Aztec Informatica®

PAC 3D

Analisi e Calcolo Paratie (Modello 3D)

MANUALE D'USO

Copyright © 1994, 2021 Aztec Informatica s.r.l.
Tutti i diritti riservati.

Qualsiasi documento tecnico che venga reso disponibile da Aztec Informatica è stato realizzato da Aztec Informatica che ne possiede il Copyright ed è proprietà di Aztec Informatica. La documentazione tecnica viene fornita così com'è e Aztec Informatica non fornisce alcuna garanzia sulla precisione o l'utilizzo di tali informazioni. L'utente si assume il rischio dell'utilizzo della documentazione tecnica o delle informazioni in essa contenute. La documentazione potrebbe contenere imprecisioni tecniche o di altro tipo, oppure errori tipografici. Aztec Informatica si riserva il diritto di apportare modifiche senza preavviso.
Le informazioni contenute nel presente manuale non rappresentano un impegno da parte della Aztec Informatica. Il software descritto in questo documento viene fornito con il Contratto di Licenza d'Uso. Il software stesso può essere utilizzato solo in conformità al contratto medesimo. Per nessun motivo nessuna parte di questo manuale può essere riprodotta in qualsiasi forma e/o mezzo senza il consenso scritto della Aztec Informatica. Se non specificato diversamente, ogni riferimento a società, nomi, dati e indirizzi utilizzati nelle riproduzioni delle schermate e negli esempi è puramente casuale ed ha il solo scopo di illustrare l'uso del prodotto Aztec Informatica.

WINDOWS è un marchio registrato della Microsoft Corporation
WINDOWS 95 è un marchio registrato della Microsoft Corporation
WINDOWS 98 è un marchio registrato della Microsoft Corporation
WINDOWS Me è un marchio registrato della Microsoft Corporation
WINDOWS 2000 è un marchio registrato della Microsoft Corporation
WINDOWS NT è un marchio registrato della Microsoft Corporation
WINDOWS XP è un marchio registrato della Microsoft Corporation
WINDOWS Vista è un marchio registrato della Microsoft Corporation
WINDOWS 7 è un marchio registrato della Microsoft Corporation
WINDOWS 8 è un marchio registrato della Microsoft Corporation
WINDOWS 10 è un marchio registrato della Microsoft Corporation
WINWORD è un marchio registrato della Microsoft Corporation
WORDPAD è un marchio registrato della Microsoft Corporation
Arial, Courier New, Times New Roman sono marchi registrati della The Monotype Corporation PLC
Altri nomi di marchi e nomi di prodotti sono marchi depositati o registrati dai rispettivi proprietari

SOMMARIO

Premessa **1**
1 Convenzioni e sistemi di riferimento **3**
2 Menu ed ambiente di lavoro del programma PAC 3D **6**
1.1 Ambiente 6
1.2 Uso dei menu e dei comandi 6
1.3 Barra dei comandi 7
2 Menu File **9**
2.1 Opzioni lettura file 9
3 Menu Dati **10**
3.1 Generali 10
3.2 Tipologia di calcolo 10
3.3 Normativa 11
3.4 Elenco fasi 13
3.5 Elenco acciai 13
3.6 Elenco Materiali 14
3.7 Elenco Terreni 17
3.8 Definizione Stratigrafia 18
3.9 Elenco Tipologie Tiranti 19
3.10 Definizione Falda 23
3.11 Verifiche Idrauliche 23
3.12 Unità di misura 24
3.13 Info Struttura 26
4 Menu Geometria **27**
4.1 Estensioni 27
4.2 Elenco sezioni 28
4.3 Definizione sezione 28
4.4 Profilati in acciaio 30
4.5 Elenco tratti di paratia 31
4.6 Elenco cordoli 32
4.7 Elenco pali 33
4.8 Genera paratia 33
4.9 Elenco Tiranti / Puntoni 34
4.10 Elenco Nodi 36
4.11 Elenco carichi del nodo 37
4.12 Elenco Travi 38
4.13 Trave 39
4.14 Elenco carichi trave 40
5 Menu Carichi **43**

5.1 Coefficienti Psi 43
5.2 Condizioni 43
5.3 Elenco carichi paratia 44
5.4 Carico del nodo 45
5.5 Carico trave 45
5.6 Elenco carichi profilo 46
5.7 Combinazioni 50
5.8 Elenco combinazioni 56
6 Input Grafico 58
6.1 Fase paratia 59
6.2 Inserimento grafico 59
6.3 Generazione automatica 59
6.4 Caratteristiche di un tratto di paratia 61
6.5 Caratteristiche di una fila di pali 63
6.6 Elenco oggetti 64
6.7 Elenco pali 64
6.8 Fase cordoli 65
6.9 Definizione di un nuovo cordolo 68
6.10 Fase stratigrafia 70
6.11 Fase pali 70
6.12 Fase carichi profilo 75
6.13 Fase nodi 77
6.14 Fase aste 79
6.15 Fase vincoli 82
6.16 Fase carichi paratia 84
6.17 Fase elementi - nodi 86
7 Menu Modello 87
7.1 Opzioni modello 87
8 Menu Analisi 88
8.1 Imposta analisi sismica 88
8.2 Opzioni Analisi 91
8.3 Opzioni Analisi non Lineare 94
8.4 Opzioni analisi fasi 96
8.5 Opzioni spinte 96
8.6 Parametri monitoraggio 97
8.7 Analisi 97
9 Menu Armature 98
9.1 Opzioni armature 99
9.2 Opzioni verifiche SLE 100
9.3 Opzioni verifiche SLU 101
10 Menu Risultati 102

10.1 Risultati di sintesi ... 102
10.1.1 Dettagli risultati fase ... 103
10.2 Risultati spostamenti nodali ... 103
10.3 Risultati sollecitazioni travi ... 104
10.4 Risultati pali ... 105
10.5 Risultati cordoli ... 107
10.6 Risultati tiranti ... 108
10.7 Risultati puntoni ... 109
10.8 Risultati verifiche idrauliche ... 110
10.9 Risultati verifiche fessurazione ... 111
11 Grafica risultati ... 113
11.1 Dettagli pali ... 118
11.2 Vista grafica di GEOMETRIA ... 120
11.3 Vista grafica degli SPOSTAMENTI ... 120
11.4 Vista grafica delle SOLLECITAZIONI ... 121
11.5 Vista grafica delle PRESSIONI SUL TERRENO ... 123
11.6 Vista grafica delle PRESSIONI SULLE MOLLE ... 124
11.7 Vista grafica delle PRESSIONI DOVUTE AI CARICHI SUL TERRENO ... 125
11.8 Vista grafica delle PRESSIONI DOVUTE AI CARICHI SUL TERRENO ... 126
11.9 Vista grafica delle ARMATURE ... 127
12 Gestione Armature ... 141
12.1 Disposizione armature pre-analisi. ... 141
12.2 Calcolo e disposizione armature dopo l'analisi. ... 142
13 Menu relazione ... 144
13.1 Opzioni generazione relazione ... 144
13.2 Opzioni relazione COMBINAZIONI ... 145
13.3 Opzioni relazione PALI ... 145
13.4 Opzioni relazione CORDOLI ... 146
13.5 Opzioni relazione TIRANTI ... 147
13.6 Opzioni relazione PUNTONI ... 147
13.7 Opzioni relazione Verifica a stabilità globale ... 148
13.8 Opzioni relazione Verifiche idrauliche ... 148
14 Richiami teorici ... 150
14.1 PAC 3D. Il modello di calcolo ... 150
14.2 La schematizzazione del terreno ... 151
14.3 Calcolo delle Spinte ... 157
14.4 Spinta in presenza di sisma ... 160
14.5 Influenza dei carichi applicati sul terreno. ... 165
14.6 Modellazione strutturale della paratia. ... 167
14.7 PAC 3D. Il Modello ad Elementi Finiti ... 172
14.8 L'elemento molla. ... 173

14.9 Molle di connessione fra i pali 174
14.10 L'elemento trave 175
14.11 Matrice di rigidezza - Trave di Bernoulli 177
14.12 L'elemento trave di Timoshenko 182
14.13 Soluzione 184
14.14 Tipo di analisi. 189
14.15 Non linearità del materiale strutturale 192
14.16 La plasticità delle strutture in calcestruzzo armato 192
14.17 La modellazione dei tiranti 199
14.18 La plasticità nel caso delle sezioni in acciaio 201
15 ANALISI PER FASI DI SCAVO 202
15.1 Paratia di pali libera (H=10 metri) con tre fasi. 202
15.2 Analisi di una paratia vincolata con 3 fasi. 205
15.3 Analisi per fasi di scavo – Determinazione del moltiplicatore di collasso. 206
15.4 Analisi per fasi di scavo – Il sisma 208
15.5 Analisi per fasi di scavo – Le NTC 2008 - 2018 210
15.6 Il report di analisi di PAC 3D 211
16 Stabilità globale 213
16.1 Metodo di Fellenius 213
16.2 Metodo di Bishop 214
17 Verifiche idrauliche 215
17.1 Verifica a sifonamento 215
17.2 Verifica sollevamento fondo scavo 216
18 Analisi agli stati limite ultimi 217
18.1 Diagramma M-N dello stato limite 219
18.2 Diagramma di calcolo tensione-deformazione del calcestruzzo 220
18.3 Diagramma di calcolo tensione-deformazione dell'acciaio. Fattore di incrudimento 221
18.4 Sollecitazioni Taglianti (D.M. Min. LL.PP. 9 Gennaio 1996) 222
18.5 Sollecitazioni Taglianti (D.M. 14 Gennaio 2008 – D.M. 17 Gennaio 2018) 233
19 Bibliografia 237

Premessa

Le opere di sostegno vengono tradizionalmente calcolate nell'ipotesi di stato piano di deformazione. Il modello implementato all'interno di **PAC 3D** costituisce un notevole sforzo per calcolare al meglio un'opera strutturale – geotecnica che spesso non rispetta le ipotesi base della deformazione piana. Per questo motivo si è scelto di utilizzare un **modello a telaio 3D** (nodi-aste) interagente con il terreno tramite delle molle elasto-plastiche. Molti dei limiti previsti da un calcolo a deformazione piana vengono di fatto superati dal modello di **PAC 3D**.

E' frequente ad esempio il caso di paratie con pianta a **L** o a **C**, dove il forte effetto di contrasto dovuto alla particolare geometria provoca stati di sollecitazione differenti sui diversi elementi della paratia, in particolare nelle zone d'angolo e nelle zone laterali. Con **PAC 3D** è possibile leggere lo stato di sollecitazione su ogni singolo elemento. Ad esempio sui **cordoli**, spesso progettati tramite metodi alquanto semplificati, è possibile ora leggere con precisione la sollecitazione agente e quindi progettare in modo adeguato sia la rigidezza della sezione che la disposizione delle armature. Non è raro anche che i cordoli abbiano una quota variabile ed i progettisti si trovino costretti a calcolare più sezioni nell'ipotesi di stato piano, trascurando di fatto il comportamento globale dovuto alla reale asimmetria della struttura. Con **PAC 3D** invece ogni cordolo può avere andamento generico ed eventualmente sezione variabile.

Anche per quanto riguarda eventuali **tiranti e puntoni**, in un modello piano si fanno analisi semplificate riconducendo il calcolo ad un metro di paratia. Con PAC 3D invece ogni singolo tirante è schematizzato nella sua posizione reale e può avere caratteristiche geometriche e meccaniche diverse dagli altri.

Il **calcolo delle spinte** agenti sulla paratia viene condotto tramite una metodologia approssimata, ma notevolmente efficace in termini di rapporto tempo - precisione. Un calcolo accurato della spinta in 3D richiederebbe l'uso di metodi numerici più impegnativi come i FEM o i DEM, che farebbero crescere in modo esponenziale il tempo di calcolo rendendo non praticabile una progettazione regolare dell'opera. In **PAC 3D** si è scelto di ricostruire una spinta 3D a partire da tante sezioni piane. Su ogni elemento verticale soggetto a spinta si procede al calcolo di un diagramma di spinta piana secondo **Coulomb**, ricostruendo successivamente, in base all'interasse, l'andamento completo della spinta sull'opera. L'incremento di spinta dovuto ad eventuali carichi a monte della paratia viene valutato secondo la formulazione di **Boussinesq**.

In definitiva il modello consente un calcolo dell'opera con maggiore aderenza alla situazione reale, evitando le forti approssimazioni di un modello a deformazione piana. In tal modo è possibile **ottimizzare l'uso dei materiali** nelle zone di maggiore necessità raggiungendo un migliore compromesso in termini di rapporto costo – prestazione.

Il modello di **PAC 3D** è quindi un modello di telaio 3D interagente con il terreno tramite un **metodo "a molle"**. L'utente in prima istanza definisce i **macro-oggetti** (tratti di paratia, pali, cordoli, tiranti, puntoni, …) della struttura. In automatico **PAC 3D** costruisce lo schema filiforme di nodi e aste, su cui successivamente sarà impostato il modello di calcolo. L'utente ha in ogni caso la possibilità di modellare liberamente la struttura all'interno del **modello filiforme**, sui nodi, sui vincoli e sulle aste (copia, trasla, spezza, modifica, …).

Ampio spazio è dato alla gestione degli aspetti **non-lineari**, sia dal punto di vista di modellazione che dal punto di vista strettamente numerico. La rottura delle molle può essere guidata secondo diversi criteri. Inoltre è stata implementata la **plasticità diffusa** sugli elementi in calcestruzzo armato. Il metodo risolutivo del sistema non lineare può essere scelto tra i diversi metodi proposti, insieme agli opportuni parametri di tolleranza, in un'apposita finestra di opzioni numeriche avanzate.

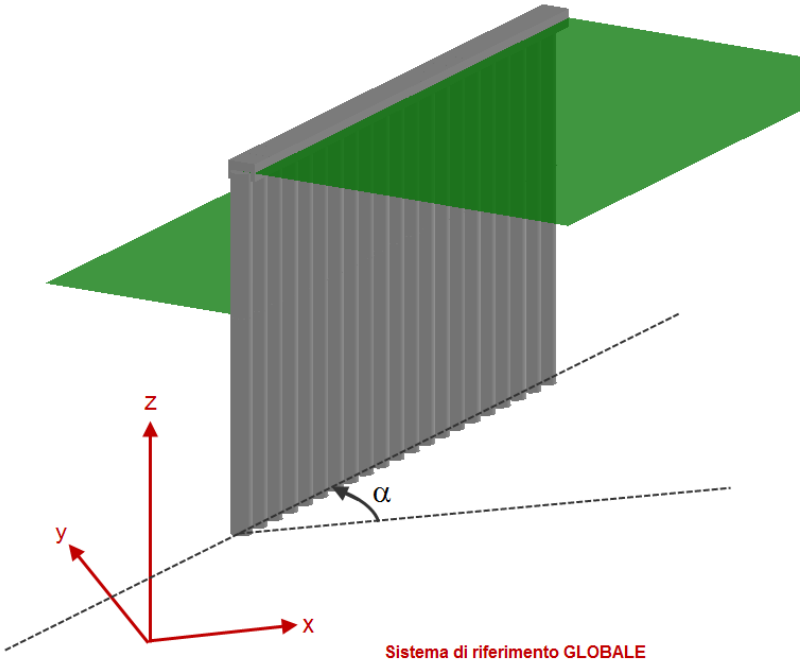
L'input dell'opera viene definito impostando i diversi tratti lineari della paratia. All'interno di ogni tratto è possibile definire ulteriori cordoli e definire stratigrafia, falda e quota del profilo con andamento lineare.

L'analisi può essere condotta per **combinazioni di calcolo** o per **fasi costruttive**. Nell'analisi per combinazioni vengono generate in automatico dal software le combinazioni di calcolo previste da norma, utilizzando gli opportuni coefficienti di partecipazione. Nell'analisi per fasi invece è possibile definire in sequenza le situazioni reali di lavoro della paratia e ricostruire fase per fase lo stato di sollecitazione sugli elementi.

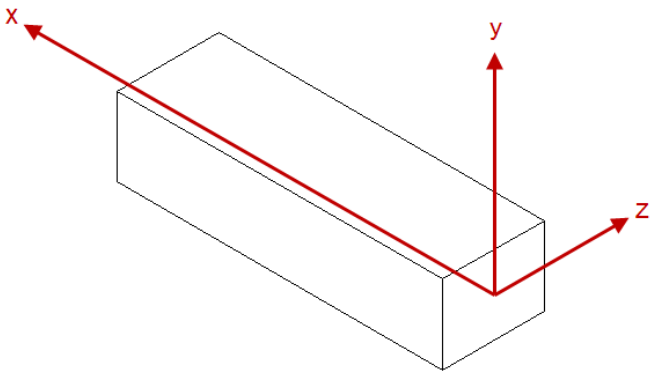
L'output prevede la visualizzazione dei diagrammi in 3D, con la possibilità di interrogare i valori su ogni singolo elemento. Tramite delle mappature a colori è possibile avere una sintesi dei risultati, concentrandosi sui valori massimi e minimi di inviluppo. I disegni possono essere esportati in DXF e la relazione di calcolo, personalizzabile tramite diverse opzioni, viene generata in RTF.

1 Convenzioni e sistemi di riferimento

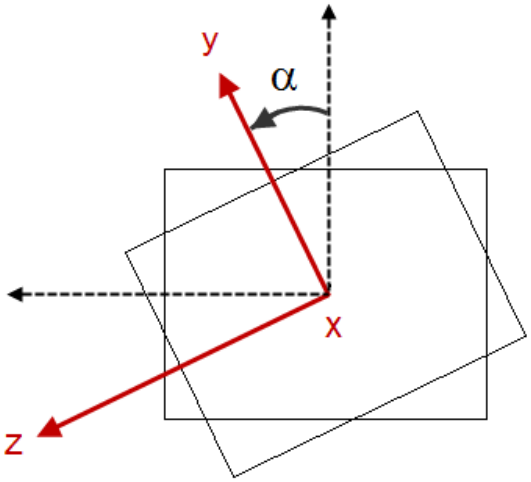
Il sistema di riferimento globale di **PAC 3D** prevede una terna levogira come in figura, con l'asse principale *Z* verticale verso l'alto. Ogni tratto di paratia è individuato da due punti (iniziale e finale) proiettati in pianta nel piano *XY*.



Ogni asta ha un riferimento locale come in figura, con l'asse *X* lungo l'asta e gli assi *YZ* che individuano la sezione trasversale dell'asta.

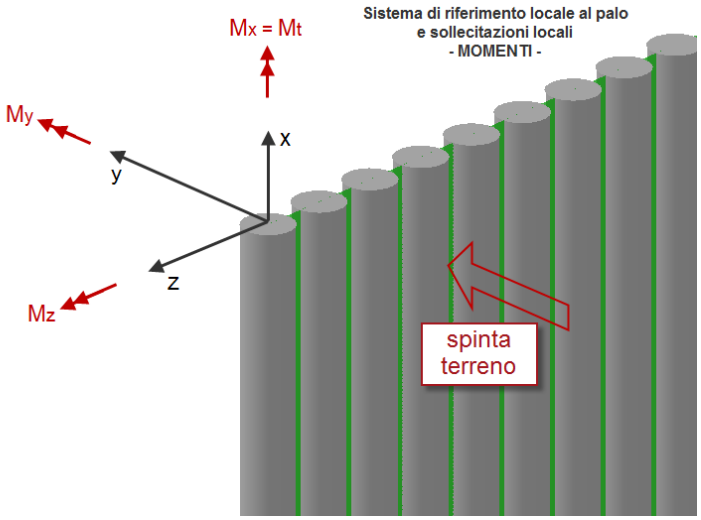


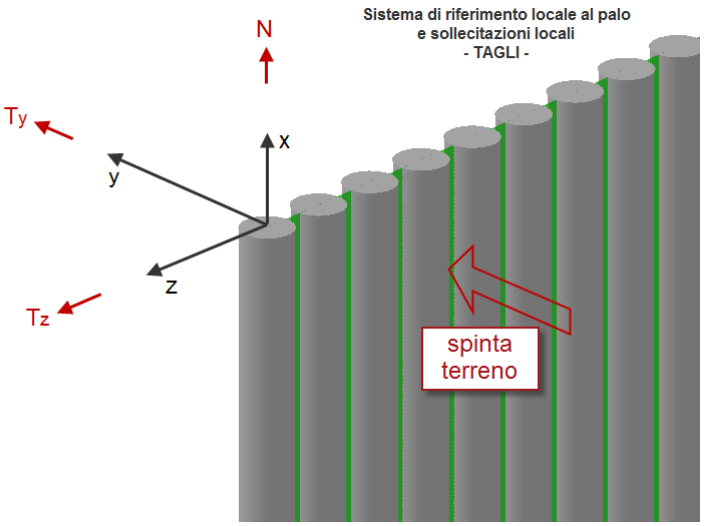
Sistema di riferimento locale alla trave



Rotazione trave intorno al proprio asse X

Su ogni trave è possibile definire una rotazione locale della sezione, positiva come in figura.





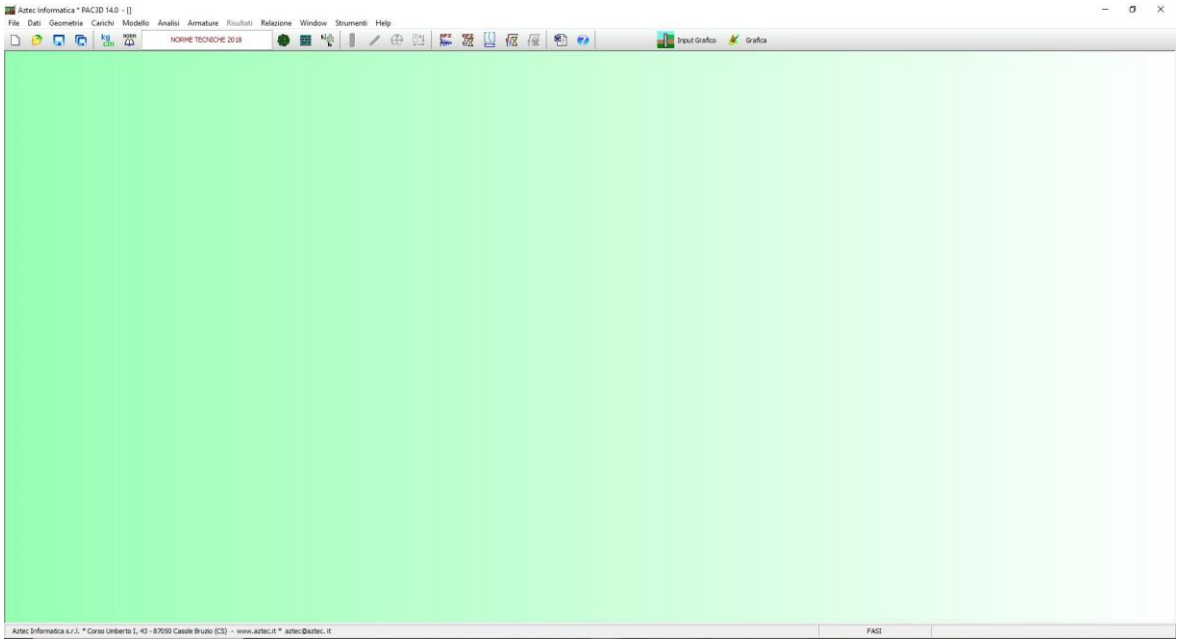
Di default tutti i pali del tratto sono posizionati con l'asse *Y* ortogonale al tratto verso valle. Le convenzioni sulle sollecitazioni agenti sugli elementi della paratia sono raffigurate in alto.

