | Period | UX | UY | UZ | SumUX | SumUY | SumUZ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Text | Text | Unitless | Sec | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless |
| MODAL | Mode | 1 | 1,928864 | 0,0019 | 0,73389 | 3,087E-08 | 0,0019 | 0,73389 | 3,087E-08 |
| MODAL | Mode | 2 | 1,824892 | 0,1843 | 0,02039 | 2,147E-09 | 0,18619 | 0,75428 | 3,302E-08 |
| MODAL | Mode | 3 | 1,615555 | 0,58151 | 0,00107 | 1,063E-07 | 0,7677 | 0,75535 | 1,393E-07 |
| MODAL | Mode | 4 | 0,787497 | 0,000001153 | 0,07829 | 2,699E-08 | 0,7677 | 0,83364 | 1,663E-07 |
| MODAL | Mode | 5 | 0,757034 | 0,06261 | 0,00002898 | 6,271E-07 | 0,83031 | 0,83367 | 7,934E-07 |
| MODAL | Mode | 6 | 0,669763 | 0,00469 | 0,00015 | 9,093E-07 | 0,83501 | 0,83382 | 0,000001703 |
| MODAL | Mode | 7 | 0,551066 | 0,001 | 0,00027 | 3,688E-08 | 0,836 | 0,83409 | 0,00000174 |
| MODAL | Mode | 8 | 0,539515 | 0,00002857 | 0,05636 | 5,818E-07 | 0,83603 | 0,89045 | 0,000002321 |
| MODAL | Mode | 9 | 0,491053 | 0,05634 | 0,00002083 | 6,351E-07 | 0,89237 | 0,89047 | 0,000002956 |
| MODAL | Mode | 10 | 0,364764 | 0,00015 | 0,01395 | 1,497E-07 | 0,89252 | 0,90442 | 0,000003106 |
| MODAL | Mode | 11 | 0,358535 | 0,00002516 | 0,02089 | 7,83E-09 | 0,89254 | 0,92531 | 0,000003114 |
| MODAL | Mode | 12 | 0,329396 | 0,03187 | 0,00004028 | 0,00000139 | 0,92441 | 0,92535 | 0,000004504 |
| MODAL | Mode | 13 | 0,280851 | 0,00001607 | 0,00214 | 6,709E-08 | 0,92443 | 0,92749 | 0,000004571 |
| MODAL | Mode | 14 | 0,273324 | 3,798E-08 | 0,01171 | 1,744E-07 | 0,92443 | 0,9392 | 0,000004746 |
| MODAL | Mode | 15 | 0,247605 | 0,01329 | 0,000001478 | 5,164E-07 | 0,93772 | 0,9392 | 0,000005262 |
| MODAL | Mode | 16 | 0,243638 | 0,00012 | 0,01149 | 2,658E-07 | 0,93784 | 0,95069 | 0,000005528 |
| MODAL | Mode | 17 | 0,238081 | 0,00234 | 0,00055 | 1,184E-07 | 0,94018 | 0,95124 | 0,000005646 |
| MODAL | Mode | 18 | 0,216512 | 0,01001 | 0,00006122 | 1,403E-07 | 0,95019 | 0,9513 | 0,000005787 |
| MODAL | Mode | 19 | 0,198846 | 0,001 | 0,00069 | 7,679E-08 | 0,95119 | 0,952 | 0,000005863 |
| MODAL | Mode | 20 | 0,182976 | 0,0000157 | 0,01513 | 2,226E-07 | 0,9512 | 0,96713 | 0,000006086 |
| MODAL | Mode | 21 | 0,165172 | 0,01673 | 6,267E-07 | 2,065E-09 | 0,96793 | 0,96713 | 0,000006088 |
| MODAL | Mode | 22 | 0,145602 | 0,0000119 | 0,0008 | 0,00001035 | 0,96794 | 0,96792 | 0,00001644 |
| MODAL | Mode | 23 | 0,133135 | 4,722E-07 | 0,01291 | 0,00862 | 0,96794 | 0,98083 | 0,00864 |
| MODAL | Mode | 24 | 0,131479 | 9,957E-07 | 0,00112 | 0,09934 | 0,96794 | 0,98195 | 0,10799 |
| MODAL | Mode | 25 | 0,130924 | 0,000001751 | 0,00002156 | 0,0044 | 0,96795 | 0,98197 | 0,11239 |
| MODAL | Mode | 26 | 0,125964 | 0,000002982 | 0,000005742 | 0,1128 | 0,96795 | 0,98198 | 0,22518 |
| MODAL | Mode | 27 | 0,122595 | 8,872E-07 | 0,000006096 | 0,03716 | 0,96795 | 0,98199 | 0,26234 |

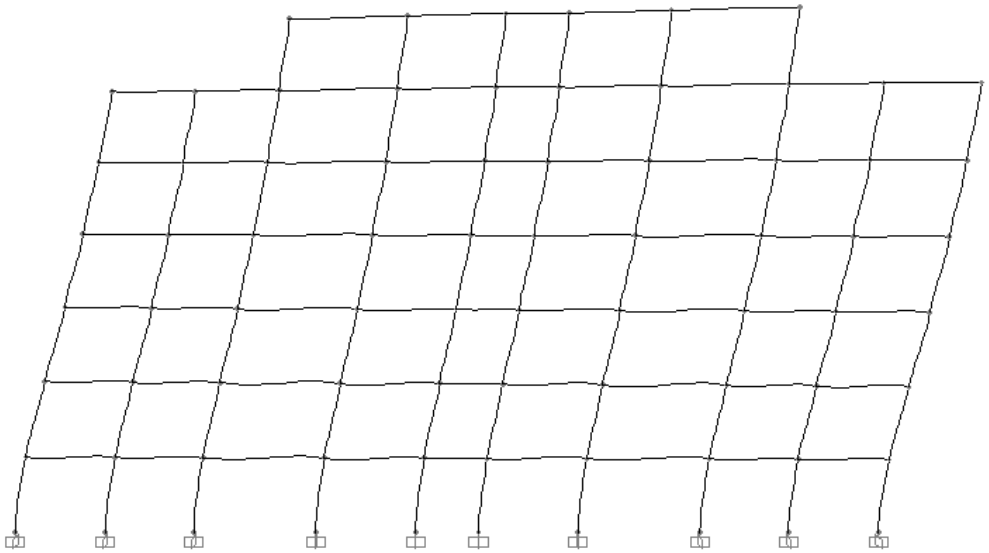
Si riportano di seguito le deformate corrispondenti ai primi tre modi della struttura