Mx Momento torcente (asse vettore lungo X);

My, Mz	Momenti flettenti aventi asse vettore rispettivamente lungo *Y e Z*;
N	Sforzo normale (positivo di compressione);
Ty, Tz	Azioni di taglio dirette lungo *Y e Z*.

2 Menu ed ambiente di lavoro del programma PAC 3D

PAC 3D è un programma estremamente interattivo. L'ambiente di lavoro è quello tipico dell'ambiente ***Windows®.*** Nella figura è riportata la maschera iniziale del programma.



1.1 Ambiente

L'ambiente di lavoro presenta:

- un menu principale

- una barra di strumenti orizzontale (barra dei comandi).

1.2 Uso dei menu e dei comandi

Per eseguire qualsiasi operazione all'interno del programma, bisogna attivare il relativo comando. Il menu ha il compito di gestire tutti i comandi.

Le voci presenti sul ***menu principale*** sono: **File, Dati, Geometria, Carichi, Modello, Analisi, Risultati, Armature, Relazione, Strumenti, Window** e **Help**.

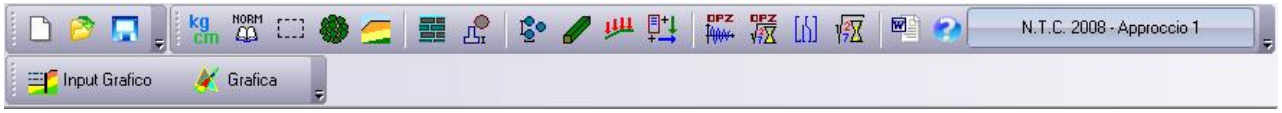
Ad ognuna di queste voci sono associate una serie di funzioni correlate fra di loro. Gli stessi comandi possono essere attivati tramite la barra dei ***comandi***.

Per selezionare una voce del menu tramite tastiera, si preme il tasto [**Alt**] assieme al tasto della lettera sottolineata corrispondente alla voce desiderata; viene così aperta la «tendina». La voce selezionata viene poi attivata mediante il tasto [**Invio**].

Quando il menu è attivato, mediante i tasti [←][→] ci si sposta da una voce del menu a quella adiacente. Se si vuole chiudere la voce di menu si usa il tasto [**ESC**].
Si può accedere al menu principale anche tramite il tasto funzione [**F10**] o con il tasto [**ALT**]; in questo modo viene evidenziata la prima voce del menu. Ci si sposta sulla voce desiderata tramite i tasti freccia [←][→] e si preme il tasto [**Invio**].

1.3 Barra dei comandi

La barra orizzontale dei comandi è un acceleratore dei comandi presenti nelle varie voci del menu principale.



Toolbar File

Crea un Nuovo Lavoro

Apri un file Salvato in precedenza

Salva il Lavoro attuale

Toolbar Dati

Unità di Misura

Normativa

Estensioni

Elenco Terreni

Stratigrafia

Elenco Materiali

Elenco Sezioni

Elenco Pali

Elenco Cordoli

Elenco Carichi

Definizione Combinazioni di Carico

Imposta Analisi Sismica

Opzioni Analisi

Opzioni Armature

Avvia l'Analisi

Genera la Relazione di Calcolo

Help in linea

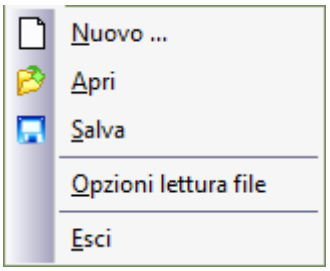
Toolbar Windows

Il pulsante consente di aprire la finestra di Input Grafico

Il pulsante consente di aprire la finestra Grafica Risultati

2 Menu File

In questo capitolo verrà fornita una descrizione di tutti i comandi presenti nella voce **File** del menu principale.
Sono tutti comandi necessari per le operazioni di scrittura e lettura dei dati su disco.



Il menu presenta le seguenti voci:

Nuovo, avvia un nuovo lavoro. Il programma chiede conferma della cancellazione di tutti i dati inseriti.

Apri, apre la finestra di dialogo per caricare un file dati. Se il file attivo non è stato salvato, il programma chiede se avviare la procedura di salvataggio. La procedura è quella standard dell'ambiente Windows®. L'estensione di default dei files dati del programma è "par".

Salva, permette di salvare il lavoro corrente. La procedura è quella standard dell'ambiente Windows®. Il programma effettua, comunque, il salvataggio dei dati nel file autosave.par all'avvio dell'analisi.

Opzioni lettura file, permette di accedere alla finestra Opzioni lettura file, che dà la possibilità di impostare delle opzioni per recuperare parte o la totalità dell'analisi precedentemente fatta.

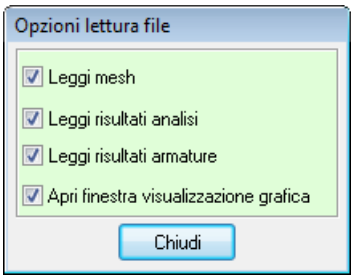
Esci, permette di uscire dal programma. Se i dati non sono stati salvati compare la richiesta di salvataggio degli stessi.

Il menu contiene, inoltre, l'elenco degli ultimi file aperti nel programma. Per aprire rapidamente uno di tali file, occorre cliccare sul relativo nome.

2.1 Opzioni lettura file

E' possibile accedere alla finestra **Opzioni lettura file** dall'omonima voce del menu File.

Le impostazioni che possono essere date nella finestra riguardano:

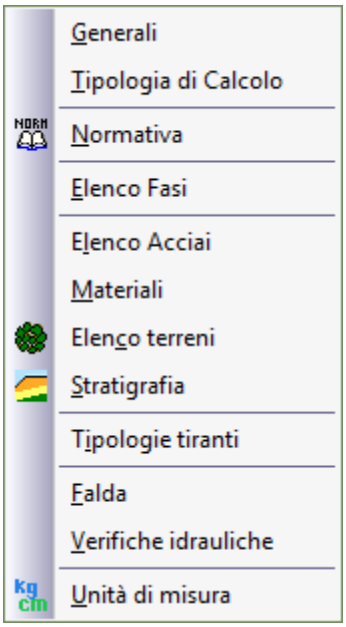


- **Leggi mesh**, che consente di attivare/disattivare la lettura della mesh del file di dati salvato;
- **Leggi risultati analisi**, che consente di attivare/disattivare la lettura dei risultati del file di dati salvato. Questa funzione è utile quando, per eventuali errori verificatisi nel salvataggio file, non è più possibile leggere lo stesso;
- **Leggi risultati armature**, che consente di attivare/disattivare la lettura delle armature del file di dati salvato;
- **Apri finestra visualizzazione grafica**, che consente di attivare/disattivare l'apertura della finestra Grafica all'apertura di un file dati.

3 Menu Dati

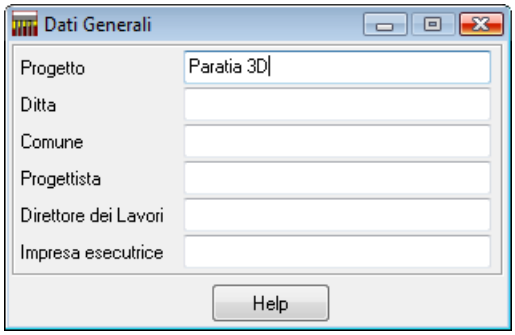
In questo capitolo verrà fornita una descrizione di tutti i comandi presenti nella voce **Dati** del menu principale.

I comandi del menu sono attivabili anche dai relativi pulsanti presenti sulla barra dei comandi.



3.1 Generali

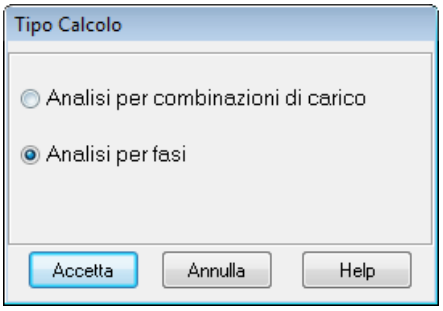
La finestra consente di inserire una serie di dati generali che potranno essere riportati in relazione:



- **Progetto**, descrizione dell'opera da realizzare;
- **Ditta**, denominazione della ditta committente dell'opera;
- **Comune**, località in cui ricade l'opera da realizzare;
- **Progettista**, generalità del tecnico che esegue il calcolo;
- **Direttore dei Lavori**, generalità del tecnico direttore;
- **Impresa esecutrice**, denominazione dell'impresa esecutrice dei lavori.

3.2 Tipologia di calcolo

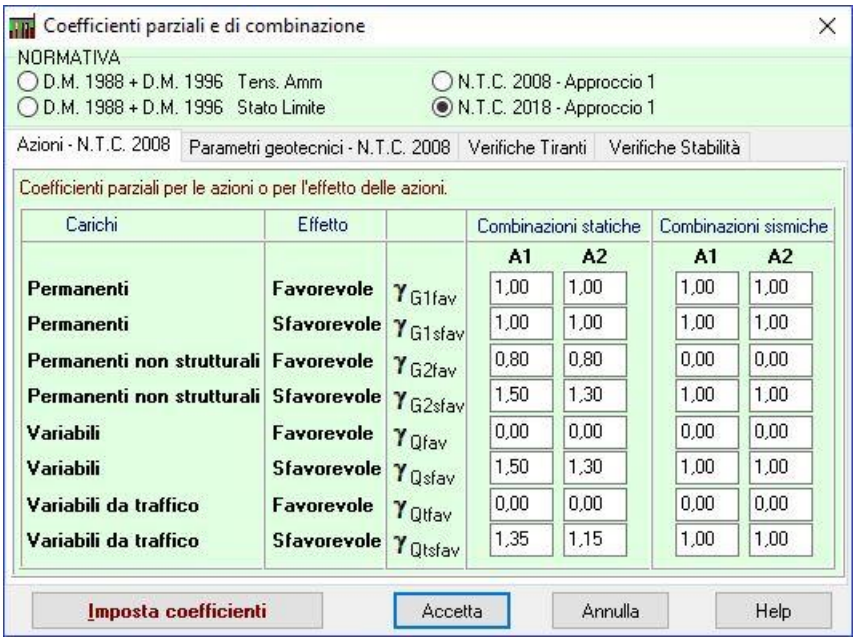
La finestra consente di specificare se si desidera effettuare un'analisi per combinazioni di calcolo o un'analisi per fasi. Nell'**Analisi per combinazioni di carico**, la struttura e le caratteristiche geometriche del sito restano inalterate, e vengono eseguite diverse analisi combinando i carichi secondo i coefficienti previsti da norma.



Nell'**Analisi per fasi** è possibile specificare la storia costruttiva dell'opera, variando, eventualmente, il profilo e le caratteristiche del terreno, ed inoltre attivando/disattivando i diversi elementi della paratia nelle varie fasi.

3.3 Normativa

Nella finestra è possibile impostare la normativa di riferimento per l'analisi della paratia:



D.M. 1988 + D.M. 1996 Tensione Ammissibile

Se si imposta tale normativa l'analisi dei carichi, le verifiche di sezione ed il calcolo delle spinte dei terreni verranno effettuate in accordo con il D.M. Min. LL.PP. 9 Gennaio 1996 e con il D.M. Min. LL.PP. 11 Marzo 1988. In particolare le verifiche di sezione verranno effettuate con il metodo delle tensioni ammissibili. In tale ambito normativo non bisogna impostare alcun coefficiente di amplificazione dei carichi o di riduzione delle caratteristiche dei terreni.

D.M. 1988 + D.M. 1996 Stato Limite

Se si imposta tale normativa l'analisi dei carichi, le verifiche di sezione ed il calcolo delle spinte dei terreni verranno effettuate in accordo con il D.M. Min. LL.PP. 9 Gennaio 1996 e con il D.M. Min. LL.PP. 11 Marzo 1988. In particolare le verifiche di sezione verranno effettuate secondo gli stati limite ultimi e gli stati limite di esercizio.

Norme Tecniche 2008 (D.M. 14-01-2008) Approccio 1

Norme Tecniche 2018 (D.M. 17-01-2008) Approccio 1

Se si imposta tale normativa l'analisi dei carichi, le verifiche di sezione ed il calcolo delle spinte dei terreni verranno effettuate in accordo con le Norme Tecniche 2008 - 2018. In particolare le verifiche di sezione verranno effettuate secondo gli stati limite ultimi e gli stati limite di esercizio. In tale ambito normativo bisogna impostare i coefficienti di amplificazione dei carichi o di riduzione delle caratteristiche dei terreni.

Tale norma si basa sul concetto dei coefficienti di sicurezza parziali e considera due famiglie di combinazioni (indicate come A1-M1 e A2-M2) generate con le seguenti modalità:

- **caso A1-M1**: in questo tipo di combinazioni vengono incrementate le azioni permanenti e variabili con i coefficienti A1 e vengono lasciate inalterate le caratteristiche di resistenza del terreno (M1=1.0).

- **caso A2-M2**: in questo tipo di combinazioni vengono incrementati i carichi variabili (coefficienti A2) e vengono ridotte le caratteristiche di resistenza del terreno secondo i coefficienti parziali M2 > 1.0.

Con le **Norme Tecniche 2008 - 2018 Approccio 1** si attivano quattro schede.

Nella prima scheda (**Azioni N.T.C. …**) occorre impostare i coefficienti di parziali (γ) delle azioni (permanenti e variabili, favorevoli e sfavorevoli).

- γ_{Gfav} Coefficiente di partecipazione delle azioni permanenti, nel caso quest'ultime contribuiscano ad aumentare la sicurezza;
- γ_{Gsfav} Coefficiente di partecipazione delle azioni permanenti;
- γ_{Qfav} Coefficiente di partecipazione delle azioni variabili, nel caso quest'ultime contribuiscano ad aumentare la sicurezza;
- γ_{Qsfav} Coefficiente di partecipazione delle azioni variabili.

Nella seconda scheda (**Parametri geotecnici N.T.C. …**) occorre impostare i coefficienti parziali sui parametri geotecnici dei terreni:

- $\gamma_{tan\ \phi'}$ Coefficiente parziale di sicurezza sulla tangente dell'angolo di attrito;
- $\gamma_{c'}$ Coefficiente parziale di sicurezza sulla coesione efficace;
- γ_{cu} Coefficiente parziale di sicurezza sulla coesione non drenata;
- γ_{qu} Coefficiente parziale di sicurezza sulla resistenza a compressione uniassiale;
- γ_{γ} Coefficiente parziale di sicurezza sul peso dell'unità di volume;

Nella terza scheda (**Verifiche tiranti**) occorre impostare i coefficienti di sicurezza per la resistenza degli ancoraggi:

- γ_{Ra} Coefficiente parziale di sicurezza per la resistenza laterale;

Resistenza	Simbolo	Coeff. parziale
Laterale	γ_{Ra}	1.20

- ξ_3 e ξ_4 Coefficienti per la determinazione della resistenza caratteristica dei tiranti

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	≥5
ξ_3	1.80	1.75	1.70	1.65	1.60
ξ_4	1.80	1.70	1.65	1.60	1.55

Per il D.M. 1988 + D.M. 1996 occorre impostare il coefficiente di sicurezza sui tiranti.

Coefficiente di sicurezza, rappresenta il coefficiente per il quale viene moltiplicata la lunghezza di fondazione del tirante calcolata in base ai parametri sopra descritti. La lunghezza totale del tirante è somma di due aliquote: una lunghezza libera necessaria per raggiungere la zona di ancoraggio ed una lunghezza di fondazione necessaria per assorbire lo sforzo del tirante. Detto C il coefficiente di sicurezza la lunghezza totale sarà data da: Lt = Llib + C x Lfond.

Nella quarta scheda (**Verifiche stabilità**) occorre impostare i coefficienti di sicurezza per la verifica

alla stabilità globale:

- Coefficiente di sicurezza (comb. statiche);
- Coefficiente di sicurezza (comb. sismiche);

3.4 Elenco fasi

Nella finestra viene riportato l'elenco delle fasi di calcolo. Cliccando sui pulsanti [**Aggiungi**] o [**Inserisci**] vengono rispettivamente aggiunte o inserite fasi di calcolo. Il pulsante [**Elimina**] elimina la fase di calcolo selezionata.

Il pulsante […] fornisce ulteriori informazioni sulla fase selezionata.

3.5 Elenco acciai

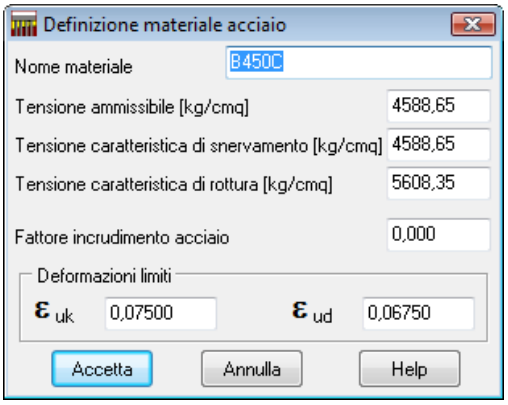
Nella finestra viene riportato l'elenco degli acciai definiti.

Cliccando sui pulsanti [**Aggiungi**] o [**Modifica**] viene aperta la finestra **Definizione materiale acciaio** che consente, rispettivamente, l'aggiunta o la modifica di acciai.

3.5.1 Definizione materiale acciaio

La finestra viene visualizzata quando si clicca sui pulsanti [**Aggiungi**] o [**Modifica**] presenti nella finestra **Elenco acciai** del menu Dati.

I dati da inserire sono riportati di seguito:



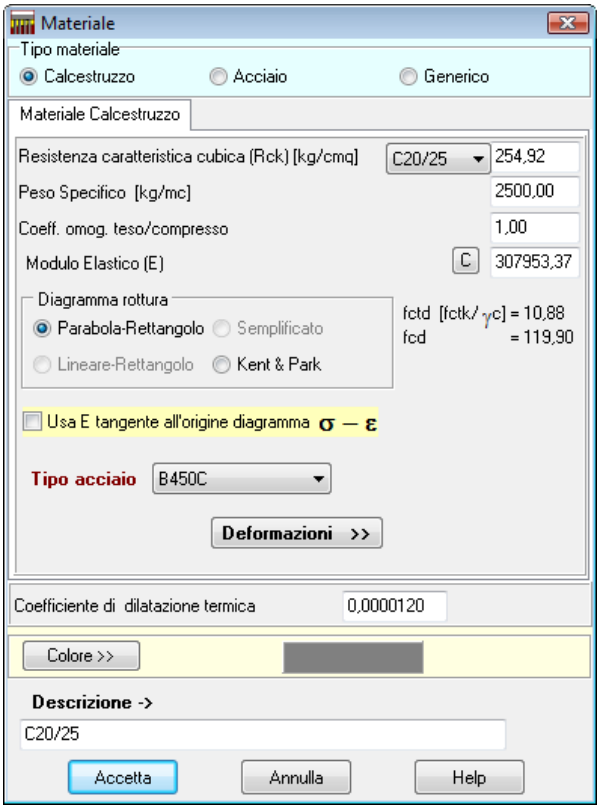
- **Nome materiale**, identificativo del materiale acciaio;
- **Tensione ammissibile**, espressa in [P1];
- **Tensione caratteristica di snervamento**, espressa in [P1];
- **Tensione caratteristica di rottura**, espressa in [P1];
- **Fattore di incrudimento dell'acciaio**;
- **Deformazioni ultima caratteristica** ε_{uk}
- **Deformazioni ultima di progetto** ε_{ud}

3.6 Elenco Materiali

Nella finestra viene riportato l'elenco dei materiali definiti. Cliccando sui pulsanti [**Aggiungi**] o [**Modifica**] viene aperta la finestra Materiale che consente, rispettivamente, l'aggiunta o la modifica di un materiale.

Il pulsante [**Elimina**] consente l'eliminazione del materiale selezionato in tabella.

3.6.1 Definizione materiale



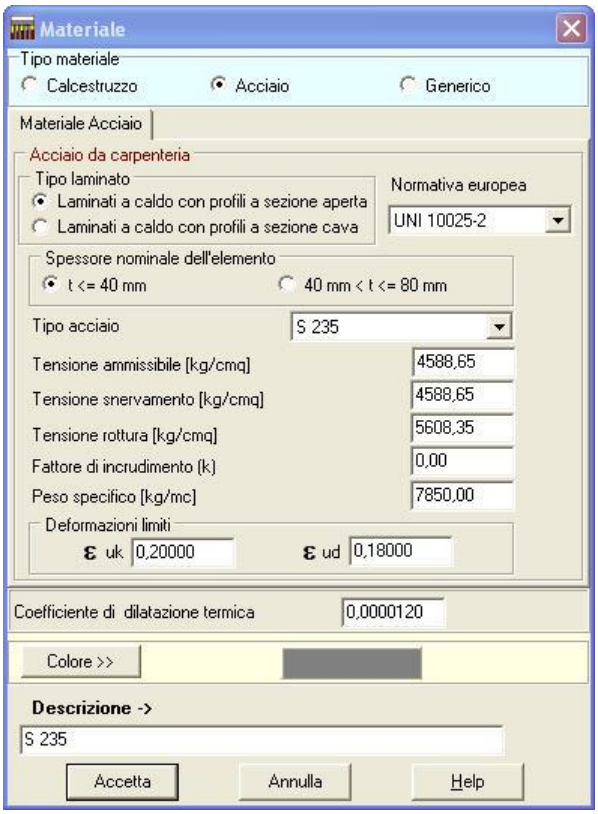
La finestra consente di definire le caratteristiche meccaniche dei materiali impiegati: **Calcestruzzo**, **Acciaio** o **Generico**.

Per il materiale **Calcestruzzo** le grandezze da inserire sono:

- **Rck**, resistenza cubica caratteristica, espressa in [P1];
- **Peso specifico**, espresso in [F1/L1^3];
- **Coeff. di omogeneizzazione cls. teso/ cls. compresso**;
- **Modulo elastico**, espresso in [P1];
- **Diagramma di rottura**, è possibile scegliere tra Parabola-Rettangolo, Lineare-Rettangolo, Semplificato e Kent & Park;
- Opzione **Usa E tangente all'origine diagramma σ - ε**;
- **Tipo acciaio**, tra le tipologie precedentemente definite;
- **Deformazioni** ultime caratteristica e di progetto.

Per il materiale **Acciaio** le grandezze da inserire sono:

- **Tipo di laminato**, è possibile scegliere tra laminati a caldo con profili a sezione aperta (UNI 10025-2, UNI 10025-3, UNI 10025-4 e UNI 10025-5) o a sezione cava (UNI 10210-1 e UNI 10219-1);
- **Normativa Europea**, dipende dal tipo di laminato scelto;
- **Spessore nominale dell'elemento**, a scelta tra elementi a spessore <= 40 mm ed elementi tra 40 e 80 mm;
- **Tipo di acciaio**, che dipende dal tipo di laminato;
- **Tensione ammissibile**, espressa in [P1];
- **Tensione di snervamento**, espressa in [P1];
- **Tensione a rottura**, espressa in [P1];
- **Fattore di incrudimento**;
- **Peso specifico**, espresso in [F1/L1^3];
- **Deformazioni** ultime caratteristica e di progetto.

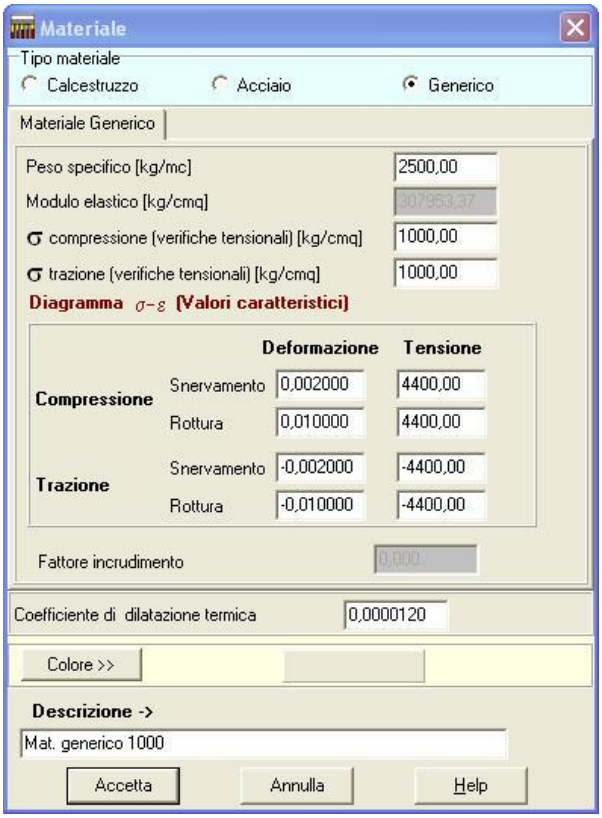


Per il materiale **Generico** le grandezze da inserire sono:

- **Peso specifico**, espresso in [F1/L1^3];
- Modulo elastico, espresso in [P1];
- **Tensione limite a compressione**, espressa in [P1];
- **Tensione limite a trazione**, espressa in [P1];
- **Tensione di snervamento e a rottura per compressione** , espressa in [P1];
- **Tensione di snervamento e a rottura per trazione**, espressa in [P1].

Per tutti i tipi di materiale è possibile inoltre definire:

- **Descrizione**, identificativo del materiale;
- **Coeff. di dilatazione termica**;
- **Colore**.



3.7 Elenco Terreni

Nella finestra viene riportato l'elenco dei terreni definiti. Cliccando sui pulsanti [**Aggiungi**] o [**Modifica**], viene aperta la finestra Terreno che consente, rispettivamente, l'aggiunta o la modifica di una tipologia di terreno.

Il pulsante [**Elimina**] consente l'eliminazione del terreno selezionato in tabella.

3.7.1 Definizione Terreno

Per ogni terreno è possibile definire le seguenti grandezze:

- **Descrizione**, identificatore del terreno;
- **Peso di volume**, naturale del terreno, espresso in [F1/L1^3];
- **Peso di volume saturo**, espresso in [F1/L1^3]; ha significato solo se è presente la falda;
- **Angolo di attrito interno**, espresso in [°];
- **Angolo di attrito terreno-palo**, è l'angolo d'inclinazione della spinta sulla paratia, espresso in [°];
- **Coesione**, espressa in [P1];
- **Adesione**, espressa in [P1].
- **Colore terreno**.

Se si adottano le Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, occorre definire anche i parametri medi e minimi di angolo d'attrito interno, angolo d'attrito terreno-palo, coesione e adesione.

Angolo di attrito e coesione rappresentano rispettivamente angolo d'inclinazione e intercetta della retta dell'inviluppo di rottura (lineare) secondo Coulomb.

Il pulsante [**C**] in corrispondenza dell'angolo di attrito terreno-palo calcola automaticamente i 2/3 dell'angolo di attrito interno del terreno.

Il pulsante [**C**] in corrispondenza dell'adesione calcola automaticamente il 50% della coesione.

Controlli eseguiti dal programma

Il peso di volume del terreno non può essere maggiore del peso di volume saturo.

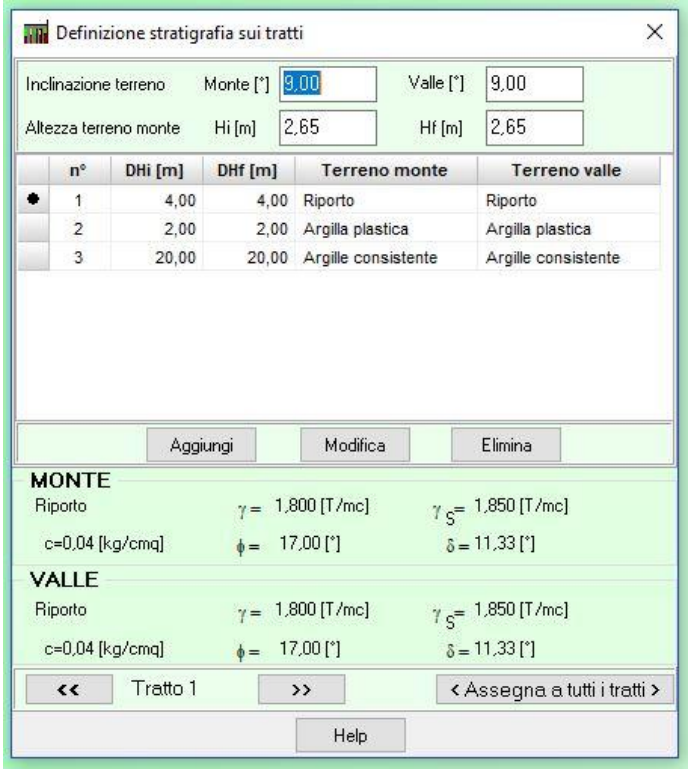
L'angolo di attrito terreno-palo non può essere maggiore dell'angolo di attrito del terreno.

3.8 Definizione Stratigrafia

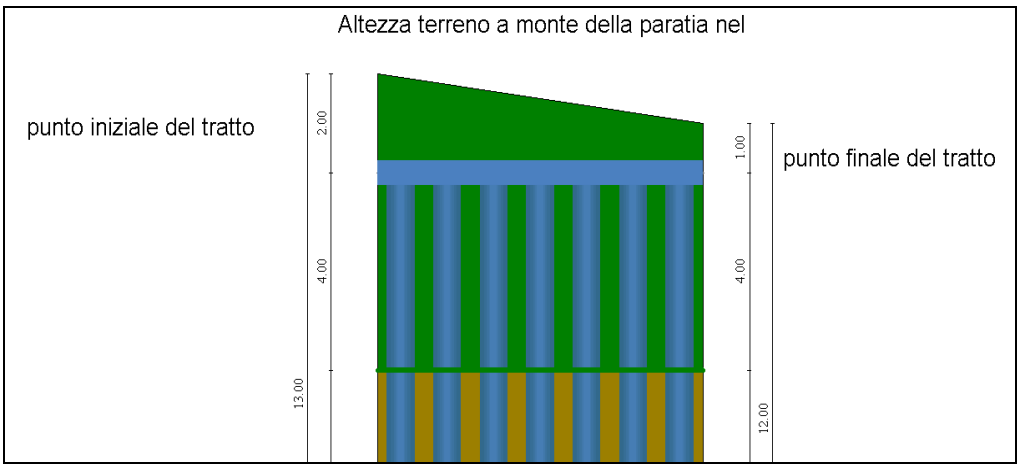
La tabella consente di inserire i dati che caratterizzano la stratigrafia di ogni singolo tratto di paratia.

- **Inclinazione terreno** a monte e a valle del profilo terreno, espressi in [°];
- **Altezza terreno** a monte della paratia nel punto iniziale e finale del tratto, espresse in [L1].

Nella parte centrale della finestra viene riportata una tabella, di sola visualizzazione, contenente l'elenco degli strati evidenziato lo spessore (potenza) degli strati nel punto iniziale (DHi) e finale



(DHf)v del tratto e specificato il terreno di monte e di valle associato allo strato.



Se il calcolo viene eseguito per fasi, nella parte superiore sono presenti 2 pulsanti [**<<**], [**>>**] che consentono di scorrere le fasi di calcolo. Nell'analisi per fasi costruttive lo spessore di ogni strato è fisso da fase a fase, ma è possibile modificare le proprietà del terreno da una fase all'altra, in modo differenziato a valle ed a monte. Tale possibilità risulta utile per modellare ad esempio interventi di consolidamento sul terreno (*Jet-Grouting*) in una fase specifica. Da una fase all'altra si possono inoltre modificare l'altezza e l'inclinazione del terreno a monte e a valle.

Cliccando sui pulsanti [**Aggiungi**] o [**Modifica**] viene aperta la finestra Definizione strato che

consente, rispettivamente, l'aggiunta o la modifica di uno strato di terreno.
Nella parte bassa della finestra sono riportati due pannelli dove vengono riportate le caratteristiche dei terreni dello strato selezionato, a monte e a valle. Con il doppio click sui pannelli è possibile accedere alla finestra Definizione terreno per cambiare eventualmente le caratteristiche del terreno assegnato allo strato.
Sono presenti, inoltre, 2 pulsanti [**<<**], [**>>**] per scorrere i diversi tratti di paratia.

3.8.1 Definizione Strato

La tabella consente di inserire i dati che caratterizzano ogni singolo strato.

- **Spessore dello strato** nel punto iniziale (DHi) e finale (DHf) del tratto, espressi in [L1];
- **Terreno di monte e di valle** associato allo strato;
- **Coeff. di Spinta Attiva (Ka), Spinta Passiva (Kp) e Spinta a Riposo (K0)**, se tali coeff. sono noti e vogliono essere definiti dall'Utente. Se nel pannello opzionale in basso viene lasciata l'opzione Coeff. Di spinta Da calcolo il programma calcola automaticamente, i coefficienti di spinta utilizzando le formule presenti in letteratura;
- **Costante di Winkler** di monte e di valle, espresse in [kg/cmq/cm];
- **Rapporto rigidezza normale / tangenziale.**
  E' un coefficiente necessario per impostare la rigidezza delle molle tangenziali sui pali, a partire dalla rigidezza kw che è invece applicata sulle molle che agiscono nella direzione normale principale.

3.9 Elenco Tipologie Tiranti

Nella finestra viene riportato l'elenco delle tipologie di tiranti definiti.
Cliccando sui pulsanti [**Aggiungi**] o [**Modifica**] viene aperta la finestra Tipologia Terreno che consente, rispettivamente, l'aggiunta o la modifica di una tipologia tirante. Il pulsante [**Elimina**] consente l'eliminazione della tipologia selezionata in tabella.

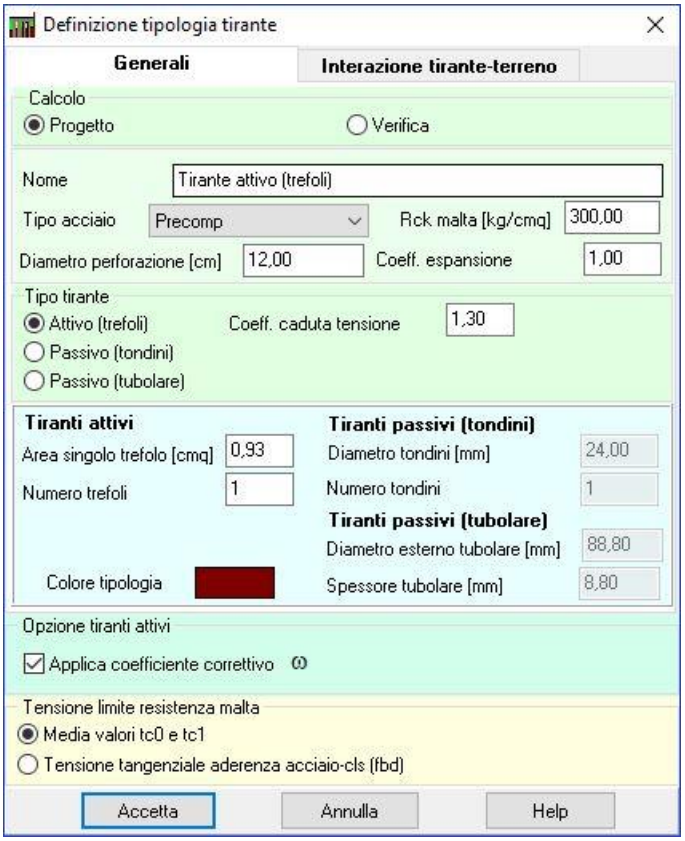
3.9.1 Definizione Tipologia Tirante

La finestra di definizione della tipologia di tiranti contiene 2 schede: **Generali** e **Interazione tirante-terreno**.

Nella scheda **Generali** vengono richiesti i dati che caratterizzano la geometria e la tipologia del tirante.

La parte di dati che è comune ai vari tipi consente di definire:

- **Tipo calcolo**: Progetto o Verifica della fondazione del tirante;
- **Tipo acciaio**, definito tramite la finestra Elenco acciai;
- **Rck malta**, resistenza cubica caratteristica della malta del tirante, espressa in [P1];
- **Diametro perforazione**, espresso in [L2];
- **Coeff. di espansione**, questo coefficiente è legato sia alla tecnologia con cui viene realizzato il tirante sia al tipo di terreno in cui si opera, e tiene conto dell'eventuale sbulbamento della superficie laterale del tirante quando viene iniettata la malta in pressione. La superficie laterale di calcolo del tirante viene espressa come Sad = Cesp x Sn, dove Cesp è il coefficiente di espansione laterale della superficie e Sn è la superficie laterale nominale del tirante Sn = π D L.



- **Tipo tirante**, è possibile scegliere tra tiranti attivi e passivi, e (nell'ambito dei tiranti passivi) tra armatura a tondini e armatura a tubolare.

Per il tipo **tiranti attivi armati con trefoli** le altre grandezze da inserire sono:

- **Area singolo trefolo**, espresso in [L2^2];
- **Numero trefoli**;
- **Coeff. di caduta di tensione**, rappresenta il rapporto tra lo sforzo di tiro N0 che viene impresso al tirante e lo sforzo N che il tirante trasmette in condizioni di esercizio e tiene conto delle cadute di tensione.

β = N0 / N. Il coefficiente β è legato alla tecnologia di realizzazione del tirante e, in genere, viene fornito dal produttore in funzione del tipo di apparecchio di ancoraggio e del tipo di acciaio adoperato. Il valore da assegnare a β può variare tra 1.20 e 1.50. Il programma determina la lunghezza di ancoraggio del tirante usando il valore dello sforzo N0. Viceversa per la verifica della paratia viene utilizzato il valore più gravoso tra N0 ed N in funzione della particolare condizione di carico;

Per il tipo **tiranti passivi armati con tondini**, le altre grandezze da inserire sono:

- **Diametro tondini**, espresso in [L3];
- **Numero tondini**.

Per il tipo **tiranti passivi armati con tubolare**, le altre grandezze da inserire sono:

- **Diametro esterno del tubolare**, espresso in [L3];
- **Spessore del tubolare**, espresso in [L3].

Infine, è possibile definire il colore da associare alla tipologia di tiranti.

Applica coefficiente ϖ, coefficiente correttivo dipendente dal numero di trefoli, per il quale viene assunta l' espressione ϖ=1-0.075*[ntrefoli-1].

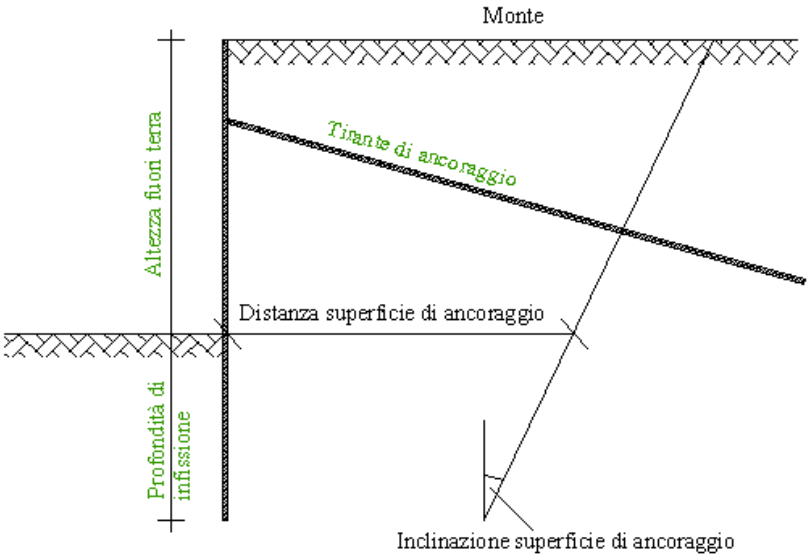
Tensione limite resistenza malta, si può indicare al programma il valore limite di tensione tangenziale da attribuire alla malta; si può scegliere tra il valore ottenuto come media tra tc0 e tc1, e il valore di fbd proposto dalle NTC 2008 (par.4.1.2.1.1.4).

Nella scheda **Interazione tirante-terreno** vengono richiesti i dati che caratterizzano l'interazione. In questa scheda si definiscono tutte le grandezze per progettare/verificare i tiranti inseriti.

- **Parametri interazione**, in questa sezione si indica al programma quali parametri di interazione utilizzare nel calcolo dei tiranti. E' possibile scegliere tra: **Da strato secondo aliquote** e **Per singolo tirante.** Se si sceglie la prima opzione, bisogna definire l'aliquota di angolo di attrito (da 0 a 1) e l'**Aliquota di coesione** (da 0 a 1), mentre, se si sceglie la seconda opzione, bisogna definire **Angolo di attrito tirante-terreno** in [°] e **Aderenza tirante-terreno** in [P1]. Secondo le procedure previste dalle Norme Tecniche 2008 è necessario specificare i parametri medi e minimi ricavati dalla campagna di prove nelle diverse verticali indagate.

- **Coefficiente di spinta**, in questa sezione si indica al programma il coefficiente di spinta Ks da utilizzare per il calcolo della lunghezza efficace (di fondazione) del tirante. La scelta può ricadere su: coefficiente di spinta attiva, coefficiente di spinta a riposo, coefficiente di spinta passiva e coefficiente di spinta definito dall'Utente;
- **Superficie di ancoraggio**, in questa sezione si indica al programma la superficie a partire dalla quale i tiranti vengono considerati ancorati. Tale superficie può essere una delle seguenti:

- Angolo di attrito: si considera il tirante ancorato a partire dal punto in cui interseca la superficie individuata dal piano passante per il punto della linea di fondo scavo ed inclinata dell'angolo di attrito rispetto all'orizzontale. Nel caso siano presenti più strati di terreno, con diversi angoli di attrito, viene calcolato un angolo di attrito come media pesata in funzione dello spessore dei singoli strati.
- Angolo di rottura: si considera il tirante ancorato a partire dal punto in cui interseca la superficie individuata dal piano passante per il punto della linea di fondo scavo ed inclinata dell'angolo di rottura rispetto all'orizzontale. Nel caso siano presenti più strati di terreno, con diversi angoli di rottura, viene calcolato un angolo di rottura come media pesata in funzione dello spessore dei singoli strati.
- Superficie imposta: si possono inserire negli ultimi due campi di input presenti nella finestra, i valori della distanza **Dist.,** espressa in [**L1**], e dell'**Inclinazione** della superficie, espressa in [°]. Si considera il tirante ancorato a partire dal punto in cui interseca la superficie individuata dal piano passante per il punto distante dalla testa della paratia della distanza inserita nel relativo campo ed inclinata in verso orario della quantità relativa all'angolo di inclinazione;



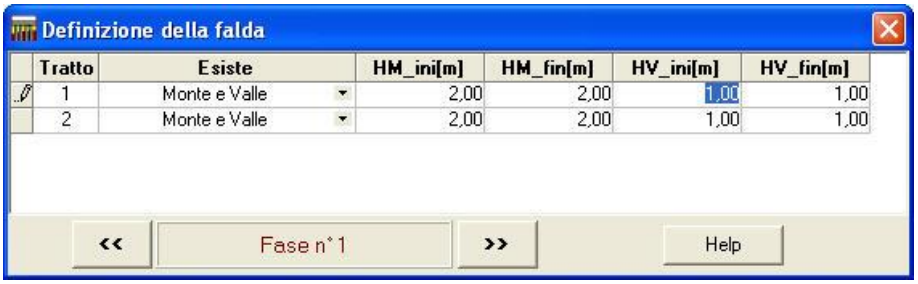
I valori relativi all'angolo di attrito tirante-terreno e all'aderenza tirante-terreno non possono essere entrambi nulli (in tal caso non sarebbe possibile equilibrare lo sforzo del tirante). Nel caso vengano inseriti entrambi nulli, il programma avvisa con opportuno messaggio di errore all'uscita dalla finestra.

3.10 Definizione Falda

In questa finestra per ogni tratto della paratia è possibile definire:

- l'esistenza della falda. E' possibile scegliere tra **Assente**, **Solo monte**, **Solo valle** e **Monte e valle**;
- quota della falda di monte nel punto iniziale del tratto H_{M_ini}, espressa in [L1];
- quota della falda di monte nel punto finale del tratto H_{M_fin}, espressa in [L1];
- quota della falda di valle nel punto iniziale del tratto H_{V_ini}, espressa in [L1];
- quota della falda di valle nel punto finale del tratto H_{V_fin}, espressa in [L1].

Le quote sono espresse nel sistema di riferimento globale.



Tratto	Esiste	HM_ini[m]	HM_fin[m]	HV_ini[m]	HV_fin[m]
1	Monte e Valle	2,00	2,00	1,00	1,00
2	Monte e Valle	2,00	2,00	1,00	1,00

Al momento dell'uscita dal campo di edit, i dati vengono automaticamente accettati, annullando l'eventuale analisi ed aggiornando la grafica.

Nel calcolo per fasi, la finestra di definizione della falda permette di modificare fase per fase la presenza della falda stessa, ed eventualmente la sua quota globale.

3.11 Verifiche Idrauliche

In questa finestra è possibile definire l'influenza della falda sul calcolo della spinta sulla paratia. La scelta può essere:

Regime idrostatico. In questa ipotesi sia la falda di monte che quella di valle vengono considerate statiche, la pressione in un punto a quota h al di sotto della linea freatica sarà dunque pari a □w · h;

Regime idrodinamico. In questa ipotesi la falda viene considerata idrodinamica, la pressione in un punto al piede della paratia, se calcolata da monte, risulterà pari a $\gamma w \cdot h (1 - i)$ oppure, se calcolata da valle risulterà pari a $\gamma w \cdot h (1 + i)$. Il valore della pressione al piede della paratia in regime idrodinamico coincide sia se calcolata da monte che da valle; i rappresenta il gradiente idraulico nell'ipotesi di filtrazione monodimensionale.

Se si imposta il regime idrodinamico è possibile attivare le verifiche a Sifonamento e a Sollevamento del fondo scavo definendo i rispettivi coefficienti di sicurezza.

3.12 Unità di misura

Attraverso questa finestra è possibile definire le unità di misura con le quali si vogliono esprimere le grandezze riportate nel programma. In particolare sono messe a disposizione dell'Utente le seguenti unità:

Lunghezze

- **L1**, prima unità di misura per le lunghezze; il valore di default è metri;
- **L2**, seconda unità di misura per le lunghezze; il valore di default è centimetri;
- **L3**, terza unità di misura per le lunghezze; il valore di default è millimetri.