⇒ **Modo 1 – T = 1.93(traslazionale lungo Y)**



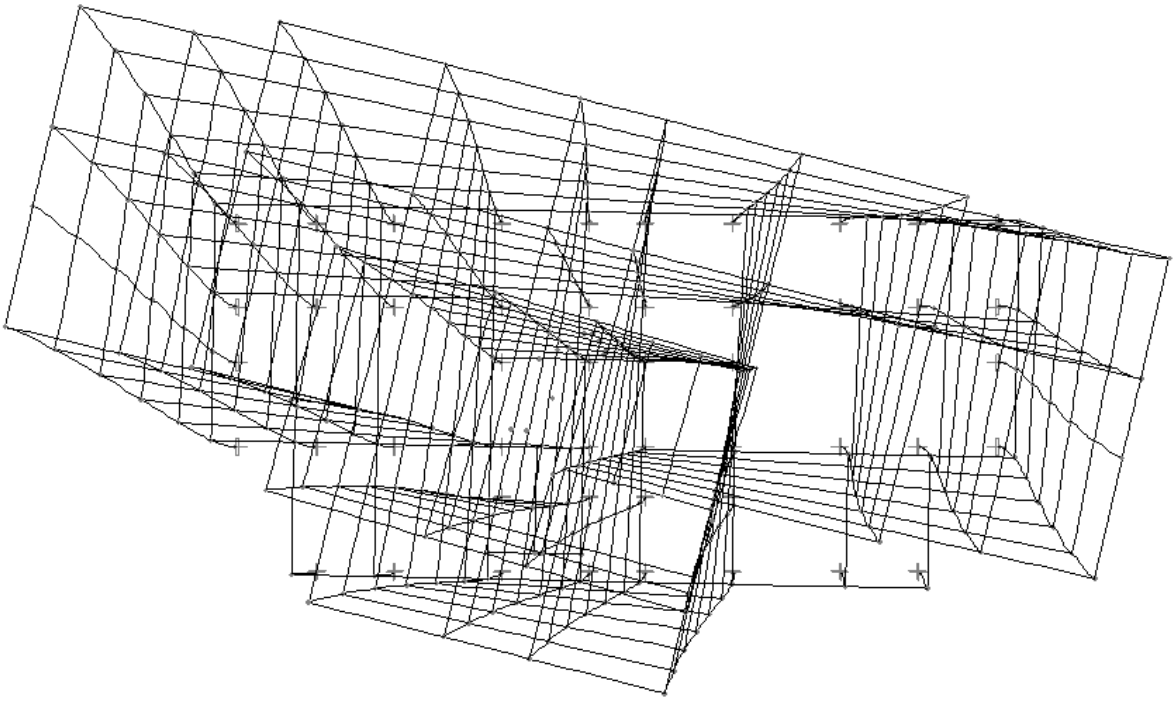
**Sezione Trasversale**

⇒ **Modo 3 – T = 1.62s (traslazione lungo X)**



**Sezione Longitudinale**

⇒ **Modo 3 – T = 1.82 s (rotazionale intorno a Z)**



### 9.6.2 Analisi statica non lineare (pushover)

Di seguito si riportano:

- le masse assemblate ai baricentri dei vari piani
- la distribuzione di forze orizzontali

L'analisi statica non lineare è stata svolta separatamente nelle due direzioni X e Y rispettivamente applicando ai centri di massa le seguenti distribuzioni di forze.

I due sistemi di forze sono di seguito riportati:

| DISTRIBUZIONE TRIANGOLARE - TIPO 1 | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Mtot (t) | Zi (m) | Zi * Wi | SaX(m/s$^2$) | Fh tot | Wi | Fx(KN) | Fy(KN) |
| 1 | 924 | 3,65 | 33085,206 | 2,36 | 15894,6 | 9064,44 | 546 | 458 |
| 2 | 1045 | 7,3 | 74835,585 | SaY(m/s$^2$) | | 10251,5 | 1234 | 1036 |
| 3 | 1000 | 10,95 | 107419,5 | 1,98 | 13335,3 | 9810 | 1772 | 1487 |
| 4 | 1044 | 14,6 | 149527,94 | | | 10241,6 | 2467 | 2069 |
| 5 | 1011 | 18,25 | 181001,86 | | | 9917,91 | 2986 | 2505 |
| 6 | 899 | 21,9 | 193140,26 | | | 8819,19 | 3186 | 2673 |
| 7 | 524 | 25,55 | 131338,24 | | | 5140,44 | 2167 | 1818 |
| 8 | 175 | 29,2 | 50129,1 | | | 1716,75 | 827 | 694 |
| 9 | 113 | 38,85 | 43066,391 | | | 1108,53 | 710 | 596 |
| Totale | 6735 | | 963544,09 | | | | 15895 | 13335 |

| DISTRIBUZIONE COSTANTE - TIPO 2 | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Mtot (T) | Zi (m) | | SaX(m/s$^2$) | | Wi | Fx(KN) | Fy(KN) |
| 1 | 924 | 3,65 | | 2,36 | | 9064,44 | 2181 | 1830 |
| 2 | 1045 | 7,3 | | SaY(m/s$^2$) | | 10251,5 | 2466 | 2069 |
| 3 | 1000 | 10,95 | | 1,98 | | 9810 | 2360 | 1980 |
| 4 | 1044 | 14,6 | | | | 10241,6 | 2464 | 2067 |
| 5 | 1011 | 18,25 | | | | 9917,91 | 2386 | 2002 |
| 6 | 899 | 21,9 | | | | 8819,19 | 2122 | 1780 |
| 7 | 524 | 25,55 | | | | 5140,44 | 1237 | 1038 |
| 8 | 175 | 29,2 | | | | 1716,75 | 413 | 347 |
| 9 | 113 | 38,85 | | | | 1108,53 | 267 | 224 |
| Totale | 6735 | | | | | | 15895 | 13335 |

Sulla struttura in oggetto sono state quindi eseguite le seguenti analisi pushover:

**1.** Pushover n.1 - Direzione X Sistema di forze Tipo 1
**2.** Pushover n.2 - Direzione X Sistema di forze Tipo 2
**3.** Pushover n.3 - Direzione Y Sistema di forze Tipo 1
**4.** Pushover n.4 - Direzione Y Sistema di forze Tipo 2

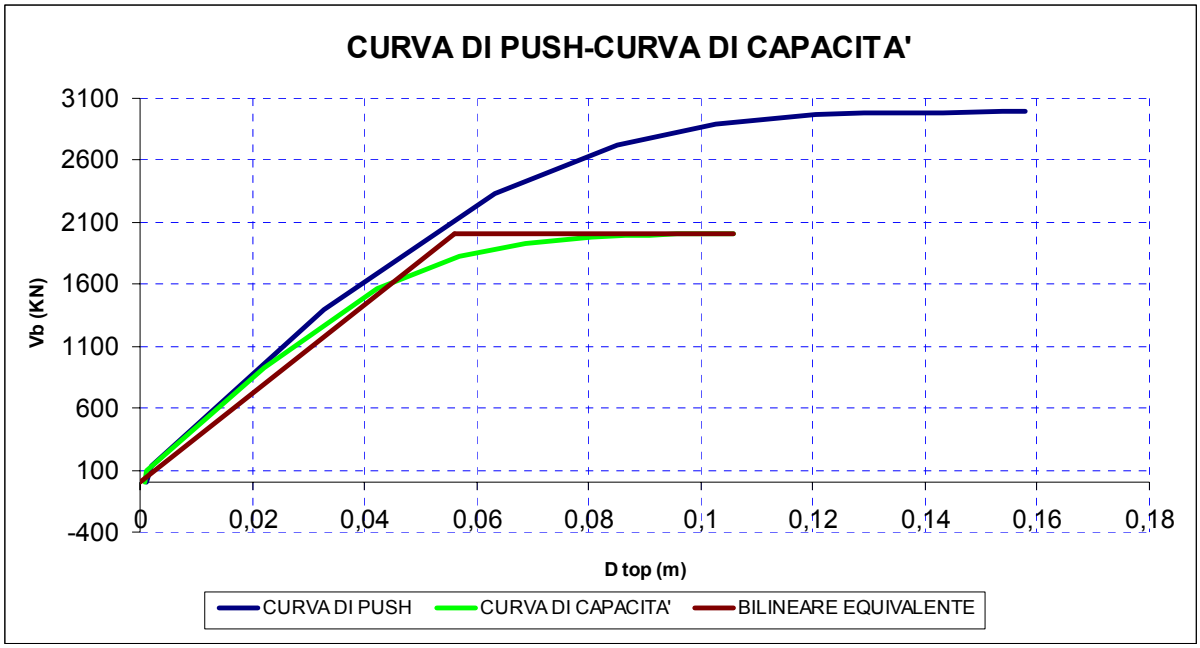
Di seguito si riportano le Curve di Push, le Curve di Capacità e le relative conversioni nel sistema elasto-plastico equivalente.