Forze e Angoli

- **F1**, prima unità di misura per le forze; il valore di default è Kg;
- **F2**, seconda unità di misura per le forze; il valore di default è tonnellate
- **A**, unità di misura per gli angoli; il valore di default è gradi.

Pressioni e Tensioni

- **P1**, prima unità di misura per le pressioni; il valore di default è Kg/cmq;
- **P2**, seconda unità di misura per le pressioni; il valore di default è Kg/mq.

Grandezze derivate

F1 × L1, Momento

F1 / L1^3, Peso dell'unità di volume

P1 / L2, Costante di Winkler

L2^2, Area

3.13 Info Struttura

In questa tabella vengono riepilogati alcuni dati salienti per ogni tratto di paratia. Sono presenti le seguenti colonne:

Tratto N°: Identificativo del tratto di paratia
Lunghezza: Lunghezza in pianta espressa in [L1]
Pali: Numero di pali presenti sul tratto
Sezione pali: Identificativo della sezione prevalente sui pali del tratto
Cordoli: Numero di cordoli appartenenti al tratto di paratia
Tiranti: Numero di tiranti esistenti sul tratto corrente
Tipo Tiranti: Tipologia prevalente dei tiranti presenti sul tratto
Puntoni: Numero di puntoni esistenti sul tratto corrente
Sez. puntoni: Tipologia prevalente della sezione dei puntoni presenti sul tratto

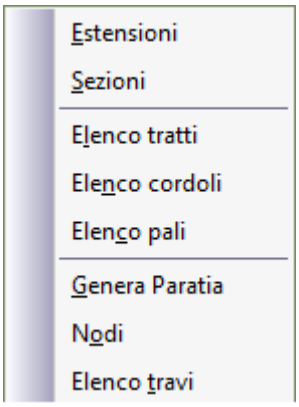
Riepilogo degli elementi presenti sui tratti

Tratto N°	Lunghezza[m]	Pali	Sezione pali	Cordoli	Tiranti	Tipo Tiranti	Puntoni	Sezione Puntoni
1	4,47	4	Circolare D=50	1	0	--	0	--
2	10,00	10	Circolare D=50	2	2	Tirante attivo (trefoli)	0	--
Totale	14,47	14		3	2		0	

Chiudi

Nella riga in basso è presente un riepilogo totale delle quantità presenti sui tratti.

4 Menu Geometria



Dalla voce di menu Geometria si può accedere alle seguenti voci di menu:

- **Estensioni**, consente di definire l'ingombro della struttura paratia;
- **Elenco sezioni**, consente di definire l'elenco delle sezioni da usare nella struttura;
- **Elenco tratti**, consente di definire l'elenco dei tratti della paratia. L'insieme dei tratti costituisce la struttura tridimensionale della paratia;
- **Elenco cordoli**, consente di definire l'elenco dei cordoli ed eventuali elementi di contrasto che incidono su di essi (tiranti, puntoni e vincoli);
- **Elenco pali**, consente di accedere all'elenco dei pali della paratia;
- **Genera Paratia**, apre la finestra Generazione paratia che consente la generazione automatica di una paratia chiusa o ad arco;
- **Nodi**, visualizza la finestra Elenco nodi. Nella tabella è possibile aggiungere, modificare ed eliminare i nodi del modello strutturale;
- **Elenco travi**, visualizza la finestra Elenco travi. Nella tabella è possibile aggiungere, modificare ed eliminare le aste che compongono il modello strutturale.

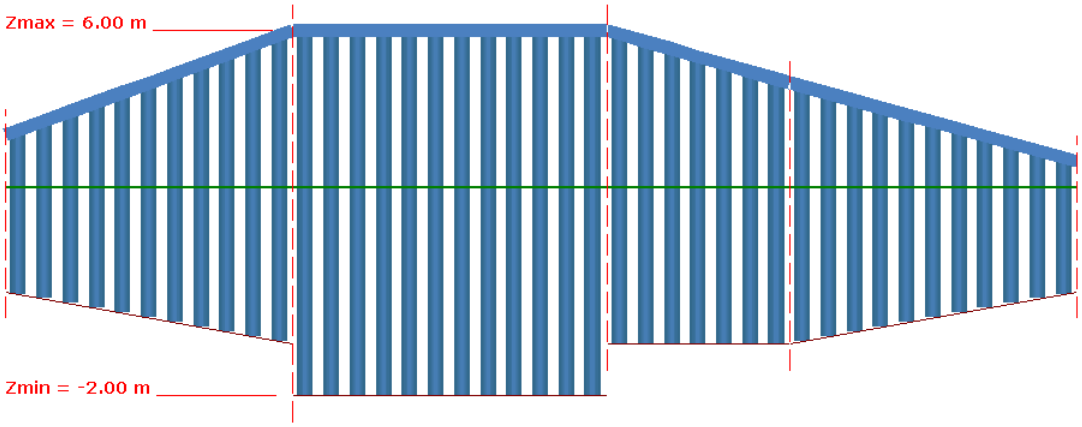
4.1 Estensioni

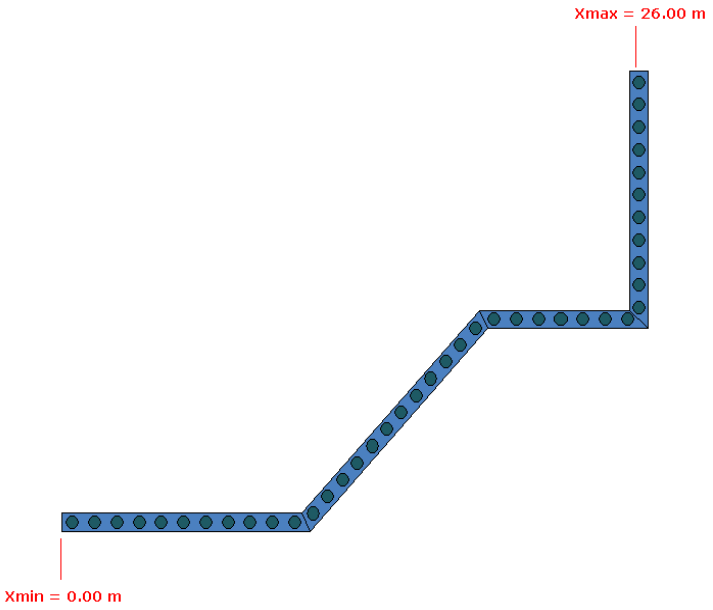
I dati da definire in questa finestra permettono di impostare l'ingombro della struttura:

Xmin e Xmax, ascissa in pianta minima e massima, espresse in [L1];

Ymin e Ymax, ordinata in pianta minima e massima, espresse in [L1];

Zmin e Zmax, quota minima e massima (elevazione della struttura), espresse in [L1].





4.2 Elenco sezioni

Nella finestra viene riportato l'elenco delle sezioni definite. Nella tabella di visualizzazione sono riportati:

- **Descrizione** della sezione
- **Area** espressa in [L2^2]
- **Inerzia Iy** espressa in [L2^4]
- **Inerzia Iz** espressa in [L2^4]
- **colore** associato alla sezione.

Cliccando sui pulsanti [**Aggiungi**] o [**Modifica**] viene aperta la finestra Definizione sezioni/Modifica sezione con la quale è possibile aggiungere o modificare delle sezioni. Il pulsante [**Elimina**] elimina la sezione selezionata in elenco.

N°	Descrizione	Area [cmq]	Inerzia Iy [cm^4]	Inerzia Iz [cm^4]	colore
1	Rettangolare 80x50	4000,00	2133333	833333	
2	Circolare D=50,0	1963,50	306796	306796	

4.3 Definizione sezione

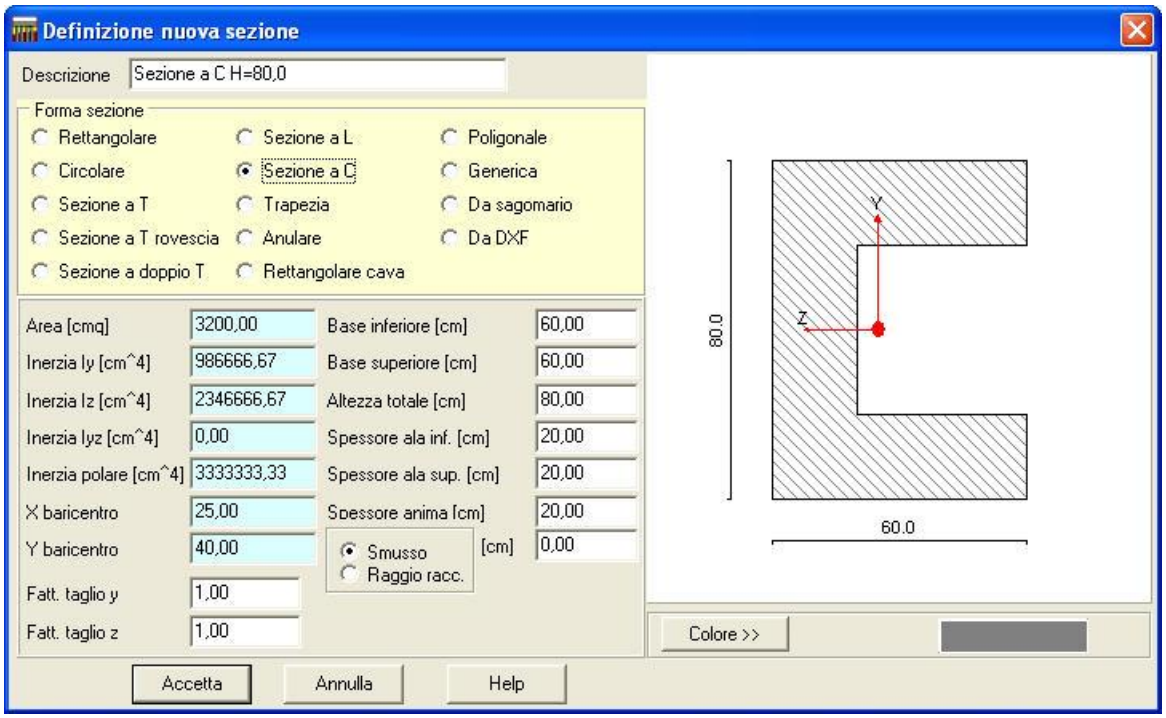
I dati da impostare per definire una sezione sono:

Descrizione.,come identificativo della sezione;

Forma sezione , è possibile scegliere tra:

- Rettangolare;

- Circolare;
- Sezione a T;
- Sezione a T rovescia;
- Sezione a doppio T;
- Sezione a L;
- Sezione a C;
- Trapezia;
- Anulare;
- Rettangolare cava;
- Poligonale, per poligoni regolari;
- Generica;
- Da sagomario. Viene attivato il pulsante [IMP] che permette l'importazione di una sezione da un archivio di profilati comuni tramite la finestra Profilati in acciaio;
- Da DXF. Viene attivato il pulsante [IMP] che permette l'importazione di una sezione da un file DXF. Dopo aver scelto il file, tramite la finestra di dialogo Importazione da file DXF, viene visualizzata la finestra Importa sezione.

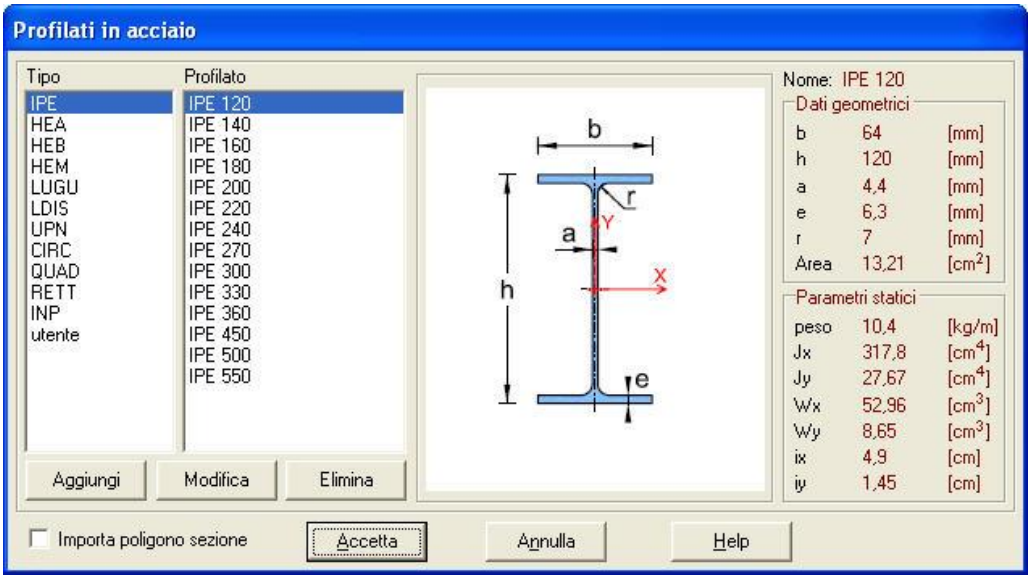


Geometria, dipende dalla forma selezionata (base e altezza per la sezione di forma rettangolare, diametro per la sezione di forma circolare, etc.). Per le sezioni a T, doppio T, L e C è inoltre possibile definire le caratteristiche di eventuali smussature nelle zone di spigolo. I Fattori di Taglio y e z devono essere sempre definiti dall'Utente. Inoltre in questo pannello sono riportate delle grandezze derivate (che vengono calcolate automaticamente dal programma) come le inerzie, il modulo di resistenza, la posizione del baricentro, ect.

Colore, consente di assegnare un colore alla sezione definita per identificarla nello schema geometrico.

4.4 Profilati in acciaio

I tipi di profilati che possono essere importati sono: IPE, HEA, HEB, HEM, LUGU, LDIS, UPN, CIRC, QUAD, RETT, INP, e da Utente.



Dopo aver scelto la tipologia nell'apposito elenco Tipo, occorre scegliere il profilato sull'elenco a destra e premere sul pulsante [**Accetta**].

Nella finestra sono altresì presenti i pulsanti [**Aggiungi**], [**Modifica**], che permettono, rispettivamente, di definire un nuovo profilato o modificarne uno tramite la finestra Profilato.

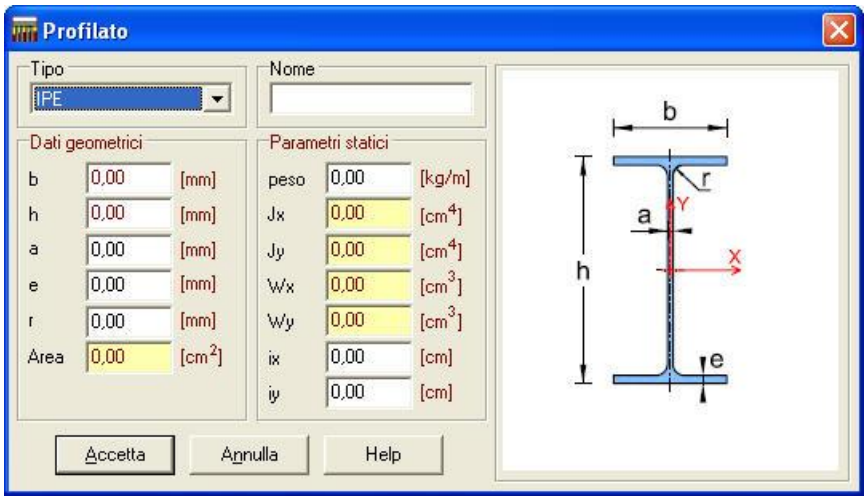
Il pulsante [**Elimina**] elimina il profilato selezionato nell'elenco Profilato.

Infine, il check Importa poligono sezione consente di importare, insieme al profilato scelto, la geometria completa della sezione per le verifiche.

4.4.1 Profilato

Se si definisce un nuovo profilato, occorre scegliere il **Tipo**. Per definire il profilato è necessario definire:

- **Nome**, come identificativo del profilato;
- **Dati geometrici** (base, altezza, spessori, etc.);
- **Parametri statici** (Peso in Kg/m, inerzie, etc.).



4.4.2 Importazione da DXF

La finestra compare premendo il pulsante [**IMP**] della finestra *Definizione sezione*, quando si sceglie di importare una sezione da DXF, e si apre il file DXF tramite la finestra di dialogo **Importazione da file DXF**.

In tale finestra è necessario definire la **Scala di importazione** e il **layer** che contiene la geometria della sezione.

4.5 Elenco tratti di paratia

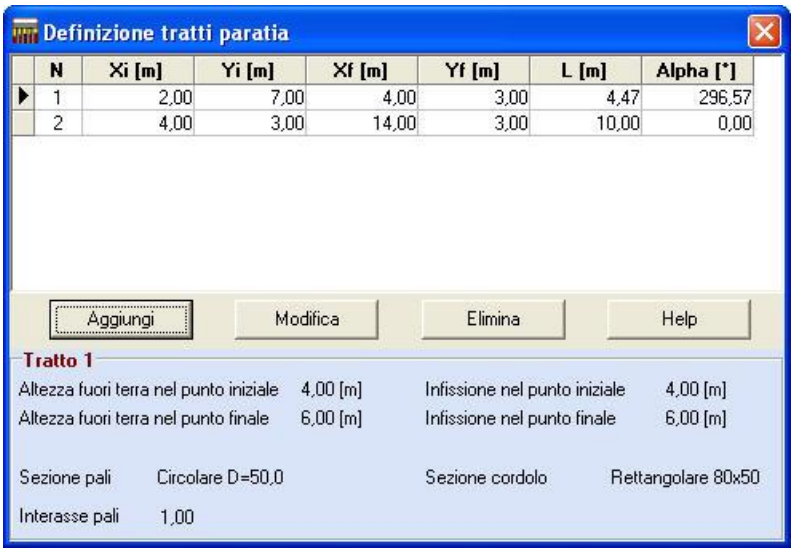
Nella tabella di visualizzazione viene riportato l'elenco di tutti i tratti di paratia definiti. Per ciascun tratto sono indicati le coordinate iniziali (**Xi**, **Yi**) e finali (**Xf**, **Yf**) in pianta e la lunghezza espresse in [**L1**], oltre all'inclinazione del tratto, espressa in [°], rispetto all'orizzontale in senso antiorario.

Nella parte in basso sono riportate informazioni sul tratto selezionato in tabella come Altezza fuori terra ed infissione iniziale e finale espresse in [L1], la sezione dei pali, del cordolo e l'interasse tra i pali.

I pulsanti [**Aggiungi**] e [**Modifica**] aprono la finestra **Definizione tratto paratia**, che permette, rispettivamente, di aggiungere o modificare un tratto di paratia.

Il pulsante [**Elimina**] elimina il tratto di paratia selezionato in tabella.

La definizione e la modifica di un tratto sono descritte in seguito, nella *Fase Paratia* dell'Input Grafico.



4.6 Elenco cordoli

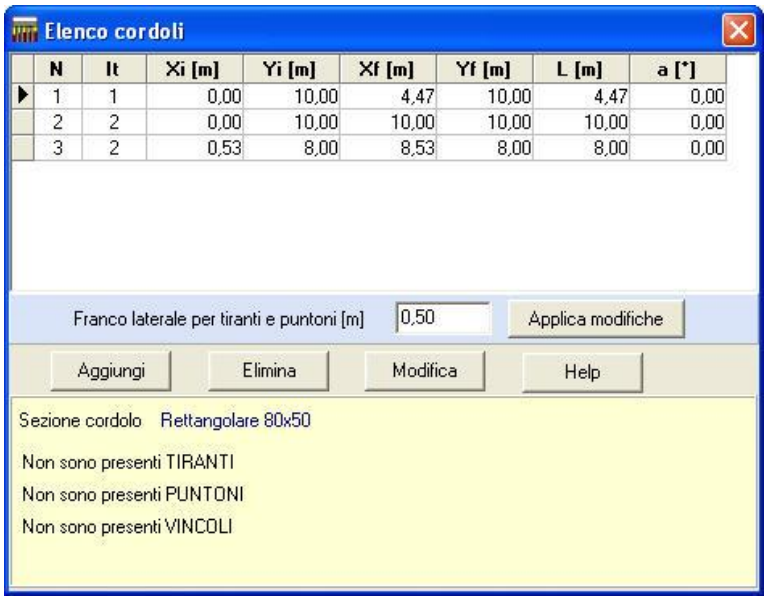
Nella finestra viene riportato:

l'**Elenco di cordoli** definiti con le principali caratteristiche geometriche (punto iniziale e finale, lunghezza e inclinazione rispetto all'orizzontale); le lunghezze sono espresse in [L1].

il **Franco laterale per il posizionamento di tiranti e puntoni**, espresso in [L1].

I pulsanti [**Aggiungi**] e [**Modifica**] aprono la finestra Definizione cordolo che permette di aggiungere o modificare un cordolo.

Il pulsante [**Elimina**] elimina il cordolo selezionato in tabella. I cordoli che possono essere eliminati sono solo quelli intermedi. Da questa tabella non possono invece essere eliminati i cordoli di testa.



Cliccando sul pulsante [**Applica modifiche**], la modifica apportata al valore del franco laterale viene applicata a tutti i cordoli definiti, ed eventuali tiranti o puntoni presenti sui cordoli, se non rispettano la condizione sul franco, vengono automaticamente rimossi.

Il pannello giallo in basso riporta alcuni dati di riepilogo sul cordolo correntemente selezionato in tabella. Viene riportata la sezione della trave-cordolo, il numero di tiranti e di puntoni eventualmente presenti. Viene inoltre riportato se si tratta di un cordolo vincolato o libero negli spostamenti.

La definizione di un nuovo cordolo e la modifica degli stessi viene descritta in seguito, nella Fase Cordoli dell'Input Grafico.

4.7 Elenco pali

Nella finestra viene riportato l'elenco di pali definiti con le principali caratteristiche geometriche:

- **Indice del tratto**, al quale appartiene il palo;
- **Posizione del palo (X e Y)**. Dipendono dal Riferimento pali scelto: Globale o Locale al tratto; le lunghezze sono espresse in [L1];
- **Inclinazione (Alfa)** del palo rispetto alla verticale, espressa in [°], positiva verso monte;
- **Sezione del palo**, a scelta tra quelle definite tramite la finestra Elenco sezioni;
- **Materiale del palo**, a scelta tra quelli definiti tramite la finestra Elenco materiali;
- **Tipo**, che può essere STD (standard, palo interno), ANG (palo d'angolo), LAT (laterale, palo di estremità) e ISO (palo isolato);
- **Int.**, è l'interasse di spinta attiva che compete al palo. Di default è pari all'interasse, ma l'Utente può intervenire tramite delle opzioni per modificare tale dato. Inoltre nel caso di doppia fila di pali, quando un palo a valle è completamente schermato da altri pali a monte, tale valore sarà nullo. L'interasse di spinta è espresso in [L1].

N°	Tratto	X [m]	Y [m]	Alfa [°]	Sezione	Materiale	Tipo	Int. [m]
1	1	0,50	0,00	0,00	Circolare D=50,0	C20/25	LAT	1,00
2	1	1,50	0,00	0,00	Circolare D=50,0	C20/25	STD	1,00
3	1	2,50	0,00	0,00	Circolare D=50,0	C20/25	STD	1,00
4	1	3,50	0,00	0,00	Circolare D=50,0	C20/25	ANG	1,47
5	2	0,50	0,00	0,00	Circolare D=50,0	C20/25	ANG	1,00
6	2	1,50	0,00	0,00	Circolare D=50,0	C20/25	STD	1,00
7	2	2,50	0,00	0,00	Circolare D=50,0	C20/25	STD	1,00
8	2	3,50	0,00	0,00	Circolare D=50,0	C20/25	STD	1,00
9	2	4,50	0,00	0,00	Circolare D=50,0	C20/25	STD	1,00
10	2	5,50	0,00	0,00	Circolare D=50,0	C20/25	STD	1,00

I pulsanti [**Aggiungi**] e [**Modifica**] permettono, rispettivamente, l'aggiunta e la modifica di pali tramite la finestra Definizione palo, descritta nella Fase Pali dell'Input Grafico.

Il pulsante [**Elimina**] elimina il palo selezionato in elenco. Non è possibile eliminare tutti i pali di un tratto di paratia.

4.8 Genera paratia

Viene richiamata la finestra di generazione automatica per paratie chiuse e per paratie ad arco. La finestra è descritta in seguito nella Fase paratia dell'Input Grafico.

4.9 Elenco Tiranti / Puntoni

Nella finestra sono presenti due schede con tutti i tiranti ed i puntoni presenti sui diversi cordoli della paratia.

Nell'**elenco tiranti** vengono visualizzate le seguenti caratteristiche:

- **N°** indice del tirante;
- **Cordolo** indice del cordolo su cui incide il tirante;
- **X ascissa locale lungo il cordolo**, espressa in [L1];
- **Lt** per i tiranti in modalità di verifica è la lunghezza totale del tirante, espressa in [L1];
- **Lf** per i tiranti in modalità di verifica è la lunghezza di fondazione del tirante, espressa in [L1];
- **Inc**. [°] è l'inclinazione rispetto all'orizzontale, espressa in gradi;
- **Rot. [°]** è l'angolo di rotazione in pianta rispetto al piano verticale ortogonale al tratto, espressa in gradi;
- **Tipologia**, indica la tipologia del tirante;
- **Tiro**, per i tiranti attivi è il tiro iniziale, espresso in [F1].

N°	Cordolo	X[m]	Lt [m]	Lf [m]	Inc. [°]	Rot. [°]	Tipologia	Tiro[kg]
1	2	3,50	5,00	0,00	0,00	0,00	Tirante attivo (trefoli)	10000,00
2	2	5,50	5,00	0,00	0,00	0,00	Tirante attivo (trefoli)	10000,00
3	2	7,50	5,00	0,00	0,00	0,00	Tirante attivo (trefoli)	10000,00
4	2	9,50	5,00	0,00	0,00	0,00	Tirante attivo (trefoli)	10000,00

Nell'elenco puntoni vengono visualizzate le seguenti caratteristiche:

- **N°** indice del puntone;
- **Cordolo** indice del cordolo su cui incide il puntone;
- **X** ascissa locale lungo il cordolo, espressa in [L1];
- **L** lunghezza del puntone, espressa in [L1];
- **Inc. [°]** è l'inclinazione rispetto all'orizzontale, espressa in gradi;
- **Rot. [°]** è l'angolo di rotazione in pianta rispetto al piano verticale ortogonale al tratto, espressa in gradi;
- **Sezione**, indica la sezione del puntone;
- **Materiale** indica il materiale del puntone.

N°	Cordolo	X [m]	L[m]	Inc. [°]	Rot. [°]	Sezione	Materiale
1	3	2,00	5,00	0,00	0,00	Rettangolare 80x50	C20/25
2	3	5,00	5,00	0,00	0,00	Rettangolare 80x50	C20/25

I pulsanti [**Aggiungi**] e [**Modifica**] consentono, rispettivamente, l'aggiunta e la modifica di un tirante (puntone) tramite la finestra di Definizione Tirante.

Il pulsante [**Elimina**] elimina il tirante [puntone] selezionato in tabella.

Il pulsante [**Attiva/Disattiva**] consente di modificare l'esistenza dei tiranti [puntoni] selezionati all'interno della fase corrente, visualizzata nel pannello.

Nel caso di analisi per Fasi i pulsanti [**<<**][**>>**] consentono di scorrere le diverse fasi.

4.9.1 Definizione tirante

La finestra consente l'inserimento o la modifica di un singolo tirante. I campi da definire prevedono:

- **Indice cordolo**, è l'indice del cordolo su cui insiste il tirante;
- **Ascissa sul cordolo** è l'ascissa locale sul cordolo espressa in [L1];
- **Lunghezza totale**, è editabile se la tipologia scelta prevede la verifica del tirante, e deve essere espressa in [L1];
- **Lunghezza fondazione**, è editabile se la tipologia scelta prevede la verifica del tirante, e deve essere espressa in [L1];
- **Inclinazione**, indica l'inclinazione del tirante rispetto al piano orizzontale, espressa in [°].
- Rotazione è l'angolo di rotazione in pianta rispetto al piano verticale ortogonale al tratto, espressa in gradi;
- **Tipo tiranti**, indica la tipologia del tirante;
- **Tiro**, per i tiranti attivi è il tiro iniziale, espresso in [F1].

4.9.2 Definizione puntone

La finestra consente l'inserimento o la modifica di un singolo puntone. I campi da definire prevedono:

- **Materiale**, indica il materiale del puntone;
- **Sezione**, indica la sezione del puntone;
- **Indice cordolo** è l'indice del cordolo su cui incide il puntone;
- **Ascissa sul cordolo** è l'ascissa locale lungo il cordolo, espressa in [L1];
- **Lunghezza** del puntone, espressa in [L1];
- **Inclinazione** è l'inclinazione rispetto all'orizzontale, espressa in gradi;
- **Rotazione** è l'angolo di rotazione in pianta rispetto al piano verticale ortogonale al tratto, espressa in gradi;

4.10 Elenco Nodi

Nella finestra è presente una tabella con tutti i nodi della paratia. Per ogni nodo vengono visualizzate le seguenti caratteristiche:

- Coordinate assolute (**X**, **Y**, **Z**), espresse in [L1];
- Gradi di libertà traslazionali (**U**, **V**, **W**). Se 0 è LIBERO, se 1 è BLOCCATO;
- Gradi di libertà rotazionali (**PhiX**, **PhiY**, **PhiZ**) . Se 0 è LIBERO, se 1 è BLOCCATO;
- **N° di carichi**, definiti sul nodo.

N°	X[m]	Y[m]	Z[m]	U	V	W	PhiX	PhiY	PhiZ	n° carichi
1	2,00	7,00	10,00	0	0	0	0	0	0	0
2	4,00	3,00	10,00	0	0	0	0	0	0	0
3	14,00	3,00	10,00	0	0	0	0	0	0	0
4	2,22	6,55	0,00	0	0	0	0	0	0	0
5	2,22	6,55	6,00	0	0	0	0	0	0	0
6	2,22	6,55	10,00	0	0	0	0	0	0	0
7	2,67	5,66	0,00	0	0	0	0	0	0	0
8	2,67	5,66	6,00	0	0	0	0	0	0	0
9	2,67	5,66	10,00	0	0	0	0	0	0	0
10	3,12	4,76	0,00	0	0	0	0	0	0	0
11	3,12	4,76	6,00	0	0	0	0	0	0	0

I pulsanti [**Aggiungi**] e [**Modifica**] permettono, rispettivamente, di aggiungere o modificare un nodo tramite la finestra Modifica nodi/vincoli.

Il pulsante [**Elimina**] elimina il nodo selezionato in tabella.

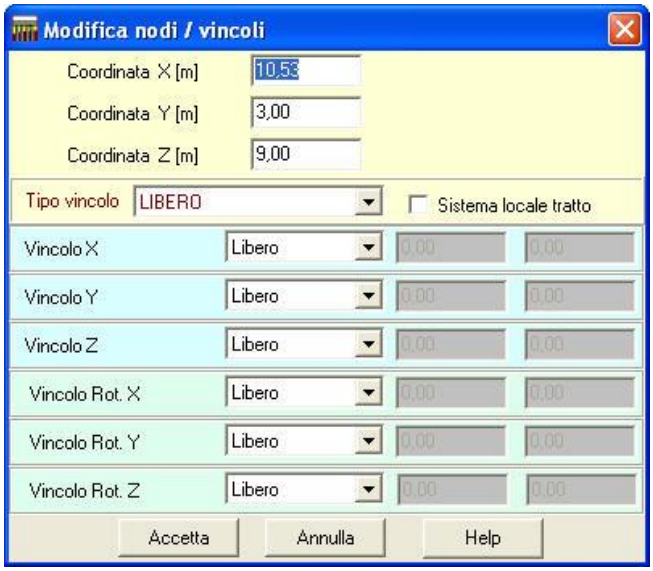
Il pulsante [**Carichi >>**] apre la finestra Elenco carichi del nodo corrente;

4.10.1 Modifica nodi / vincoli

Nella finestra è possibile definire:

le **Coordinate assolute del nodo X, Y, Z**, espresse in [L1] (non disponibili se la finestra è richiamata dalla Fase vincoli dell' Input Grafico);

Tipo vincolo può essere LIBERO, CARRELLO, CERNIERA, INCASTRO e ALTRO, ed imposta i gradi di libertà sotto definiti;



Vincolo X, Vincolo Y, Vincolo Z, Vincolo Rot. X, Vincolo Rot. Y, Vincolo Rot. Z, sono rispettivamente i 3 gradi di libertà traslazionali e i 3 gradi di libertà rotazionali che possono assumere i valori: Libero, Bloccato, Elastico e Imposto. Se si sceglie Elastico si attiva la corrispondente casella dove occorre definire la rigidezza elastica, espressa in [F1/L2] o [F1*L1/°] nel caso di vincolo alla rotazione. Se si sceglie Imposto occorre, invece, definire lo spostamento imposto sul vincolo, espresso in [L2] o la rotazione, espressa in [°];

Sistema locale al tratto, se attivo, considera il vincolo nel sistema di riferimento locale al tratto.

4.11 Elenco carichi del nodo

In questa finestra sono mostrate le coordinate del nodo ed una tabella che riporta l'elenco di tutti i carichi, definiti sul nodo in questione, con le seguenti informazioni:

- **N°**, indice della Fase/Condizione di carico al quale appartiene il carico;
- **Forze Fx**, **Fy**, **Fz** agenti sul nodo, espressi in [F1];
- **Momenti Mx**, **My**, **Mz** agenti sul nodo, espressi in [F1 × L1].

N°	Fase	Fx [kg]	Fy [kg]	Fz [kg]	Mx [kgm]	My [kgm]	Mz [kgm]
1	1	0	0	-1000	0	0	0

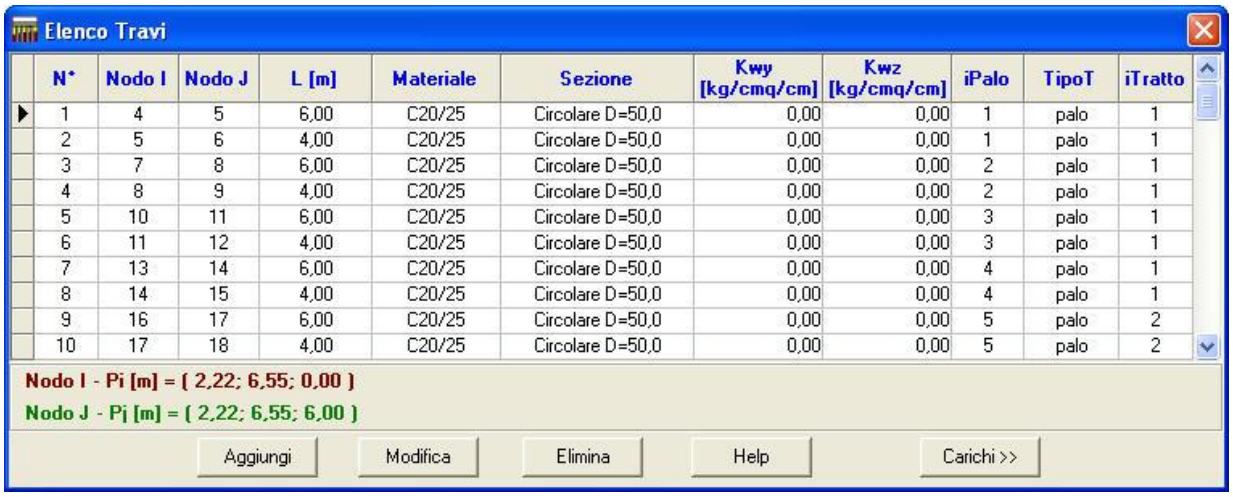
I pulsanti [**Aggiungi**] e [**Modifica**] consentono, rispettivamente, di aggiungere o modificare un carico sul nodo tramite la finestra Carico nodo.

Il pulsante [**Elimina**] elimina il carico nodale selezionato in tabella.

4.12 Elenco Travi

Nella finestra è presente una tabella con tutte le travi (aste) della paratia. Per ogni trave vengono visualizzate le seguenti caratteristiche:

- **Nodo I** e **Nodo J** sono i nodi estremi della trave. In basso vengono riportate le coordinate dei nodi I e J della trave selezionata in elenco;
- **L**, lunghezza della trave, espressa in [L1];
- **Materiale**, definiti tramite la finestra Elenco materiali;
- **Sezione**, definite tramite la finestra Elenco sezioni;
- **Kwy** e **Kwz**, rigidezze y e z, espresse in [P1 / L2];
- **iPalo**, indica l'indice del palo al quale l'asta appartiene. In caso l'asta non appartenga a nessun palo l'indice è -1;
- **TipoT**, indica il tipo di asta (palo, cordolo, puntone, …).
- **iTratto**, indica il tratto di paratia a cui appartiene l'asta corrente.



Elenco Travi

N°	Nodo I	Nodo J	L [m]	Materiale	Sezione	Kwy [kg/cmq/cm]	Kwz [kg/cmq/cm]	iPalo	TipoT	iTratto
1	4	5	6,00	C20/25	Circolare D=50,0	0,00	0,00	1	palo	1
2	5	6	4,00	C20/25	Circolare D=50,0	0,00	0,00	1	palo	1
3	7	8	6,00	C20/25	Circolare D=50,0	0,00	0,00	2	palo	1
4	8	9	4,00	C20/25	Circolare D=50,0	0,00	0,00	2	palo	1
5	10	11	6,00	C20/25	Circolare D=50,0	0,00	0,00	3	palo	1
6	11	12	4,00	C20/25	Circolare D=50,0	0,00	0,00	3	palo	1
7	13	14	6,00	C20/25	Circolare D=50,0	0,00	0,00	4	palo	1
8	14	15	4,00	C20/25	Circolare D=50,0	0,00	0,00	4	palo	1
9	16	17	6,00	C20/25	Circolare D=50,0	0,00	0,00	5	palo	2
10	17	18	4,00	C20/25	Circolare D=50,0	0,00	0,00	5	palo	2

Nodo I - Pi [m] = (2,22; 6,55; 0,00)
Nodo J - Pj [m] = (2,22; 6,55; 6,00)

Aggiungi | Modifica | Elimina | Help | Carichi >>

I pulsanti [**Aggiungi**] e [**Modifica**] consentono, rispettivamente, l'aggiunta e la modifica di un trave tramite la finestra Trave.

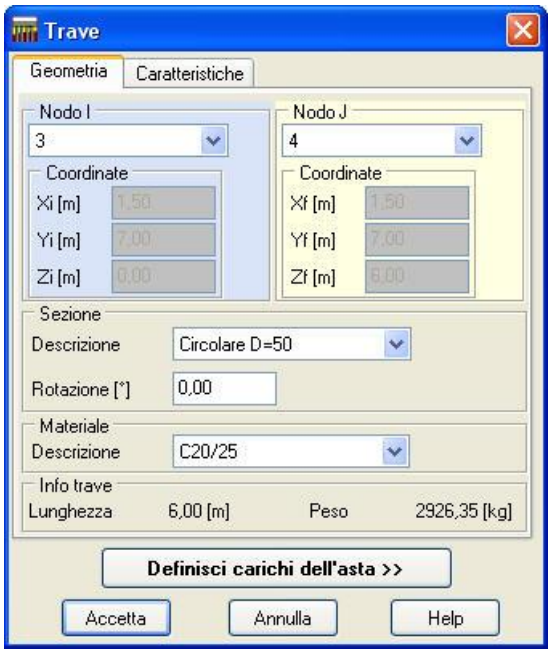
Il pulsante [**Elimina**] elimina la trave selezionata in tabella.

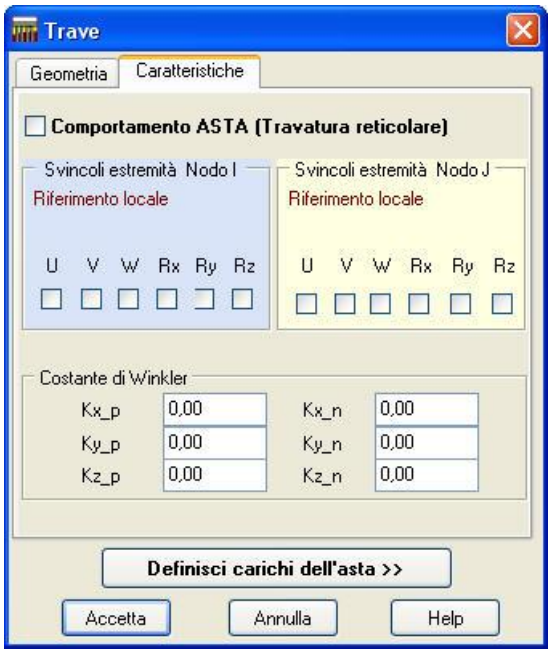
Il pulsante [**Carichi >>**] apre la finestra Elenco carichi trave.

4.13 Trave

Nella finestra è possibile definire:

- **Comportamento ASTA**, per utilizzare la trave solo come rigidezza assiale, senza fargli assorbire tagli, né momenti.
- I nodi estremi della trave (**Nodo I** e **Nodo J**) scegliendo nell'elenco a discesa un nodo esistente. Per definire un nuovo nodo scegliere alla fine dell'elenco **Crea nuovo nodo**; vengono attivate le caselle per definire le coordinate del nuovo nodo, espresse, espresse in [L1] .
- Per entrambi i nodi I e J è possibile definire gli **Svincoli di estremità** (U, V, W, Rx, Ry, Rz);
- La **Sezione** della trave, nell'elenco a discesa, definite tramite la finestra Elenco sezioni;
- La **Rotazione** della trave, nel sistema globale, espressa in [°];
- Il **Materiale**, definito tramite la finestra Elenco materiali;
- Le **Costanti di Winkler** Kx_p, Kx_n, Ky_p, Ky_n, Kz_p, Kz_n.





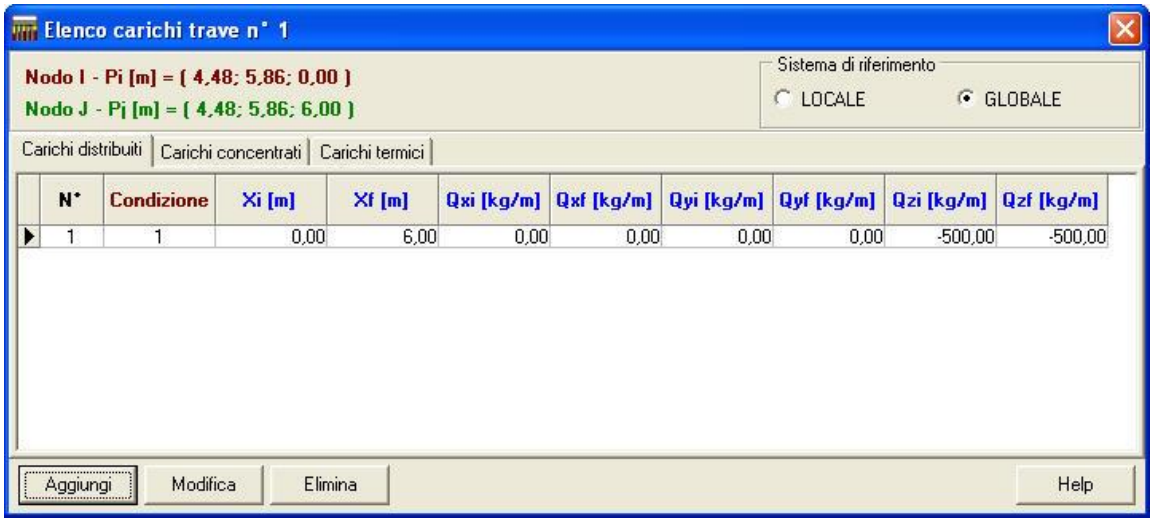
Sono inoltre riportate alcune informazioni sulla trave come la Lunghezza, espressa in [L1] e il Peso espresso in [F1].

Infine, premendo sul pulsante [**Definisci carichi dell'asta >>**] viene aperta la finestra Elenco carichi trave n° … (disponibile solo in fase di modifica della trave).

4.14 Elenco carichi trave

In questa finestra è possibile definire i carichi sulla trave selezionata, i cui nodi iniziali e finali (nodo I e nodo J) vengono riportato in alto. I Carichi possono essere definiti sia nel riferimento GLOBALE che in quello LOCALE alla trave.

Sono presenti 3 schede: Carichi distribuiti, Carichi concentrati e Carichi termici.



N°	Condizione	Xi [m]	Xf [m]	Qxi [kg/m]	Qxf [kg/m]	Qyi [kg/m]	Qyf [kg/m]	Qzi [kg/m]	Qzf [kg/m]
1	1	0,00	6,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-500,00	-500,00

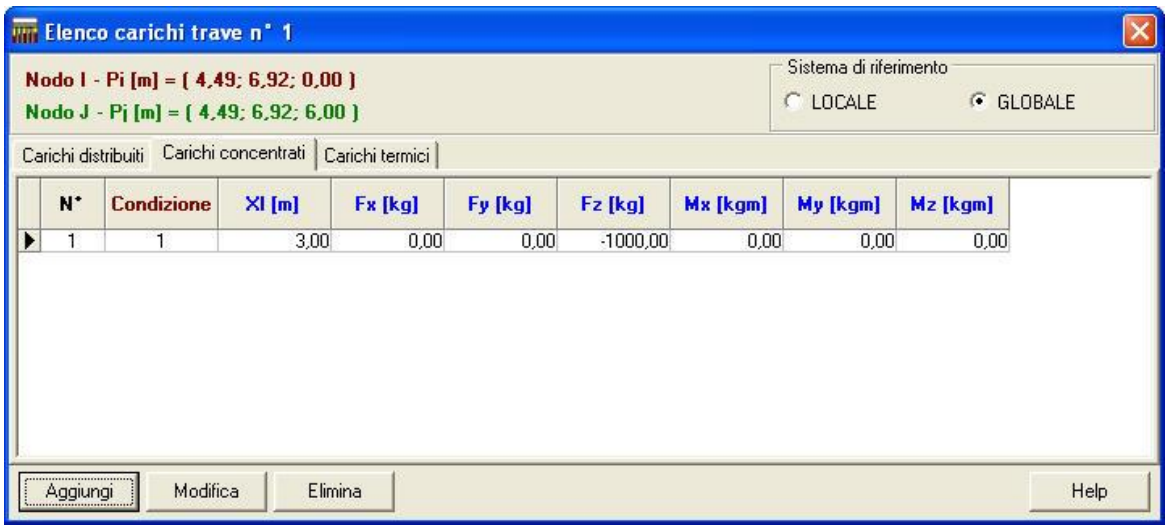
Nella scheda Carichi distribuiti è riportato l'elenco di tutti i carichi distribuiti definiti sulla trave con le seguenti informazioni:

- **Condizione**, indice della condizione di appartenenza;
- **Xi** e **Xf** sono le coordinate iniziali e finali, nel sistema di riferimento locale alla trave, espresse in [L1];
- **Qxi** e **Qxf** rappresentano il valore iniziale e finale del carico distribuito in direzione x, espresso in [F1/L1];
- **Qyi** e **Qyf** rappresentano il valore iniziale e finale del carico distribuito in direzione y, espresso in [F1/L1];
- **Qzi** e **Qzf** rappresentano il valore iniziale e finale del carico distribuito in direzione z, espresso in [F1/L1].