### 9.6.3 Pushover n°1

Pushover in direzione X con applicato alla struttura il sistema di forze Tipo 1(triangolare).

### *9.6.3.1 Curva di push*

Si riporta la curva di push in termini di taglio totale alla base nella direzione considerata e spostamento del baricentro del 9°piano ($V_{base}$ – $D_{top}$).

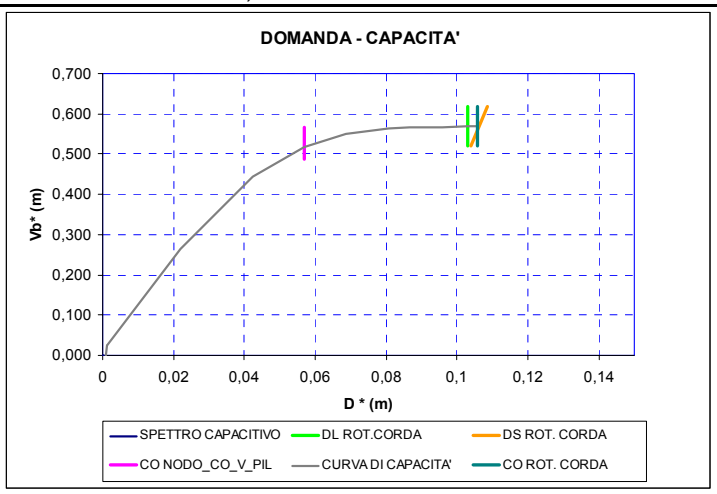



| CURVA DI PUSCH | | |
|---|---|---|
| **Step** | **D top (m)** | **Vb (KN)** |
| 0 | 0,001212 | 0 |
| 1 | 0,001921 | 133 |
| 2 | 0,032862 | 1.393 |
| 3 | 0,063305 | 2.333 |
| 4 | 0,084992 | 2.719 |
| 5 | 0,102728 | 2.890 |
| 6 | 0,120421 | 2.966 |
| 7 | 0,12922 | 2.984 |
| 8 | 0,135653 | 2.987 |
| 9 | 0,143198 | 2.988 |
| 10 | 0,153696 | 2.996 |
| 11 | 0,156954 | 2.997 |
| 12 | 0,157928 | 2.997 |
| 13 | 0,157928 | 2.997 |

### *9.6.3.2 Curva di capacita' e sistema sdof bilineare equivalente*

**ALGORITMI DI TRASFORMAZIONE TRA CURVA DI PUSH E CURVA DI CAPACITA'**

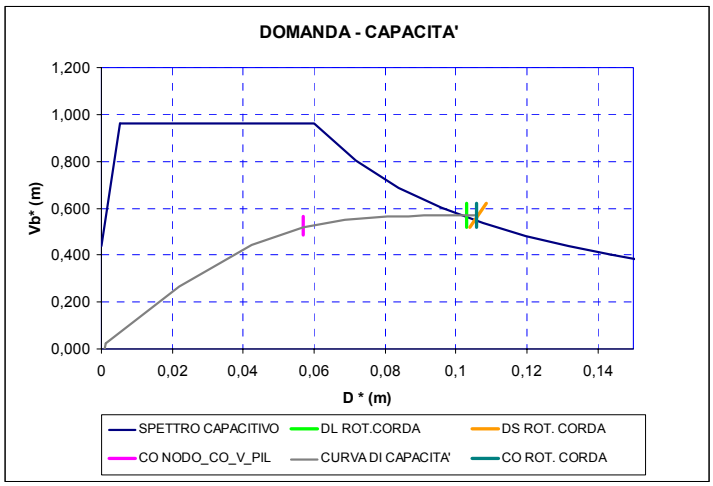
| | Autovettore N | m*Φ | m*Φ^2 | | Masse | Autovettore |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Φ1 | 0,077 | 71,10 | 5,47 | | 924 | 0,00137 |
| Φ2 | 0,247 | 257,69 | 63,54 | | 1045 | 0,00437 |
| Φ3 | 0,412 | 412,17 | 169,88 | | 1000 | 0,00731 |
| Φ4 | 0,568 | 592,98 | 336,81 | | 1044 | 0,01008 |
| Φ5 | 0,705 | 713,25 | 503,19 | **Γ= 1,49** | 1011 | 0,01251 |
| Φ6 | 0,819 | 736,56 | 603,48 | | 899 | 0,01453 |
| Φ7 | 0,896 | 469,44 | 420,56 | | 524 | 0,01589 |
| Φ8 | 0,909 | 159,13 | 144,69 | | 175 | 0,01613 |
| Φ9 | 1,000 | 113,00 | 113,00 | | 113 | 0,01774 |
| | totale | 3525,32 | | | | |



| CURVA DI CAPACITA' | | | |
|---|---|---|---|
| **Step** | **D* (m)** | **Vb (KN)** | **Sa (m/s^2)** |
| 0 | 0,001 | 0 | 0,000 |
| 1 | 0,001 | 89 | 0,025 |
| 2 | 0,022 | 933 | 0,265 |
| 3 | 0,042 | 1562 | 0,443 |
| 4 | 0,057 | 1821 | 0,517 |
| 5 | 0,069 | 1935 | 0,549 |
| 6 | 0,081 | 1986 | 0,563 |
| 7 | 0,087 | 1998 | 0,567 |
| 8 | 0,091 | 2000 | 0,567 |
| 9 | 0,096 | 2001 | 0,568 |
| 10 | 0,103 | 2006 | 0,569 |
| 11 | 0,105 | 2007 | 0,569 |
| 12 | 0,106 | 2007 | 0,569 |
| 13 | 0,106 | 2007 | 0,569 |

### *9.6.3.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari stati limite*

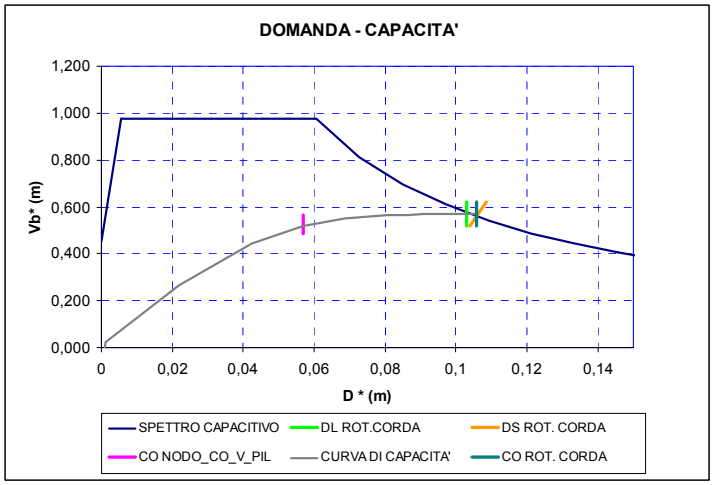
**STATO LIMITE DI DANNO LIEVE (rotazione rispetto alla corda)**




**PGA = 0.710g**

**$\xi_{eq}$ = 29.0 %**

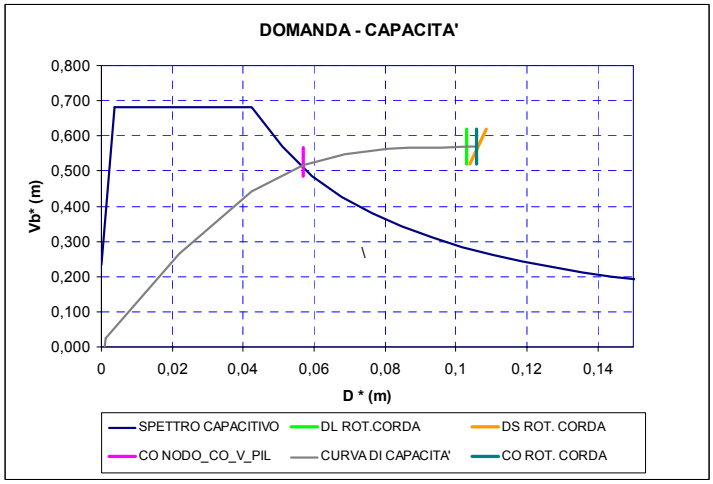
## STATO LIMITE DI DANNO SEVERO (rotazione rispetto alla corda)




**PGA = 0.730g**

**$\xi_{eq}$ = 30.0 %**

## STATO LIMITE DI COLLASO (collasso nodo e collasso a taglio pilastro)




**PGA = 0.376 g**

**$\xi_{eq}$ = 14.0 %**

**INDICATORI DI RISCHIO**

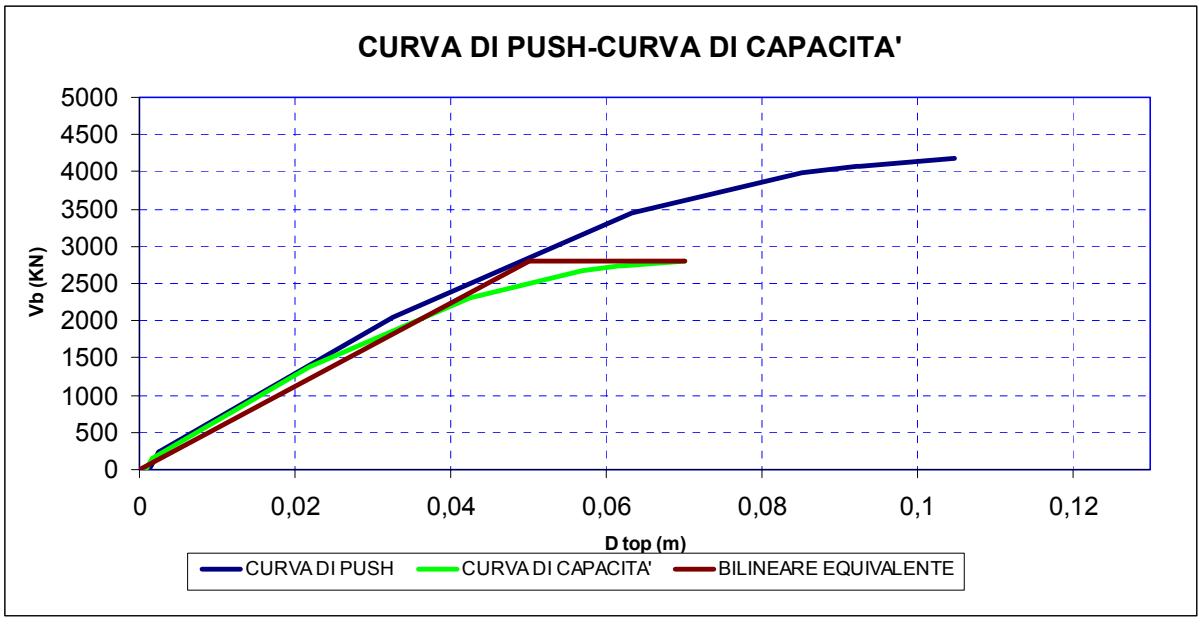
| Stato Limite | PGA | PGARIF | Tr | α |
|---|---|---|---|---|
| DL ROT. CORDA | 6.695 | 1.226 | 50%_50 | 5.679 |
| DS ROT. CORDA | 7.161 | 3.066 | 10%_50 | 2.336 |
| CO NODO | 3.689 | 4.598 | 2%_50 | 0.802 |
| CO TAGLIO PILASTRO | 3.689 | 4.598 | 2%_50 | 0.802 |
| CO ROT. CORDA | 7.161 | 4.598 | 2%_50 | 1.557 |

### 9.6.4 Pushover n°2

Pushover in direzione X con applicato alla struttura il sistema di forze Tipo 2 (costante).

#### *9.6.4.1 Curva di push*

Si riporta la curva di push in termini di taglio totale alla base nella direzione considerata e spostamento del baricentro del 9piano ($V_{base}$ – $D_{top}$).



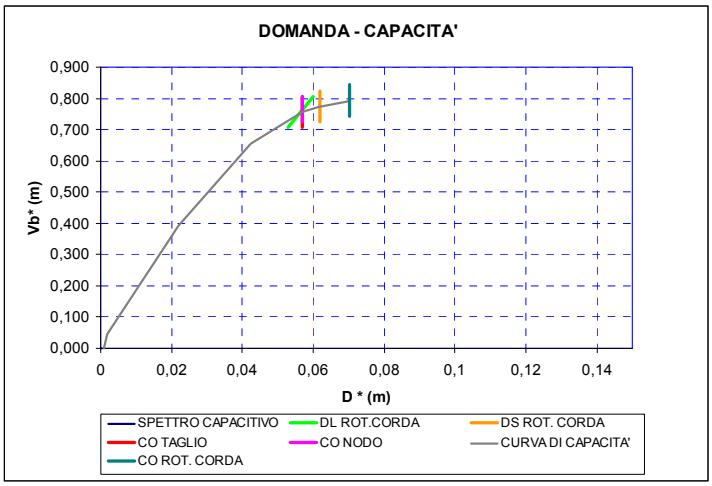

| CURVA DI PUSCH | | |
|---|---|---|
| **Step** | **D top (m)** | **Vb (KN)** |
| 0 | 0,001212 | 0 |
| 1 | 0,002564 | 239 |
| 2 | 0,032706 | 2.058 |
| 3 | 0,063411 | 3.442 |
| 4 | 0,085188 | 3.983 |
| 5 | 0,09223 | 4.072 |
| 6 | 0,092699 | 4.076 |
| 7 | 0,092699 | 4.076 |
| 8 | 0,104745 | 4.175 |