Nella scheda Carichi concentrati è riportato l'elenco di tutti i carichi concentrati definiti sulla trave con le seguenti informazioni:

- **Condizione**, indice della condizione di appartenenza;
- **Xl** è la coordinata locale alla trave, espressa in [L1];
- **Fx**, **Fy**, **Fz** rappresentano le componenti x, y, e z del carico concentrato, in [F1];
- **Mx**, **My**, **Mz** rappresentano le componenti x, y, e z del momento, in [F1 x L1];

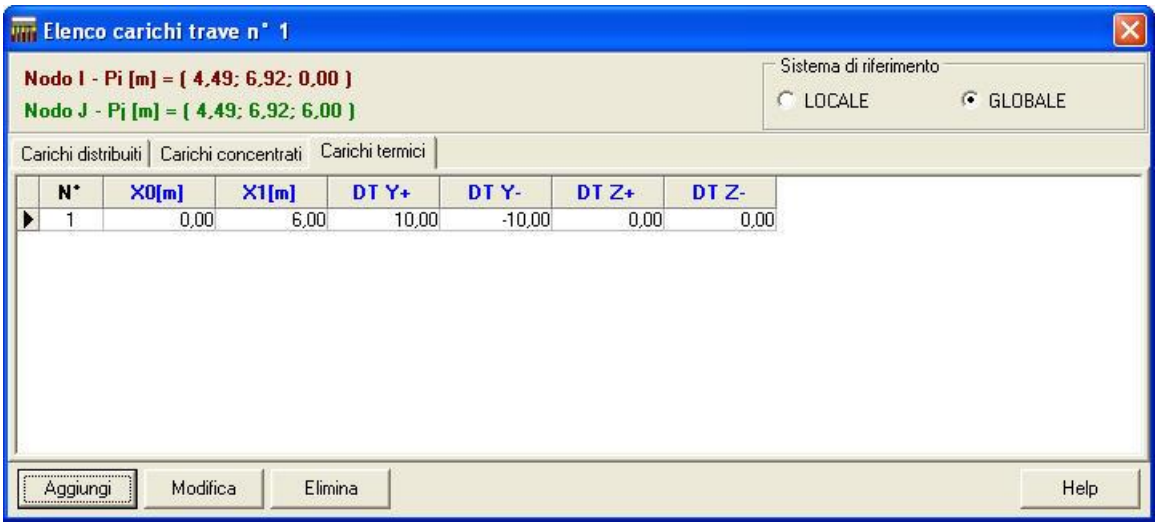
Il valore del carico, visualizzato in tabella, dipende dal Sistema di riferimento scelto.



Nella scheda Carichi termici è riportato l'elenco di tutti i carichi termici definiti sulla trave con le seguenti informazioni:

- **Condizione**, indice della condizione di appartenenza;
- **X0** e **X1** sono le coordinate iniziali e finali, locali alla trave, espresse in [L1];
- **DT Y+** e **DT Y-**, rappresentano i valori del carico termico in direzione y positivo e negativo, espressi in [°C];
- **DT Z+** e **DT Z-**, rappresentano i valori del carico termico in direzione z positivo e negativo, espressi in [°C];

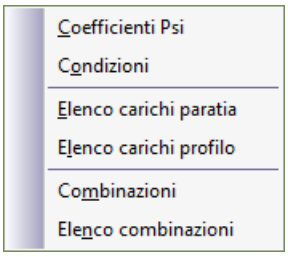
Il valore del carico, visualizzato in tabella, dipende dal Sistema di riferimento scelto.



I pulsanti [**Aggiungi**] e [**Modifica**] consentono, rispettivamente, di aggiungere o modificare un carico tramite la finestra Carico trave.

Il pulante [**Elimina**] elimina il carico selezionato in tabella.

5 Menu Carichi



Dalla voce di menu Carichi si può accedere alle seguenti voci di menu:

- **Coefficienti Psi**, visualizza la finestra dei Coefficienti Psi di combinazione;
- **Condizioni**, visualizza l'elenco delle condizioni di carico definite (disponibile solo se il Tipo di calcolo è impostato per Combinazioni);
- **Elenco carichi paratia**, visualizza i carichi presenti sulla paratia e consente l'inserimento di nuovi carichi sulle aste (carichi concentrati, distribuiti e termici);
- **Elenco carichi profilo**, visualizza i carichi presenti sul profilo e consente l'inserimento di nuovi carichi a monte e a valle (carichi concentrati, di linea e distribuiti);
- **Combinazioni**, consente di definire le combinazioni di carico;
- **Elenco combinazioni di carico**, consente di visualizzare in dettaglio tutte le combinazioni di carico generate/definite.

5.1 Coefficienti Psi

La finestra riporta l'elenco dei Coefficienti Psi (Ψ_0, Ψ_1, Ψ_2) per Categoria / Azione variabile proposti dalle Norme Tecniche 2008. È presente, a fine elenco, una categoria **Definita da utente** che permette di definire dei coefficienti di combinazione personalizzati.

Coefficienti Psi

Categoria / Azione variabile	Ψ0	Ψ1	Ψ2
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,70	0,50	0,30
Categoria B Uffici	0,70	0,50	0,30
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,70	0,70	0,60
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,70	0,70	0,60
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,00	0,90	0,80
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso . 30 kN)	0,70	0,70	0,60
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,70	0,50	0,30
Categoria H Coperture	0,00	0,00	0,00
Vento	0,60	0,20	0,00
Neve (a quota < 1000 m s.l.m.)	0,50	0,20	0,00
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,70	0,50	0,20
Variazioni termiche	0,60	0,50	0,00
Traffico (carico tandem)	0,75	0,75	0,00
Traffico (schemi 1, 3, 4, 5, 6)	0,40	0,40	0,00
Traffico (schema 2)	0,00	0,75	0,00
Definita da utente	0,70	0,50	0,30

Accetta Annulla Help

5.2 Condizioni

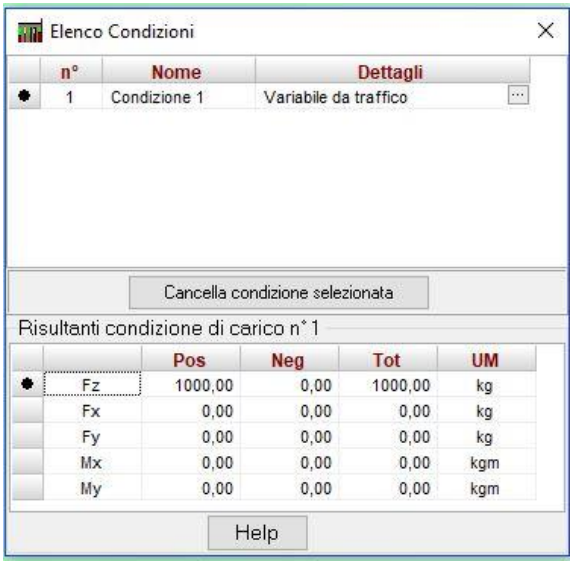
La finestra **Elenco condizioni** è disponibile solo se il *Tipo di calcolo* è impostato per combinazioni e non per fasi.

In questa finestra sono riportate tutte le condizioni di carico definite. Per ogni condizione di carico vengono visualizzate le seguenti informazioni:

– **Nome della condizione di carico**;
– **Tipo di condizione**, Permanete o Variabile che può essere modificato dall'elenco a discesa.

È possibile eliminare una condizione in elenco cliccando sul pulsante [**Cancella condizione seleziona**].

Infine, nella tabella inferiore sono visualizzate, per la condizione di carico selezionata, le **Risultanti Fz**, **Fx**, **Fy**, **Mx** e **My** in direzione **Positiva**, **Negativa** e **Totale**. L'ultima colonna indica l'**unità di misura utilizzata**.



5.3 Elenco carichi paratia

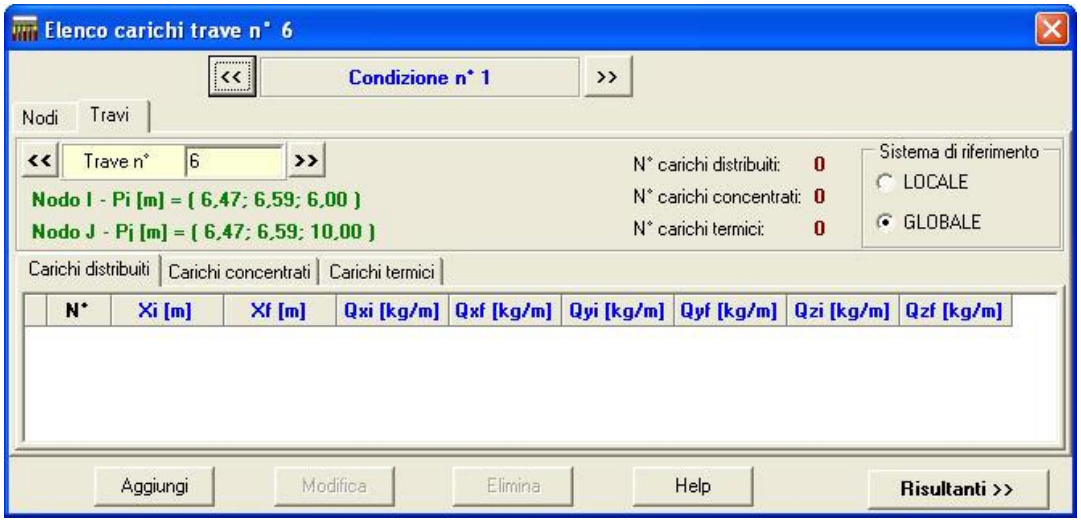
La finestra è suddivisa in due schede, **Nodi** e **Travi**.

I carichi sui nodi e sulle travi vengono inseriti per **Condizione di carico** o per **Fase**, a seconda del Tipo di calcolo scelto.

Nella scheda **Nodi** è possibile definire o selezionare il nodo sul quale applicare il carico e attraverso i pulsanti [**Aggiungi**], [**Modifica**] ed [**Elimina**] è possibile rispettivamente aggiungere un nuovo carico, modificare o eliminare un carico esistente.

Nella tabella Carichi nodali sono riportati i carichi definiti sul nodo in questione e per la condizione di carico/fase selezionata con le seguenti informazioni:

– **Forze Fx**, **Fy**, **Fz** agenti sul nodo, espressi in [F1];
– **Momenti Mx**, **My**, **Mz** agenti sul nodo, espressi in [F1 × L1];



Nel scheda Travi è possibile definire o selezionare la trave sulla quale applicare il carico e attraverso i pulsanti [**Aggiungi**], [**Modifica**] ed [**Elimina**] è possibile rispettivamente aggiungere un

nuovo carico, modificare o eliminare un carico esistente. Sulle travi è possibile definire **Carichi distribuiti, concentrati e termici** tramite la finestra Carico trave, descritta in seguito.

I nodi iniziale e finale della trave selezionata (nodo I e nodo J) vengono riportati in alto insieme al numero di carichi agenti sulla stessa. I Carichi possono essere definiti sia nel riferimento GLOBALE che in quello LOCALE alla trave.

Il pulsante [**Risultanti >>**] presente sulla destra visualizza le Risultanti Fz, Fx, Fy, Mx e My in direzione Positivo, Negativo e Totale, per la condizione di carico / fase corrente, di tutti i nodi e le travi. L'ultima colonna indica l'unità di misura utilizzata.

5.4 Carico del nodo

Se il Tipo di calcolo è per **Combinazioni**, occorre scegliere la **Categoria di carico variabile** nell'elenco a discesa, mentre se l'analisi è per **Fasi** è necessario scegliere l'**Azione del carico** Sfavorevole o Favorevole.

Il carico nodale viene definito tramite le componenti:

- **Fx**, **Fy**, **Fz** lungo x, y, e z del carico concentrato, espresso in [F1];
- **Mx**, **My**, **Mz** lungo x, y, e z del carico momento, espresso in [F1 x L1];

Nella gestione per FASI, nella finestra sono presenti due selettori :

- Tipo azione (permanente, variabile).
- Effetto carico (favorevole, sfavorevole)

5.5 Carico trave

Nella finestra sono riportate alcune informazioni della trave come Lunghezza L e le coordinate dei nodi estremi della trave P0 e P1.

Sulla trave è possibile definire il **Tipo di carico** Distribuito, Concentrato o Termico.

Se il Tipo di calcolo è per Combinazioni, occorre scegliere la **Categoria di carico variabile** nell'elenco a discesa, mentre se l'analisi è per Fasi è necessario scegliere l' **Azione del carico** Sfavorevole o Favorevole.

Il **Sistema di riferimento dei carichi** può essere LOCALE o GLOBALE.

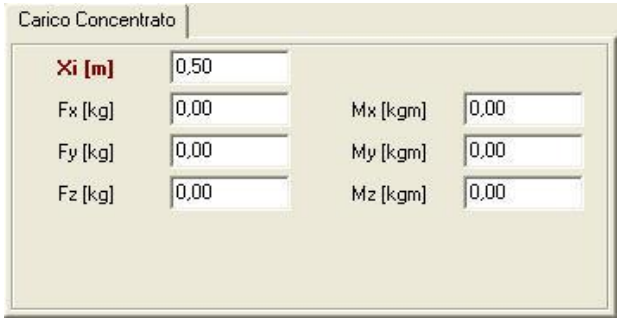
Se si sceglie come tipo il **Carico Distribuito** i dati da definire sono:

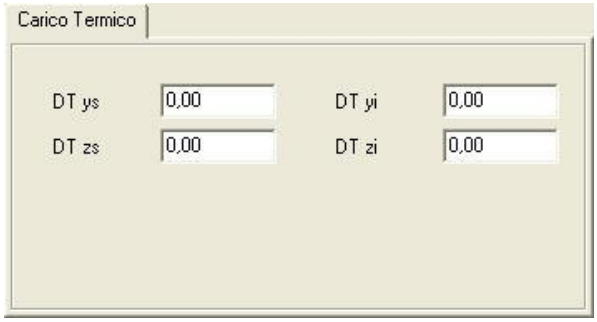
- **Xi** e **Xf**, ascissa iniziale e finale locale alla trave, espresse in [L1];
- **Qxi** e **Qxf**, valore iniziale e finale del carico distribuito in direzione X, espresse in [F1/L1];
- **Qyi** e **Qyf**, valore iniziale e finale del carico distribuito in direzione Y, espresse in [F1/L1];
- **Qzi** e **Qzf**, valore iniziale e finale del carico distribuito in direzione Z, espresse in [F1/L1];
- **Mtor**, momento torcente con asse vettore parallelo all'asse della trave, in [F1×L1];

Cliccando sul pulsante [**<< Estendi carico >>**] il programma imposta automaticamente come ascisse iniziale e finale i punti estremi della trave.

Se si sceglie come tipo il **Carico Concentrato** i dati da definire sono:

- **Xi**, ascissa, locale alla trave, del punto di applicazione, espressa in [L1];
- **Fx**, **Fy**, **Fz**, forze in direzione X, Y e Z, espresse in [F1];
- **Mx**, **My**, **Mz**, momenti con asse vettore nelle direzioni X, Y e Z, espresse in [F1×L1];





Se si sceglie come tipo il **Carico Termico** i dati da definire sono:

- **DT ys, DT yi**, valori del carico termico in direzione y positivo e negativo, espressi in [°C];
- **DT zs, DT zi**, valori del carico termico in direzione z positivo e negativo, espressi in [°C].

Nella gestione per FASI, nella finestra sono presenti due selettori :

- Tipo azione (permanente, variabile).
- Effetto carico (favorevole, sfavorevole)

5.6 Elenco carichi profilo

Nella finestra sono presenti i 2 pulsanti [**<<**] e [**>>**] che permettono di scegliere la **Fase** o la **Condizione di carico** sulla quale inserire o modificare un carico.

Nella tabella, che è di sola visualizzazione, viene riportato l'elenco dei carchi sul profilo con le seguenti informazioni:

- **Tipo**, che può essere distribuito M, distribuito V, concentrato o linea, che rappresentano, rispettivamente, una linea di carico distribuito a monte della paratia, a valle della paratia, un carico concentrato a monte e una linea di carico a monte;
- **Risultante** del carico, espressa in [F1].

I pulsanti [**Aggiungi**] e [**Modifica**] permettono, rispettivamente di aggiungere o modificare un carico tramite la finestra Carico profilo.

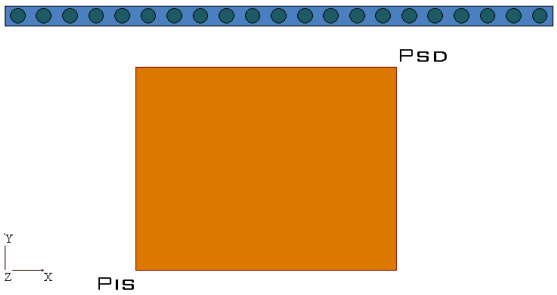
Il pulsante [**Elimina**] cancella il carico selezionato in tabella.

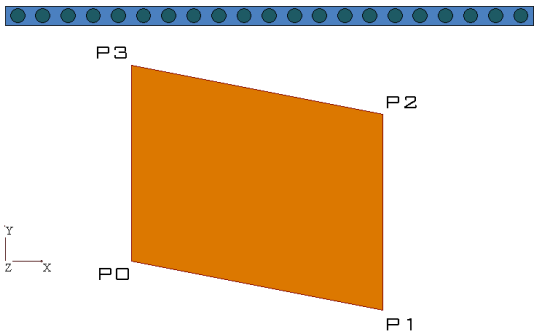
5.6.1 Carico profilo

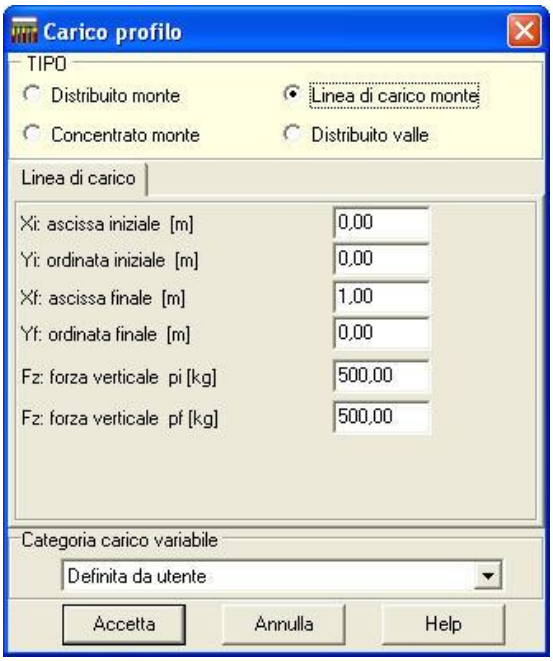
Nelle finestra è possibile definire il tipo di carico sul profilo: **Distribuito monte**, **Linea di carico monte**, **Concentrato monte** e **Distribuito valle**.

Se si sceglie il tipo **Distribuito monte** occorre definire:

- la **Posizione del carico distribuito**. Se il carico è disposto secondo gli assi coordinati X e Y del piano di lavoro, è possibile definire punto inferiore sinistro e superiore destro dell'area di carico, espressi in [L1], il poligono che ne deriva viene ricavato automaticamente dal programma. Se il carico ha una forma generica in pianta è possibile accedere alla finestra Coordinate poligono nella quale è possibile definire le coordinate premendo sul pulsante [**Coordinate >>**];
- le **Componenti verticali del carico distribuito**, in corrispondenza dei 4 vertici del poligono definito, espresse in [P2].

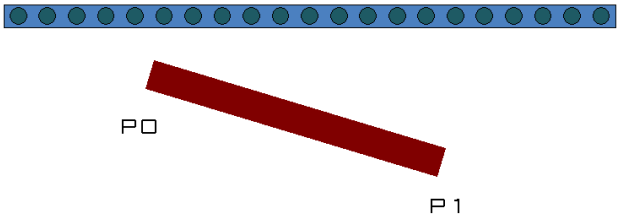






Se si sceglie il tipo **Linea di carico a monte** (finestra in alto a destra) occorre definire:

- **Xi** e **Yi**, ascissa e ordinata del punto iniziale, espresse in [L1];
- **Xf** e **Yf**, ascissa e ordinata del punto finale, espresse in [L1];
- **Fzi**, **Fzf**, valori iniziali e finali del carico, espresse in [F1].



Se si sceglie il tipo **Concentrato monte** (finestra in basso a sinistra) occorre definire:

- **X** e **Y**, coordinate del punto di applicazione, espresse in [L1];
- **Fz**, valore del carico verticale, espresso in [F1].

Se si sceglie il tipo **Distribuito valle** (finestra in alto a destra) occorre definire:

- l'**Indice** del tratto sul quale si esplica il carico;
- **Valore**, pressione verticale, espressa in [P2]. Tale carico distribuito influenza solo il tratto sul quale è stato definito.

Infine, se il tipo di calcolo è per Combinazioni, occorre scegliere la Categoria di carico variabile nell'elenco a discesa, per utilizzare i coefficienti ψ opportuni.

Nella gestione per FASI, nella finestra sono presenti due selettori :

- Tipo azione (permanente, variabile).
- Effetto carico (favorevole, sfavorevole)

5.6.1.1 Coordinate poligono

La finestra è utile per definire un poligono generico di carico distribuito a monte della paratia. Nella finestra è presente l'elenco dei punti del poligono. La tabella riporta le coordinate (**X**, **Y**) e la lunghezza di ogni lato (**L**) espresse in [**L1**].

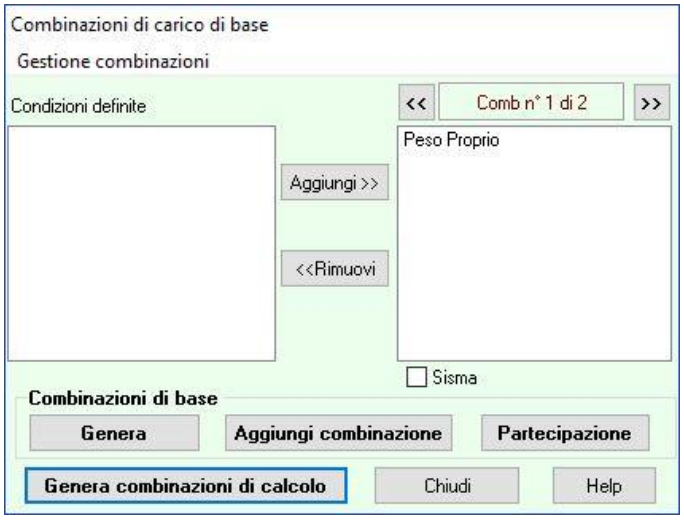
Per inserire nuovi punti e cancellare punti esistenti, si può cliccare rispettivamente sui pulsanti [**Inserisci punto**] e [**Cancella punto**].