#### *9.6.4.2*

### *9.6.4.3 Curva di capacita' e sistema sdof bilineare equivalente*

**ALGORITMI DI TRASFORMAZIONE TRA CURVA DI PUSH E CURVA DI CAPACITA'**

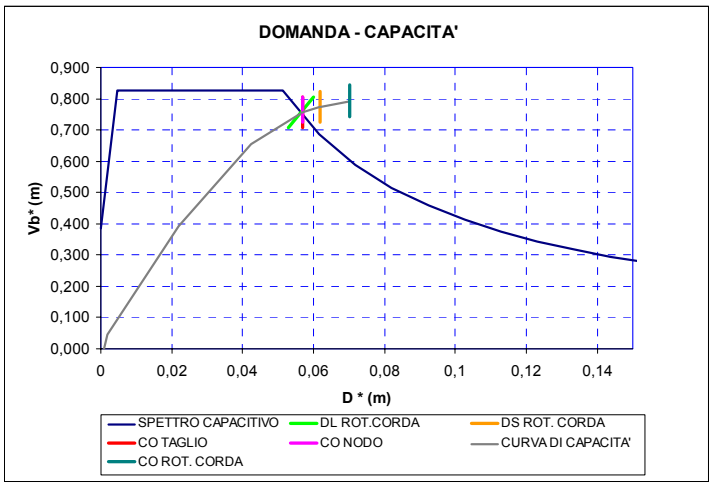
| | Autovettore N | m*Φ | m*Φ^2 | | Masse | Autovettore |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Φ1 | 0,077 | 71,10 | 5,47 | | 924 | 0,00137 |
| Φ2 | 0,247 | 257,69 | 63,54 | | 1045 | 0,00437 |
| Φ3 | 0,412 | 412,17 | 169,88 | | 1000 | 0,00731 |
| Φ4 | 0,568 | 592,98 | 336,81 | | 1044 | 0,01008 |
| Φ5 | 0,705 | 713,25 | 503,19 | **Γ= 1,49** | 1011 | 0,01251 |
| Φ6 | 0,819 | 736,56 | 603,48 | | 899 | 0,01453 |
| Φ7 | 0,896 | 469,44 | 420,56 | | 524 | 0,01589 |
| Φ8 | 0,909 | 159,13 | 144,69 | | 175 | 0,01613 |
| Φ9 | 1,000 | 113,00 | 113,00 | | 113 | 0,01774 |
| | totale | 3525,32 | | | | |



| CURVA DI CAPACITA' | | | |
|---|---|---|---|
| **Step** | **D* (m)** | **Vb (KN)** | **Sa (m/s^2)** |
| 0 | 0,001 | 0 | 0,000 |
| 1 | 0,002 | 160 | 0,045 |
| 2 | 0,022 | 1378 | 0,391 |
| 3 | 0,042 | 2305 | 0,654 |
| 4 | 0,057 | 2667 | 0,757 |
| 5 | 0,062 | 2727 | 0,773 |
| 6 | 0,062 | 2729 | 0,774 |
| 7 | 0,062 | 2729 | 0,774 |
| 8 | 0,070 | 2796 | 0,793 |

### *9.6.4.4 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari stati limite*

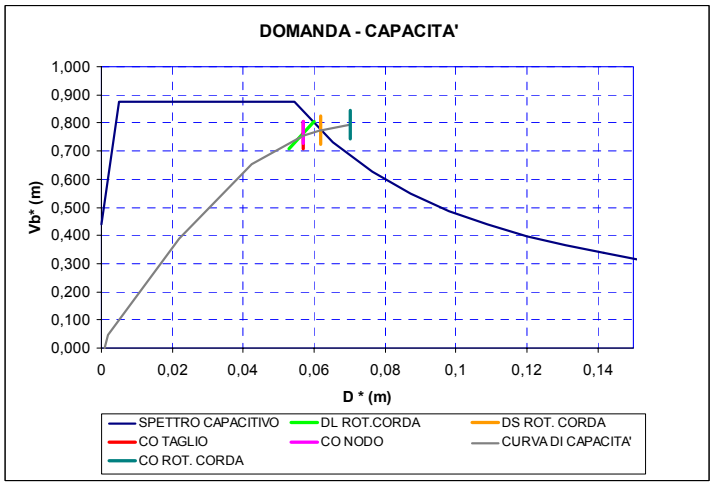
**STATO LIMITE DI DANNO LIEVE (rotazione rispetto alla corda)**




**PGA = 0.455g**

**$\xi_{eq}$ = 14.0 %**

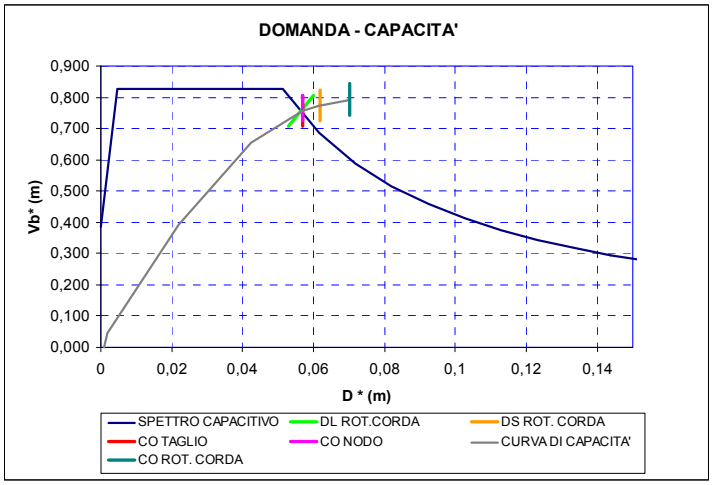
**STATO LIM ITE DI DANNO SEVERO (rotazione rispetto alla corda)**




**PGA = 0.520g**

**$\xi_{eq}$ = 17.0 %**

## STATO LIMITE DI COLLASSO (COLLASSO NODO)




**PGA = 0.455 g**

**$\xi_{eq}$ = 14.0 %**

### INDICATORI DI RISCHIO

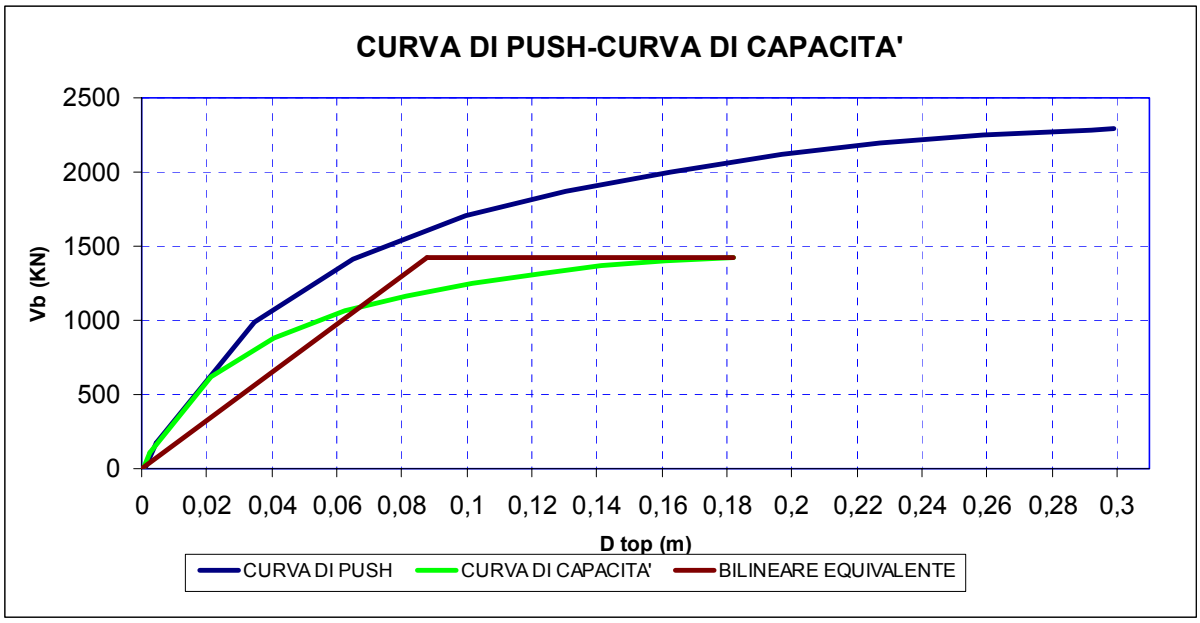
| Stato Limite | PGA | PGARIF | Tr | α |
|---|---|---|---|---|
| DL ROT. CORDA | 4.460 | 1.226 | 50%_50 | 3.637 |
| DS ROT. CORDA | 5.100 | 3.066 | 10%_50 | 1.663 |
| CO NODO | 4.460 | 4.598 | 2%_50 | 0.970 |
| CO TAGLIO PILASTRO | 4.460 | 4.598 | 2%_50 | 0.970 |
| CO ROT. CORDA | 5.830 | 4.598 | 2%_50 | 1.268 |

### 9.6.5 Pushover n°3

Pushover in direzione Y con applicato alla struttura il sistema di forze Tipo 1 (triangolare).

#### *9.6.5.1 Curva di push*

Si riporta la curva di push in termini di taglio totale alla base nella direzione considerata e spostamento del baricentro del 9°piano ($V_{base}$ – $D_{top}$).



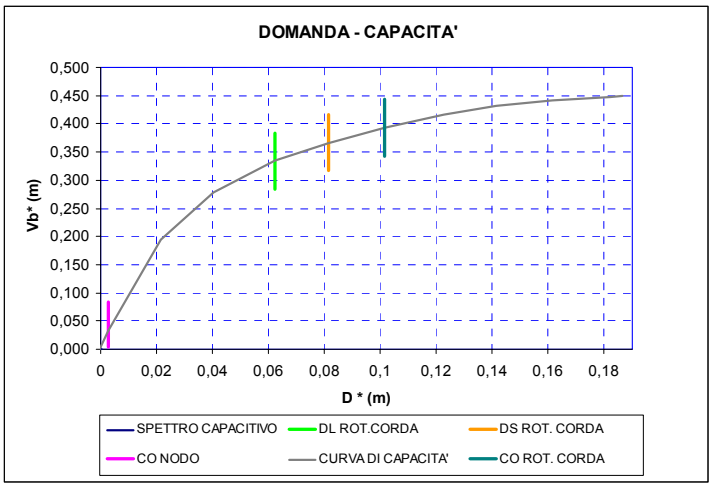

| CURVA DI PUSCH | | |
|---|---|---|
| **Step** | **D top (m)** | **Vb (KN)** |
| 0 | 0,000807 | 0 |
| 1 | 0,004287 | 172 |
| 2 | 0,034493 | 988 |
| 3 | 0,064981 | 1.417 |
| 4 | 0,099847 | 1.702 |
| 5 | 0,130477 | 1.867 |
| 6 | 0,162898 | 2.002 |
| 7 | 0,196906 | 2.116 |
| 8 | 0,22697 | 2.195 |
| 9 | 0,258684 | 2.247 |
| 10 | 0,291961 | 2.282 |
| 11 | 0,299193 | 2.289 |

#### *9.6.5.2*

### *9.6.5.3 Curva di capacita' e sistema sdof bilineare equivalente*

**ALGORITMI DI TRASFORMAZIONE TRA CURVA DI PUSH E CURVA DI CAPACITA'**

| | Autovettore N | m*Φ | m*Φ^2 | | | Masse | Autovettore |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Φ1 | 0,062 | 46,48 | 2,88 | | | 750 | 0,001316 |
| Φ2 | 0,189 | 143,01 | 27,05 | | | 756 | 0,004017 |
| Φ3 | 0,354 | 258,56 | 91,46 | | | 731 | 0,007511 |
| Φ4 | 0,479 | 337,13 | 161,45 | | | 704 | 0,010169 |
| Φ5 | 0,597 | 411,89 | 245,87 | **Γ=** | **1,39** | 690 | 0,012676 |
| Φ6 | 0,710 | 480,22 | 341,14 | | | 676 | 0,015085 |
| Φ7 | 0,823 | 544,88 | 448,47 | | | 662 | 0,017478 |
| Φ8 | 0,926 | 601,11 | 556,75 | | | 649 | 0,019668 |
| Φ9 | 1,000 | 567,00 | 567,00 | | | 567 | 0,021235 |
| | totale | 3390,27 | | | m tot | 6185 | |

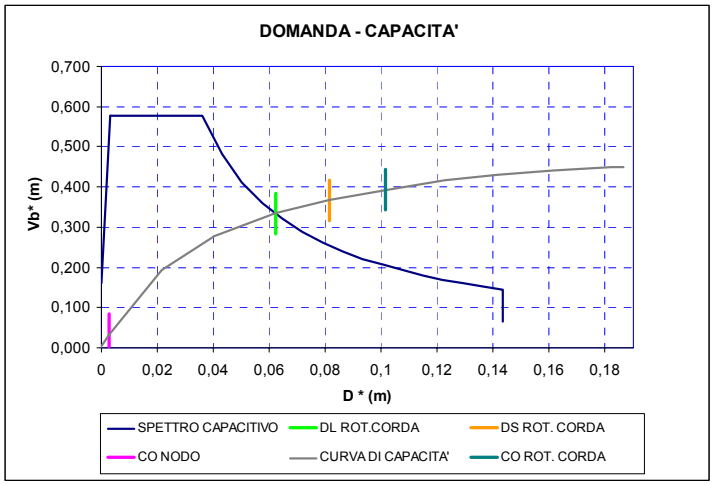



**CURVA DI CAPACITA'**

| Step | D* (m) | Vb (KN) | Sa (m/s^2) |
|---|---|---|---|
| 0 | 0,001 | 0 | 0,000 |
| 1 | 0,003 | 107 | 0,034 |
| 2 | 0,022 | 616 | 0,194 |
| 3 | 0,041 | 883 | 0,278 |
| 4 | 0,062 | 1061 | 0,334 |
| 5 | 0,081 | 1164 | 0,367 |
| 6 | 0,102 | 1248 | 0,393 |
| 7 | 0,123 | 1319 | 0,416 |
| 8 | 0,142 | 1368 | 0,431 |
| 9 | 0,161 | 1401 | 0,441 |
| 10 | 0,182 | 1423 | 0,448 |
| 11 | 0,187 | 1427 | 0,449 |

### *9.6.5.4 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari stati limite*

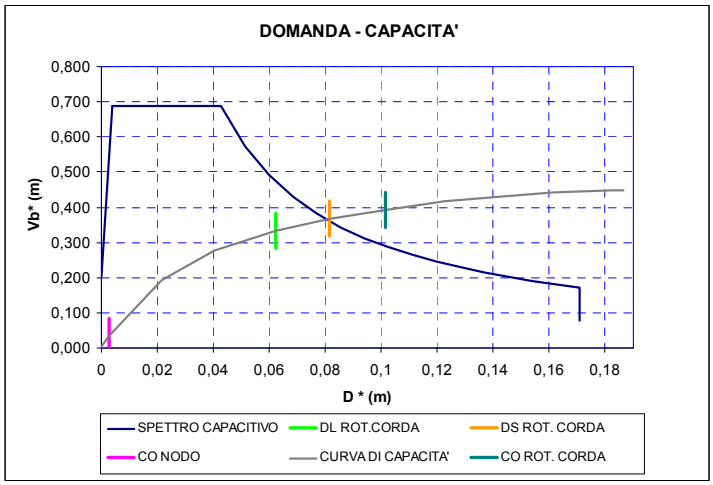
**STATO LIMITE DI DANNO LIEVE (rotazione rispetto alla corda)**