5.7 Combinazioni

La finestra delle Combinazioni di carico viene visualizzata quando il tipo di calcolo è per Combinazioni, cliccando sull'omonima voce del menu Carichi o dal pulsante presente sulla barra dei comandi.

In questa finestra si definiscono le combinazioni di carico, effettuando la scelta delle condizioni di carico che appartengono ad ognuna di esse.

Tutte le condizioni, definite dall'Utente, sono riportate in elenco nella sezione Condizioni definite, nella parte sinistra. Insieme alla descrizione della condizione è riportato il tipo (P) o (V) ad indicare se la condizione è Permanente o Variabile.



<u>Nota sulle condizioni di carico.</u>

I carichi vengono definiti dall'Utente per condizioni. In ogni condizione di carico possono essere inseriti carichi distribuiti, concentrati o termici. Una condizione di carico rappresenta in pratica un insieme di carichi che potranno essere trattati come un tutt'uno (potranno ad esempio essere presenti o meno in una combinazione di carico) o essere definiti come permanenti o variabili.

I carichi definiti nelle varie condizioni verranno messi in conto nell'analisi solo se vengono inseriti nelle combinazioni di carico. Una combinazione di carico è la "somma" di più condizioni di carico: le condizione di carico inserite nella stessa combinazione agiranno simultaneamente (eventualmente con coefficienti di partecipazione diversi).

La definizione delle combinazioni di carico avviene attraverso 2 passaggi:

Definizione delle combinazioni di base (manualmente o automaticamente);

Definizione delle combinazioni di calcolo.

5.7.1 Combinazioni di base

Per definire le combinazioni di base manualmente, la procedura da seguire è la seguente:

si crea una combinazione attraverso il pulsante [**Aggiungi combinazione**]. Se si desidera rendere tale combinazione sismica, abilitare il check **Sisma**;

si seleziona una condizione di carico tra quelle definite a sinistra in "Condizioni definite";

si clicca sul pulsante [**Aggiungi >>**] in modo da trasferire la condizione selezionata all'interno della combinazione correntemente attiva a destra;
ripetere i punti 2 e 3 per aggiungere altre condizioni alla combinazione corrente.

Per rimuovere una condizione da una combinazione di base, occorre selezionarla e premere sul pulsante [**<< Rimuovi**].
Per creare altre combinazioni, riprendere dal punto 1. Per scorrere le combinazioni di base create, usare i pulsanti [**<<**], [**>>**] in alto a destra .La combinazione selezionata diventa quella attiva.

Per definire le combinazioni di base automaticamente, cliccare sul pulsante [**Genera**]. Viene aperta la finestra Opzioni generazione che permette di generare le combinazioni di base. Se ci sono già combinazioni di base, definite prima, queste verranno cancellate e sostituite con le nuove.
Il numero di combinazioni generate è funzione del numero di condizioni e del tipo (permanente o accidentale).

Le combinazioni di base possono essere gestite anche tramite il menu **Gestione Combinazioni**, in alto a sinistra:
Nel menu sono presenti le seguenti voci:

- **Genera**, permette di generare automaticamente le combinazioni di base;
- **Aggiungi combinazione**, permette di aggiungere una nuova combinazione vuota;
- **Cancella combinazione**, permette di eliminare la combinazione correntemente attiva;
- **Cancella tutto**, permette di eliminare tutte le combinazioni di base definite. Saranno eliminate anche le combinazioni di calcolo;
- **Chiudi**, permette di uscire dalla finestra Combinazioni di carico.

È possibile definire i Coefficienti di partecipazione per ogni condizioni di carico nell'ambito della combinazione di base corrente, tramite il pulsante [**Partecipazione**].

5.7.2 Combinazioni di calcolo

Per definire le combinazioni di calcolo premere il pulsante Genera combinazioni di calcolo. Se la normativa scelta è il D.M. 1988 + D.M. 1996 tensioni ammissibili, cliccando sul pulsante [**Genera combinazioni di calcolo**] verranno riconfermate le combinazioni di base come combinazioni di calcolo.

<u>Generazione combinazioni di base</u>
In questa finestra occorre definire una serie di parametri per la generazione automatica delle combinazioni di base:

- **Combina solo condizioni con uguale gruppo**;
- **Genera anche combinazioni sismiche**;
- **Metodo di generazione**. Si può impostare il metodo **combinatorio** oppure il metodo **probabilistico** suggerito dagli Eurocodici solo con la normativa di cui al D.M. 1988 + D.M. 1996 tensioni ammissibili. In tal caso è necessario definire i coefficienti di partecipazione dei carichi accidentali sia per combinazioni statiche che sismiche. Nel caso di D.M. 1988 + D.M. 1996 stati limiti e Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 il metodo di generazione è sempre probabilistico.

Cliccando sul pulsante [**Genera**] il programma genera le combinazioni di base secondo il metodo di generazione scelto.

Metodo combinatorio.

Sia nv il numero di condizioni variabili e 1 quella permanente, vengono generate 2^nv-1 +1 combinazioni di carico.

Es: sia P la condizione permanente e v1, v 2, v3 le nv=3 condizioni variabili, avremo le seguenti 7+1 combinazioni:

Comb n°	Condizioni della combinazione
1	P1
2	P1 + $\psi 1 \cdot V1 + \psi 2 \cdot V2 + \psi 3 \cdot V3$
3	P1 + $\psi 1 \cdot V1 + \psi 2 \cdot V2$
4	P1 + $\psi 1 \cdot V1 + \psi 3 \cdot V3$
5	P1 + $\psi 2 \cdot V2 + \psi 3 \cdot V3$
6	P1 + $\psi 1 \cdot V1$
7	P1 + $\psi 2 \cdot V2$
8	P1 + $\psi 3 \cdot V3$

dove 1, 2, 3, rappresentano i coefficienti di partecipazioni delle condizioni variabili V1, V2, V3.

Metodo probabilistico.

Fra le azioni variabili ne viene impostata una come dominante e le altre come “secondarie”. Ognuna delle condizioni variabili viene impostata a turno come dominante e pertanto date nv condizioni variabili e 1 sola permanente, avremo nv+1 combinazioni di carico per come definito dalla Norma al capitolo 2.5.3:

2.5.3 COMBINAZIONI DELLE AZIONI

Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni.

– Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1}\cdot G_1 + \gamma_{G2}\cdot G_2 + \gamma_P\cdot P + \gamma_{Q1}\cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2}\cdot \psi_{02}\cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3}\cdot \psi_{03}\cdot Q_{k3} + \ldots \qquad (2.5.1)$$

– Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili di cui al § 2.7:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02}\cdot Q_{k2} + \psi_{03}\cdot Q_{k3} + \ldots \qquad (2.5.2)$$

– Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11}\cdot Q_{k1} + \psi_{22}\cdot Q_{k2} + \psi_{23}\cdot Q_{k3} + \ldots \qquad (2.5.3)$$

– Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21}\cdot Q_{k1} + \psi_{22}\cdot Q_{k2} + \psi_{23}\cdot Q_{k3} + \ldots \qquad (2.5.4)$$

– Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2):

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21}\cdot Q_{k1} + \psi_{22}\cdot Q_{k2} + \ldots \qquad (2.5.5)$$

– Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni

Il numero di combinazioni generato dipende dal numero di condizioni variabili (accidentali) e dalla richiesta di generazione delle combinazioni sismiche. Dipende inoltre dalla Normativa impostata e dal metodo progettuale impostato.

Nel caso in cui impostiamo il sisma, il numero delle combinazioni di base generate con il criterio descritto al paragrafo precedente (combinatorio o probabilistico) viene raddoppiato.

5.7.3 Generazione combinazioni di calcolo

Dopo aver generato le combinazioni di base (statiche e/o sismiche), occorre generare le combinazioni di calcolo definendo le seguenti opzioni:

l'opzione Genera combinazioni da calcolo come da base permette di riconfermare le combinazioni di base come combinazioni di calcolo;

l'opzione Genera combinazioni SLE (Rare, Frequenti e Quasi permanenti) permette di generare le combinazioni da Stato Limite di Esercizio statiche;

l'opzione Inserisci sisma nelle condizioni di esercizio permette di generare le combinazioni da Stato Limite di Esercizio sismiche.

Nel caso in cui siano state impostate le Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, vengono generate 2 famiglie di combinazioni: A1-M1 e A2-M2.

Cliccando sul pulsante [**Genera**], verranno generate le combinazioni di calcolo ed eventualmente aggiunte le combinazioni SLE con o senza sisma.

È da notare che il sisma viene considerato in direzione verticale una volta con segno positivo (verso il basso) ed una volta con segno negativo (verso l'alto).

Pertanto ogni combinazione sismica orizzontale va considerata doppia ed il numero delle

combinazioni diventa n(statiche)+2n(sisma) = 3×n.

Può essere utile confrontare il numero di combinazioni generate in funzione della normativa impostata e del metodo di combinazione (senza considerare combinazioni SLE).

Numero condizioni permanenti np=1

Numero condizioni variabili nv=3

Metodo combinatorio

Numero combinazioni di base = $1+2^{nv}-1=1+8-1=8$

D.M. 1988 + D.M. 1996 Tensioni Ammissibili (sisma orizzontale)

8(statiche)+8(sismiche) = 16 combinazioni di calcolo

Metodo probabilistico

Numero combinazioni di base = $nv+1=3+1=4$

D.M. 1988 + D.M. 1996 Stati Limiti (sisma orizzontale)

4(statiche)+4(sismiche) = 8 combinazioni di calcolo

Norme Tecniche 2008 approccio 1 (sisma orizzontale)

4(statiche) + 4(sismiche) = 8 combinazioni di base

Le combinazioni di calcolo (per azioni sfavorevoli) saranno:

famiglia	Tipo	n° di Comb.
A1M1	statica	4
A1M1	sismica	4
A2M2	statica	4
A2M2	sismica	4
n° TOTALE		16

In totale vengono generate 16 combinazioni SLU (8 statiche + 8 sismiche). A queste si aggiungono le combinazioni SLE statiche e sismiche che se presenti nel nostro esempio saranno 7 statiche e 1 sismica:

- SLER + 3 SLEF + 1 SLEQ = 7 SLE statiche;
- 1 SLEQ sismica.

La combinazione SLE sismica coincide con la SLEQ a meno del sisma e quindi indicata come SLEQ sismica.

In totale avremo 16 SLU + 7 SLE + 1 SLE sismica = 24 comb. di calcolo.

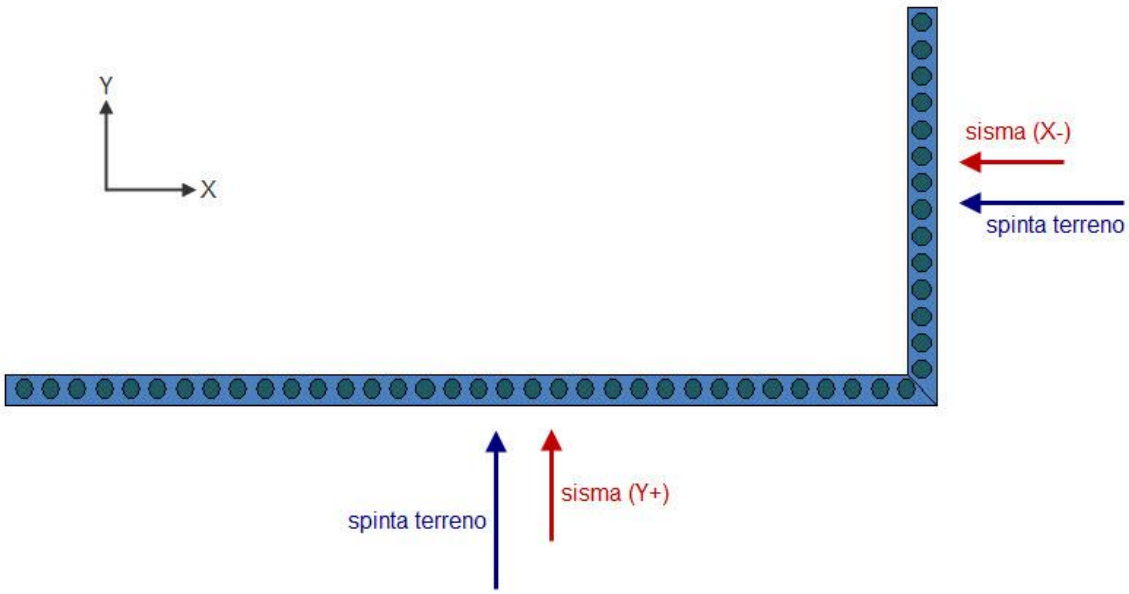
Il numero di combinazioni di calcolo sismiche effettivamente generate dipende dalla geometria della paratia perché il sisma viene inserito, sfavorevolmente, su tutti i tratti della paratia quando possibile.

Se per esempio abbiamo una paratia composta da 2 tratti, uno in direzione X e l'altro in direzione Y, avremo combinazioni con sisma in direzione Y+ e altre con direzione X-. Con riferimento all'esempio precedente le combinazioni di calcolo saranno:

famiglia	Tipo	n° di Comb.
A1M1	statica	4
A1M1	Sismica (Y+)	4
A1M1	Sismica (X-)	4
A2M2	statica	4
A2M2	Sismica (Y+)	4
A2M2	Sismica (X-)	4
SLE	Statiche	7
SLE	Sismica (Y+)	1
SLE	Sismica (X-)	1
n° TOTALE		33

In totale vengono generate 24 combinazioni combinazioni SLU (8 statiche + 16 sismiche). A queste si aggiungono le combinazioni SLE statiche e sismiche che, se presenti, nel nostro esempio saranno 7 statiche e 2 sismiche:

24 SLU + 7 SLE + 2 SLE sismiche = 33 comb. di calcolo.



5.7.4 Coefficienti di partecipazione

La finestra è visualizzata cliccando sul pulsante [Partecipazione] della finestra Combinazioni di carico.

Nella tabella è possibile definire un coefficiente di partecipazione cp per ogni condizione di carico appartenente alla combinazione corrente. Nella tabella vengono riportati:

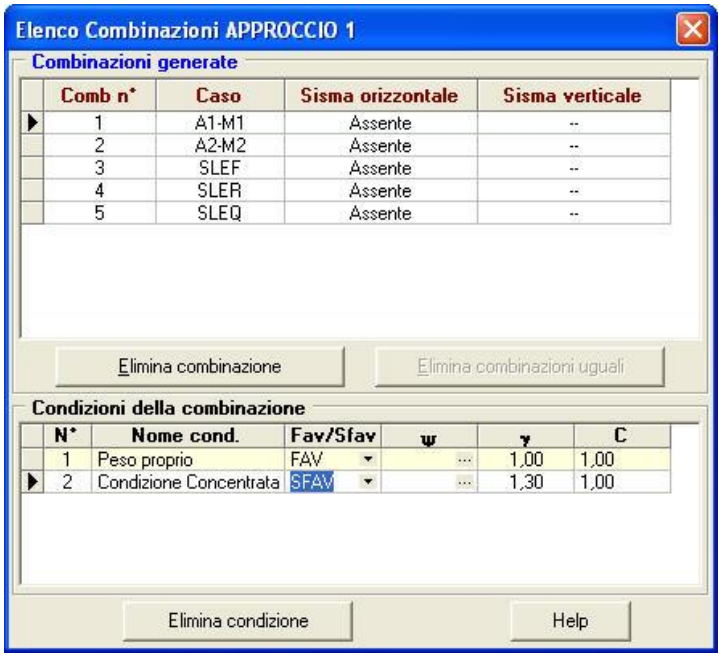
- **Nome cond**., identificativo della condizione;
- **cp**, coefficiente di partecipazione della condizione (default 1,00).

Il coefficiente cp sarà applicato a tutti i carichi della condizione sulla quale è stato definito.

5.8 Elenco combinazioni

Nella finestra è riportato l'elenco delle combinazioni di calcolo generate. Con le seguenti informazioni:

- **Comb n°**, numero identificativo della combinazione;
- **Caso**. Se la norma scelta è D.M. 1988 + D.M. 1996 Tensioni Ammissibili, comparirà TAMM; se la norma scelta è D.M. 1988 + D.M. 1996 Stati Limiti, comparirà SLU96; infine, se la norma scelta è Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, comparirà A1M1, A2M2. Con le ultime 2 norme possono comparire i tipi di combinazioni SLE (SLER, SLEF e SLEQ);
- **Sisma orizzontale**, indica se la combinazione è sismica o no (Presente o Assente). Se il sisma è presente sarà indicata anche la direzione [Y+], [X-], ecc.



Il pulsante [**Elimina combinazione**] consente di cancellare la combinazione selezionata in elenco, mentre il pulsante [**Elimina combinazioni uguali**] elimina tutte le combinazioni duplicate.

Nella tabella inferiore sono riportate tutte le condizioni di carico che appartengono alla combinazione selezionata, con le seguenti informazioni:

- **Nome cond**., descrizione della condizione di carico;
- **Fav/Sfav**, permette di modificare l'azione della condizione di carico (Favorevole o Sfavorevole);

- ψ, premendo sul pulsante ... viene aperta una finestra che visualizza i coefficienti di combinazione di tutti i carichi che appartengono alla condizione;
- γ, visualizza il coefficiente parziale sulle azioni della condizione;
- **C**, coefficiente di partecipazione della condizione.

6 Input Grafico

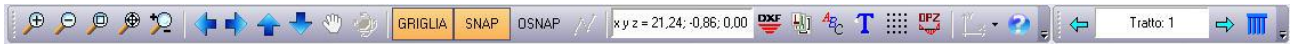
La finestra di Input Grafico è costituita da:

una **barra dei comandi delle fasi** orizzontale disposta nella parte alta della finestra.

che contiene dei pulsanti utilizzati per attivare la fase (paratia, cordolo, stratigrafia, carichi terreno, ecc.);

una barra dei comandi delle operazioni verticale, disposta sulla destra della finestra, che contiene dei pulsanti per attivare l'operazione che si vuole eseguire (inserimento, modifica, ecc.);

una barra dei comandi delle opzioni grafiche, disposta nella parte bassa della finestra, che contiene dei pulsanti per attivare le operazioni e le opzioni di visualizzazione.



Barra comandi delle FASI

I comandi della barra permettono di selezionare la fase sulla quale si vuole operare.

Il pannello presente sulla barra, vicino ai tasti di attivazione, indica in quale fase di input stiamo lavorando. Pianta pali

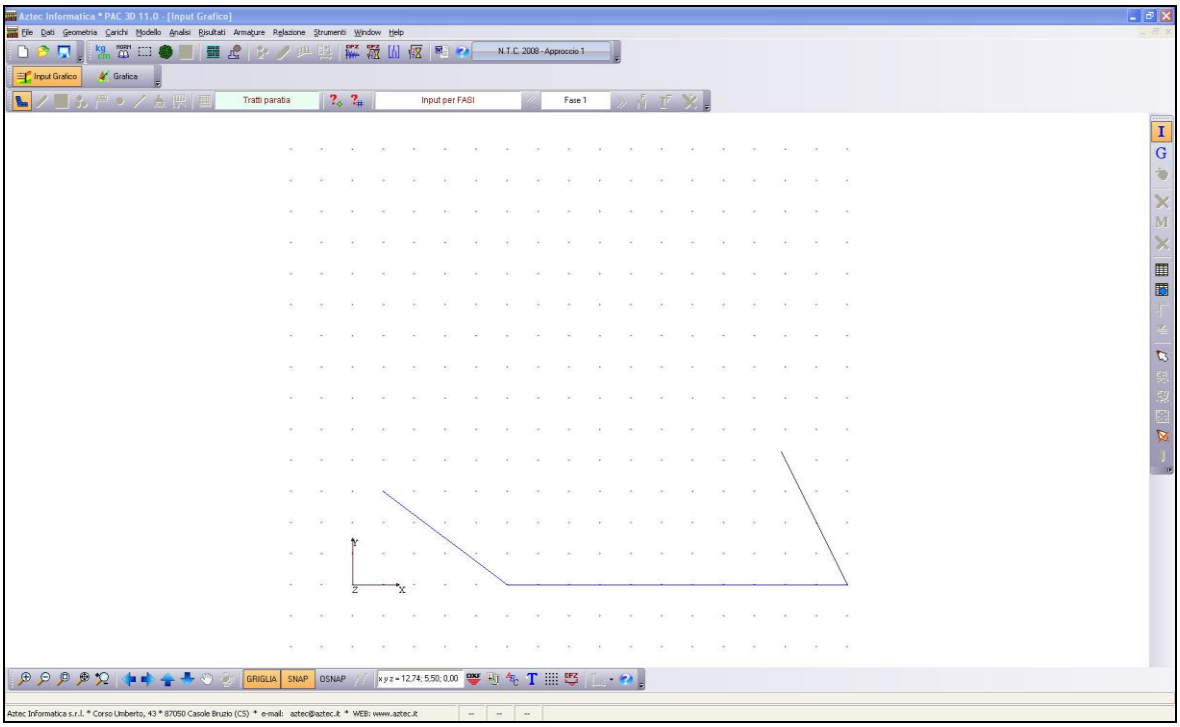
Vengono di seguito passate in rassegna le diverse fasi di Input Grafico, con le proprie caratteristiche.

6.1 Fase paratia

Nella fase paratia la struttura viene vista in pianta.

6.2 Inserimento grafico

Attivando l'inserimento grafico tramite il tasto I presente sulla barra verticale è possibile tracciare tramite mouse la linea (o polilinea) in pianta dei tratti di paratia da inserire. Per terminare l'input, cliccare con il tasto destro. Alla chiusura dell'input si attiva la finestra di inserimento dati del tratto da inserire.



6.3 Generazione automatica

Attivando la generazione, tramite il tasto G presente sulla barra verticale, è possibile generare in automatico una paratia secondo un poligono chiuso o una paratia con andamento curvilineo in pianta.

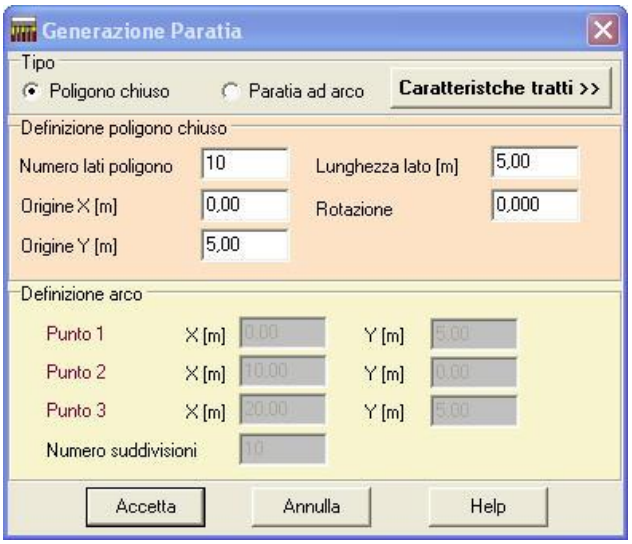
Per impostare le caratteristiche di ogni tratto di paratia cliccare sul tasto **Caratteristiche tratti**.