**PGA = 0.365 g**

**$\xi_{eq}$ = 20.0%**

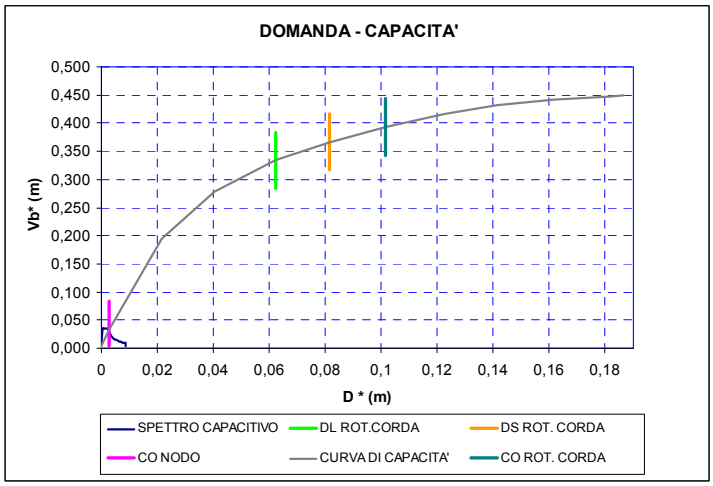
**STATO LIMITE DI DANNO SEVERO (rotazione rispetto alla corda)**




**PGA = 0.460 g**

**$\xi_{eq}$ = 23.0 %**

**STATO LIMITE DI COLLASSO (collasso nodo)**




**PGA = 0.020g**

**$\xi_{eq}$ =10.0 %**

**INDICATORI DI RISCHIO**

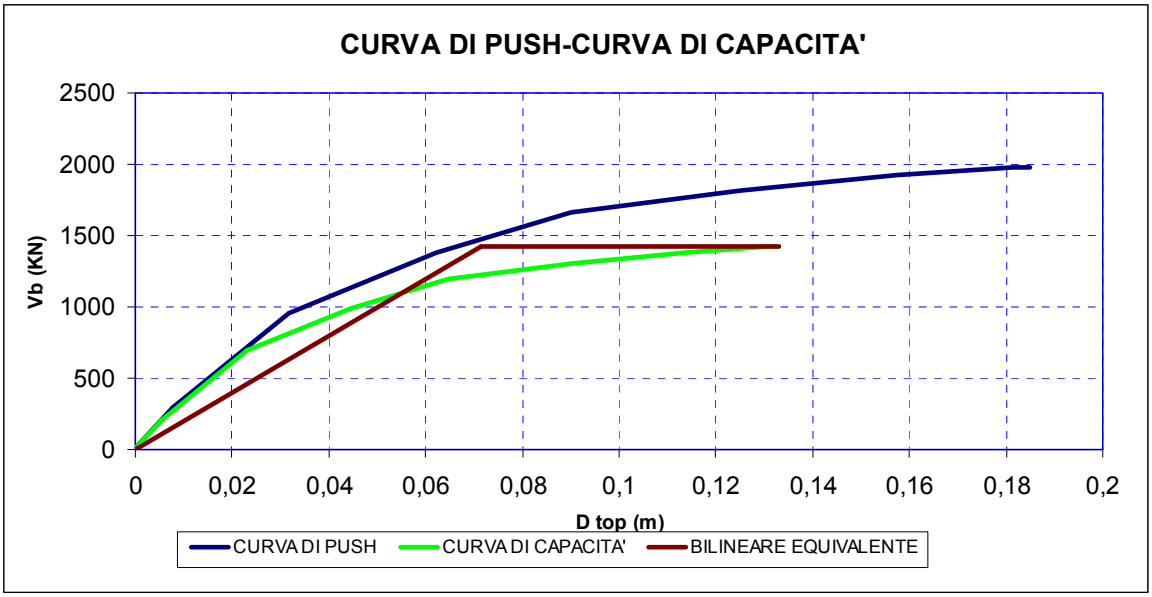
| Stato Limite | PGA | PGARIF | Tr | α |
|---|---|---|---|---|
| DL ROT. CORDA | 3.580 | 1.226 | 50%_50 | 2.919 |
| DS ROT. CORDA | 4.513 | 3.066 | 10%_50 | 1.472 |
| CO NODO | 0.192 | 4.598 | 2%_50 | 0.042 |
| CO TAGLIO PILASTRO | - | 4.598 | 2%_50 | - |
| CO ROT. CORDA | 5.390 | 4.598 | 2%_50 | 1.172 |

### 9.6.6 Pushover n°4

Pushover in direzione Y con applicato alla struttura il sistema di forze Tipo 2 (costante).

#### *9.6.6.1 Curva di push*

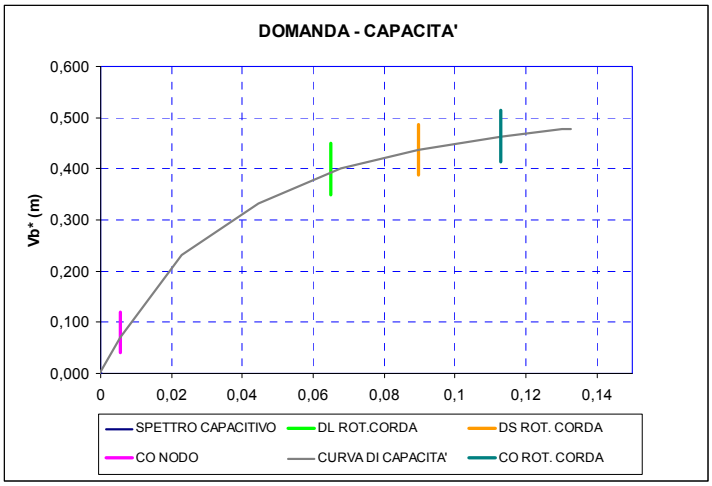
Si riporta la curva di push in termini di taglio totale alla base nella direzione considerata e spostamento del baricentro del 9°piano ($V_{base}$ – $D_{top}$).




| CURVA DI PUSCH | | |
|---|---|---|
| **Step** | **D top (m)** | **Vb (KN)** |
| 0 | -0,000418 | 0 |
| 1 | 0,007585 | 289 |
| 2 | 0,031832 | 962 |
| 3 | 0,062055 | 1378 |
| 4 | 0,090000 | 1659 |
| 5 | 0,124983 | 1812 |
| 6 | 0,157392 | 1922 |
| 7 | 0,181323 | 1980 |
| 8 | 0,183838 | 1983 |
| 9 | 0,184859 | 1983 |

### *9.6.6.2 Curva di capacita' e sistema sdof bilineare equivalente*

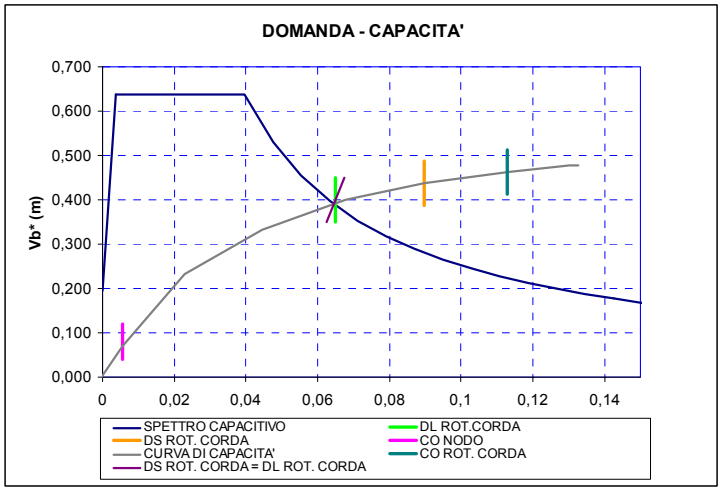
| ALGORITMI DI TRASFORMAZIONE TRA CURVA DI PUSH E CURVA DI CAPACITA' | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Autovettore N** | | **m*Φ** | **m*Φ^2** | | **Masse** | **Autovettore** |
| Φ1 | 0,062 | | 46,48 | 2,88 | | 750 | 0,001316 |
| Φ2 | 0,189 | | 143,01 | 27,05 | | 756 | 0,004017 |
| Φ3 | 0,354 | | 258,56 | 91,46 | | 731 | 0,007511 |
| Φ4 | 0,479 | | 337,13 | 161,45 | | 704 | 0,010169 |
| Φ5 | 0,597 | | 411,89 | 245,87 | **Γ= 1,39** | 690 | 0,012676 |
| Φ6 | 0,710 | | 480,22 | 341,14 | | 676 | 0,015085 |
| Φ7 | 0,823 | | 544,88 | 448,47 | | 662 | 0,017478 |
| Φ8 | 0,926 | | 601,11 | 556,75 | | 649 | 0,019668 |
| Φ9 | 1,000 | | 567,00 | 567,00 | | 567 | 0,021235 |
| | | totale | 3390,27 | | m tot | 6185 | |




| CURVA DI CAPACITA' | | | |
|---|---|---|---|
| **Step** | **D* (m)** | **Vb (KN)** | **Sa (m/s^2)** |
| 0 | 0,000 | 0 | 0,000 |
| 1 | 0,005 | 208 | 0,061 |
| 2 | 0,023 | 693 | 0,204 |
| 3 | 0,045 | 993 | 0,293 |
| 4 | 0,065 | 1195 | 0,352 |
| 5 | 0,090 | 1306 | 0,385 |
| 6 | 0,113 | 1385 | 0,408 |
| 7 | 0,131 | 1426 | 0,421 |
| 8 | 0,132 | 1428 | 0,421 |
| 9 | 0,133 | 1429 | 0,421 |

### *9.6.6.3 Individuazione dei punti corrispondenti ai vari stati limite*

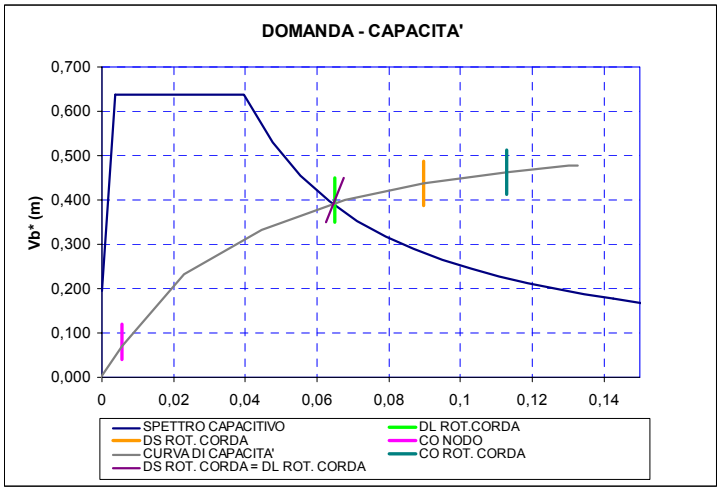
**STATO LIMITE DI DANNO LIEVE (rotazione rispetto alla corda)**




**PGA = 0.302 g**

**$\xi_{eq}$ = 17 %**

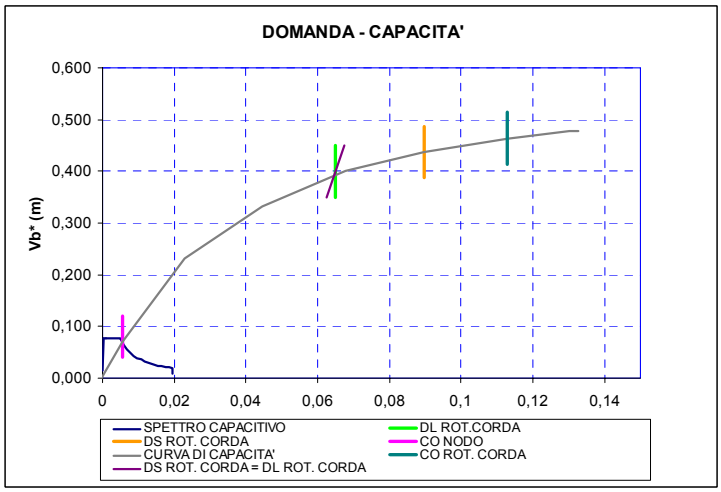
**STATO LIMITE DI DANNO SEVERO (rotazione rispetto alla corda)**




**PGA = 0.302g**

**$\xi_{eq}$ = 17**

**STATO LIMITE DI COLLASSO (collasso nodo)**




**PGA = 0.025**

**$\xi_{eq}$ = 5%**

**INDICATORI DI RISCHIO**

| Stato Limite | PGA | PGARIF | Tr | α |
|---|---|---|---|---|
| DL ROT. CORDA | 4.002 | 1.226 | 50%_50 | 3.263 |
| DS ROT. CORDA | 3.770 | 3.066 | 10%_50 | 1.230 |
| CO NODO | 0.196 | 4.598 | 2%_50 | 0.043 |
| CO TAGLIO PILASTRO | - | 4.598 | 2%_50 | - |
| CO ROT. CORDA | 5.100 | 4.598 | 2%_50 | 1.109 |

## 9.7 CONCLUSIONI

Di conseguenza gli indicatori di rischio da inserire nelle schede di sintesi, risultano:

INDICATORE DI RISCHIO DI INAGIBILITA'

$$\alpha_e = \frac{PGA_{DL}}{PGA_{50\%}} =$$

INDICATORE DI RISCHIO DI COLLASSO 2

$$\alpha_{U2} = \frac{PGA_{DS}}{PGA_{10\%}} =$$

INDICATORE DI RISCHIO DI COLLASSO 1

$$\alpha_{U1} = \frac{PGA_{CO}}{PGA_{2\%}} =$$

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva con i risultati dei quattro casi sopra descritti:

| **RIPEILOGO INDICATORI DI RISCHIO SETTORE B - $\gamma I = 1$** | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **MODELLI** | | **Distribuzione triangolare** | | | | **Distribuzione uniforme** | | | |
| | | **Direzione X** | | **Direzione Y** | | **Direzione X** | | **Direzione Y** | |
| **STATO LIMITE** | **PGA Rif.** | **PGA Analisi** | **α** | **PGA Analisi** | **α** | **PGA Analisi** | **α** | **PGA Analisi** | **α** |
| danno lieve rotazione alla corda | 1.226 | 6.965 | **5.679** | 3.580 | **2.919** | 4.460 | **3.637** | 4.002 | **3.262** |
| danno severo rotazione alla corda | 3.066 | 7.161 | **2.336** | 4.513 | **1.472** | 5.100 | **1.663** | 3.770 | **1.230** |
| collasso rotazione alla corda | 4.599 | 7.161 | **1.557** | 5.390 | **1.172** | 5.830 | **1.268** | 5.100 | **1.109** |
| collasso nodo | 4.599 | 3.689 | **0.802** | 0.192 | **0.042** | 4.460 | **0.970** | 0.196 | **0.043** |
| collasso pilastro a taglio | 4.599 | 3.689 | **0.802** | -- | -- | 4.460 | **0.970** | -- | -- |