Nella definizione del poligono chiuso occorre specificare:

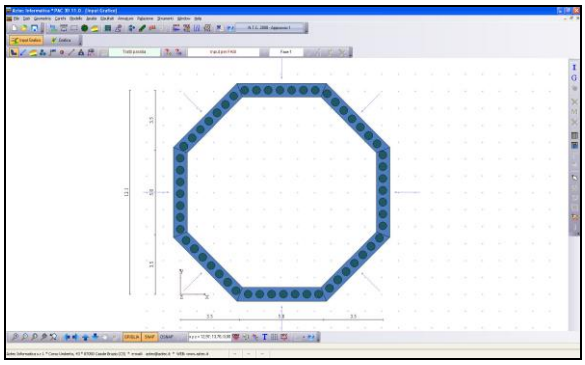
- **Numero di lati del poligono**;
- **Lunghezza** di ogni lato in [L1];
- **Coordinate in pianta** del punto inferiore sinistro in [L1];
- **Rotazione** in pianta del poligono in [°].

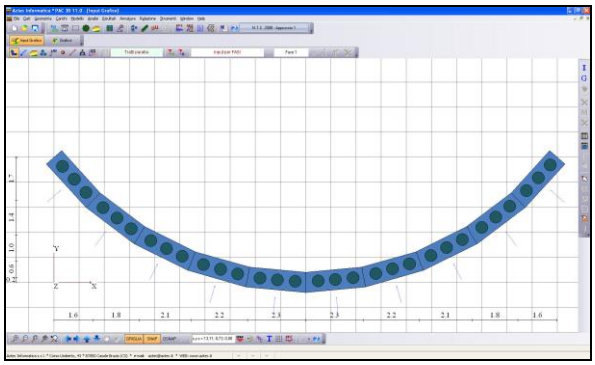
Nella definizione dell'arco occorre specificare

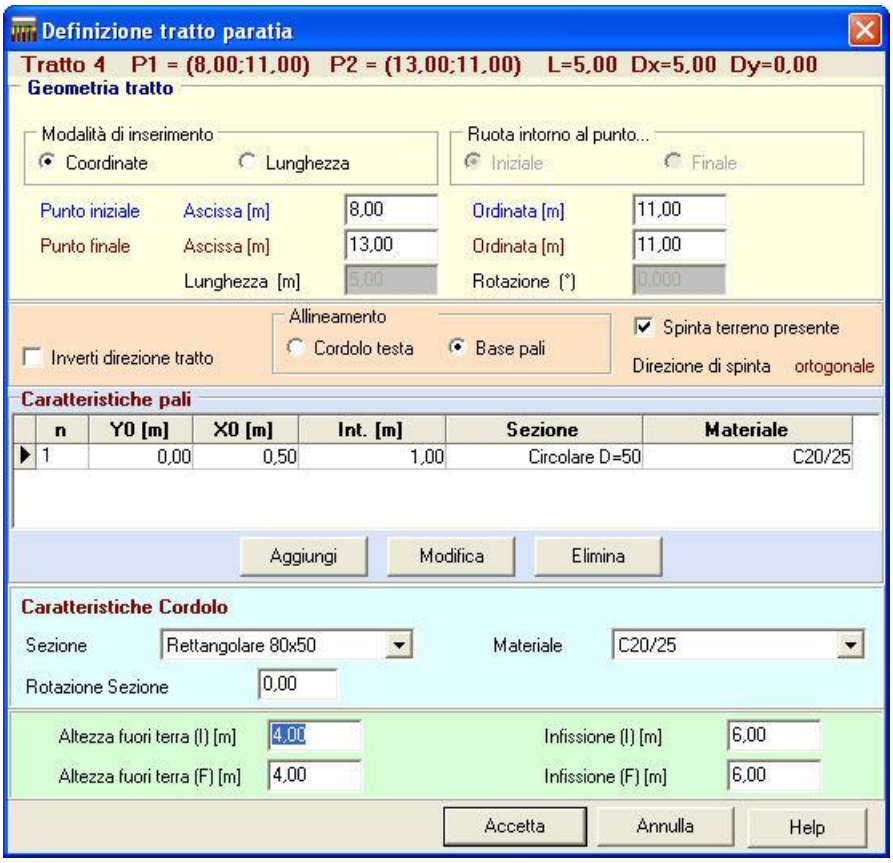
- **Coordinate in pianta** dei 3 punti di passaggio della curva in [L1];
- **Numero di suddivisioni** in tratti lineari.



Tramite la generazione automatica viene facilitato l'inserimento dati per paratie chiuse o curvilinee come quelle raffigurate in basso.







6.4 Caratteristiche di un tratto di paratia

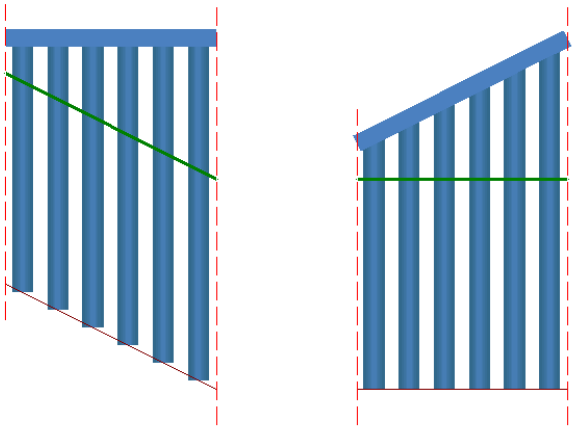
La finestra di definizione del tratto si attiva ogni qual volta si inserisce un tratto nuovo di paratia o si entra nella modifica di un tratto esistente.

Nella finestra di definizione del tratto di paratia è possibile specificare la posizione geometrica in pianta, le caratteristiche dei pali del tratto, le caratteristiche del cordolo di testa e le altezze fuori terra e di infissione.

Nell'ambito della geometria del tratto è possibile specificare le coordinate in pianta del punto iniziale e finale in [L1], oppure definire il tratto tramite un punto di riferimento in pianta in [L1] associato ad una lunghezza del tratto in [L1] ed alla rotazione in pianta rispetto all'asse X, in [°].

L'opzione **Inverti direzione** tratto è utile nella modifica di un tratto quando si vuole invertire il punto iniziale con il punto finale del tratto con conseguente inversione del verso di spinta.

Allineamento cordolo di testa



Allineamento base pali

Nell'opzione di allineamento si può specificare se i pali dalla paratia sono allineati alla base o in testa. Tale opzione può risultare utile nella definizione di tratti con quota variabile.

L'opzione **Spinta terreno** presente indica se la spinta del terreno sul tratto è attiva o inattiva.

La direzione di spinta è di default ortogonale su ogni tratto. Quando dalle Opzioni→Spinte e Carichi si attiva la voce **Direzione Spinta→Angolo Impostato** è possibile in un campo apposito indicare quale direzione di spinta considerare sul tratto corrente.

Nel riquadro Caratteristiche pali vengono riepilogate le file di pali presenti all'interno del tratto. Nella tabella riassuntiva sono indicati:

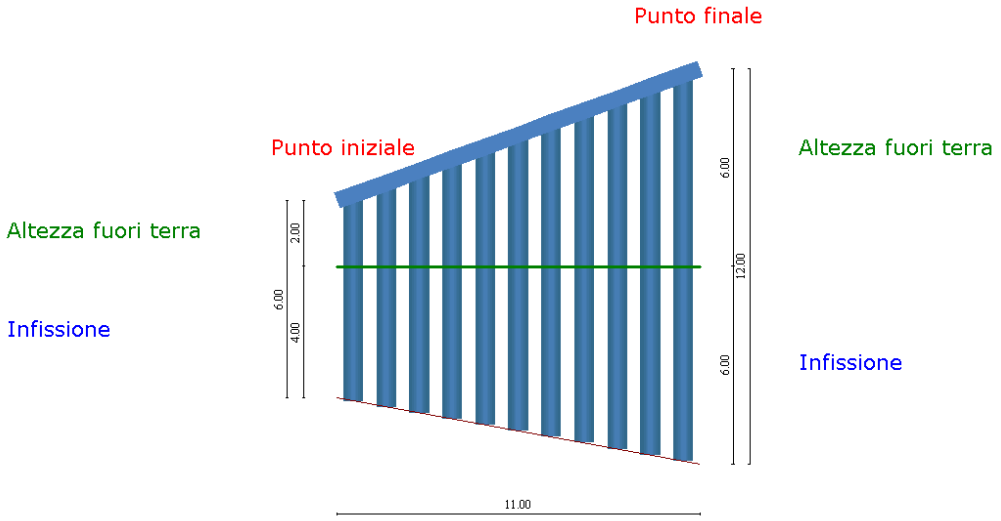
- **Y0** eccentricità della fila rispetto all'asse del cordolo (positiva verso valle) in [L1];
- **X0** ascissa iniziale del baricentro del primo palo della fila, in [L1];
- **Interasse** tipo tra i pali in [L1];
- **Sezione** tipo dei pali;
- **Materiale** tipo dei pali.

Tramite il tasto [**Aggiungi**] è possibile aggiungere una fila di pali e viene attivata la finestra di definizione della fila. Tramite il tasto [**Modifica**] è possibile modificare una fila di pali. Viene attivata la finestra di definizione della fila. Tramite il tasto [**Elimina**] è possibile eliminare la fila di pali selezionata.

Nel riquadro **Caratteristiche cordolo** devono essere specificate le caratteristiche del cordolo di testa, in termini di sezione, materiale ed eventuale rotazione locale della sezione.

Nel riquadro in basso devono essere specificate le altezze fuori terra all'inizio (I) ed alla fine (F) del tratto.

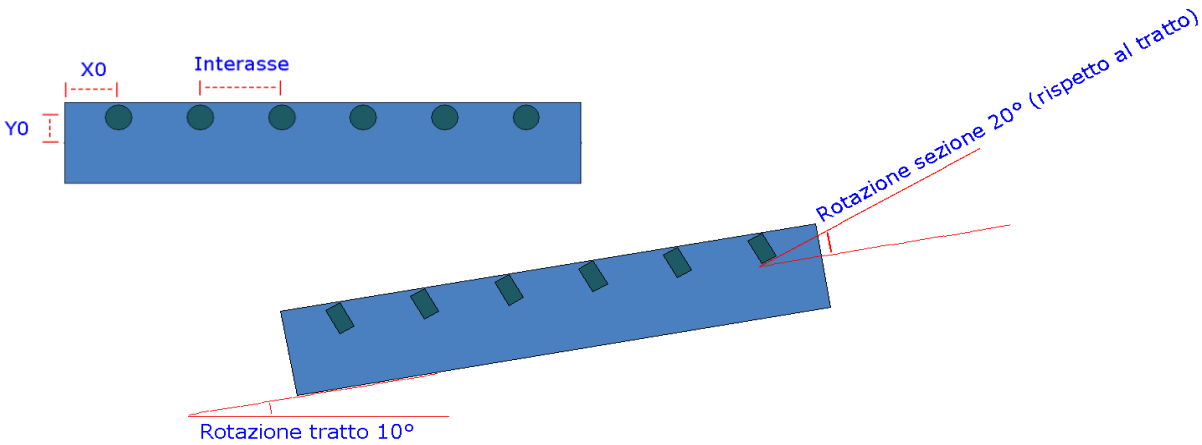
Nello stesso riquadro devono essere specificate le altezze di infissione all'inizio (I) ed alla fine (F) del tratto.



6.5 Caratteristiche di una fila di pali

Nella definizione della fila di pali devono essere specificati i seguenti dati:

- **Y0 pali**, eccentricità della fila di pali rispetto all'asse del cordolo di testa in [L1], positiva verso valle;
- **X0 pali**, ascissa locale iniziale del baricentro del primo palo in [L1];
- **Inclinazione**, angolo di inclinazione del palo rispetto alla verticale espresso in [°];
- **Interasse tra i pali** in [L1];
- **Rotazione della sezione** nel sistema locale al palo, espressa in [°];
- **Lunghezza della fila di pali** in [L1];
- **Sezione dei pali**;
- **Materiale dei pali**.



6.6 Elenco oggetti

Il tasto elenco oggetti nella fase paratia attiva la finestra di elenco dei tratti inseriti.
Scorrendo i diversi tratti è possibile modificare o eliminare dei tratti tramite i tasti Modifica ed Elimina. Tramite il tasto Aggiungi è possibile definire un nuovo tratto numericamente tramite tastiera.

6.7 Elenco pali

Il tasto Elenco pali conduce alla vista dell'elenco pali.

Selezione singola

Attivando la Selezione singola è possibile selezionare da mouse un tratto per volta. Quando un tratto di paratia è selezionato si attivano sulla barra verticale i comandi di Modifica – Elimina.

Deseleziona

Cliccando sul tasto di deselezione vengono disattivati tutti i tratti di paratia.

Modifica

Una volta che un tratto di paratia è selezionato, cliccando sul tasto di modifica M si entra nella finestra di modifica del tratto corrente.

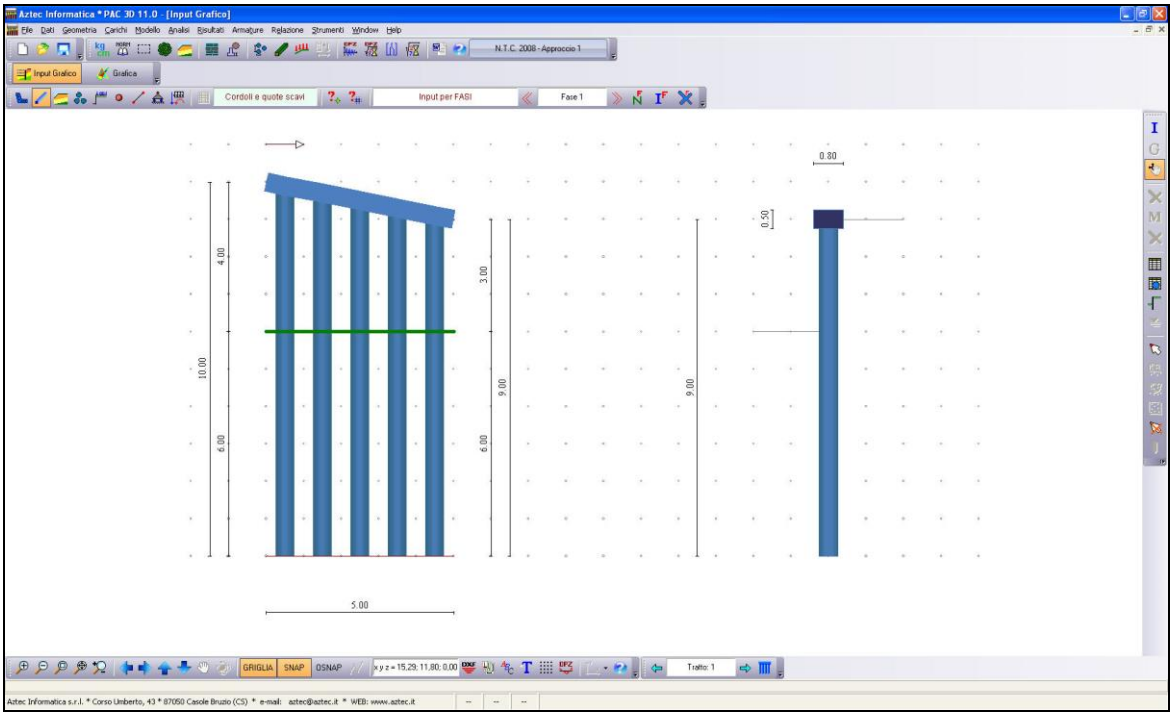
Elimina

Una volta che un tratto di paratia è selezionato, cliccando sul tasto di eliminazione il tratto corrente viene cancellato.

Nella fase paratia non è possibile operare all'interno delle fasi. Tutte le modifiche apportate ai tratti sono permanenti su tutte le fasi.

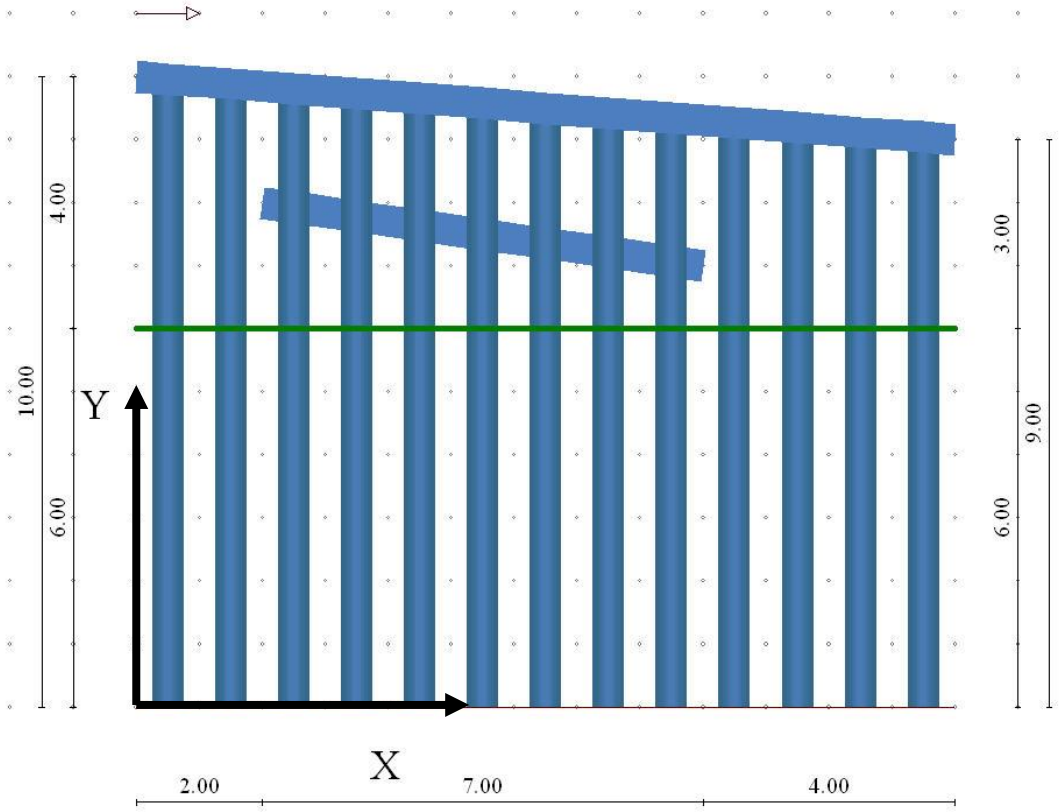
6.8 Fase cordoli

Nella fase cordoli i tratti di paratia vengono visualizzati frontalmente, ognuno proiettato nel proprio piano verticale.



All'interno della fase cordoli è possibile:

- Inserire nuovi cordoli intermedi sul tratto;
- Eliminare dei cordoli intermedi sul tratto;
- Spostare graficamente la quota dei cordoli;
- Modificare le caratteristiche dei cordoli e degli elementi Tiranti – Puntoni incidenti;
- Attivare/Disattivare i cordoli all'interno delle fasi;
- Selezionare, modificare, cancellare gli elementi tirante – puntone presenti;
- Modificare numericamente l'altezza fuori terra e la profondità di infissione;
- Nella vista frontale il riferimento (X, Y) sul tratto di paratia è il piano verticale in cui l'asse X è orientato secondo il tratto di paratia principale, e l'asse Y è verticale.



Nel calcolo per fasi costruttive tutte le modifiche elencate possono essere apportate fase per fase. Il pannello in alto indica la fase di lavoro corrente. Per intervenire nella definizione delle fasi sono disponibili i seguenti comandi:

Passa alla fase precedente

Passa alla fase successiva

Aggiunge una nuova fase in coda a quelle esistenti

Inserisce una nuova fase dopo la fase corrente quella corrente

Elimina la fase corrente

Inserimento grafico

Attivando l'inserimento grafico tramite il tasto presente sulla barra verticale, è possibile tracciare tramite mouse il segmento del cordolo da inserire frontalmente nel tratto corrente. Alla chiusura dell'input di attiva la finestra di definizione del cordolo da inserire.

Spostamento grafico

Attivando il comando sposta tramite il tasto presente sulla barra verticale, è possibile trascinare in verticale i punti estremi del cordolo di testa e di eventuali cordoli intermedi.

Elenco oggetti

Il tasto Elenco oggetti nella fase cordoli attiva la finestra di elenco dei cordoli inseriti, compresi quelli intermedi. Scorrendo i diversi cordoli è possibile modificarli o eliminarli tramite i tasti Modifica ed Elimina. Tramite il tasto Aggiungi è possibile definire un nuovo cordolo numericamente tramite tastiera.

Elenco tiranti - puntoni

Il tasto Elenco tiranti - puntoni apre la finestra dell'elenco tiranti - puntoni.

Scavo e quote tratto

Il tasto Scavo e quote tratto attiva la finestra di modifica delle quote. Possono essere modificate numericamente le altezze fuori terra, le quote del cordolo di testa e della linea di base dei pali, sia all'inizio che alla fine del tratto.

Selezione singola

Attivando la Selezione singola è possibile selezionare da mouse un cordolo per volta. Quando un cordolo è selezionato si attivano sulla barra verticale i comandi di Modifica – Elimina – Disattiva dalla fase.

Deseleziona

Cliccando sul tasto di deselezione vengono disattivati tutti i cordoli.

Modifica

Una volta che un cordolo è selezionato, cliccando sul tasto di modifica si entra nella finestra di modifica del cordolo corrente.

Elimina

Una volta che un cordolo è selezionato, cliccando sul tasto di eliminazione il cordolo viene cancellato.

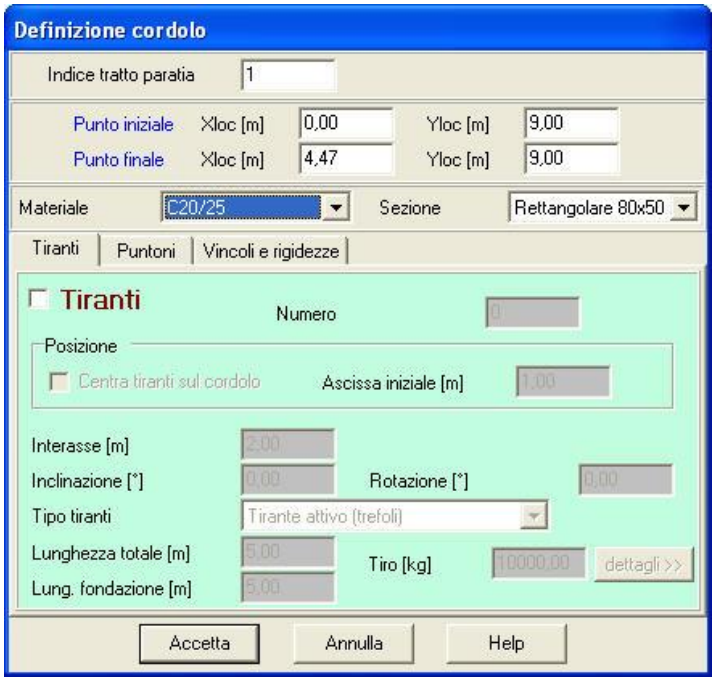
Elimina dalla fase

Una volta che un cordolo è selezionato, cliccando sul tasto di eliminazione dalla fase il cordolo può essere disattivato dalla fase corrente. Tramite una finestra di opzioni si sceglie se attivare – disattivare il cordolo anche sulle fasi precedenti e su quelle successive.
Gli elementi non attivi nella fase vengono raffigurati in grigio chiaro nella vista cordoli.

6.9 Definizione di un nuovo cordolo

Nella definizione di un nuovo cordolo i dati da inserire sono i seguenti:

- **indice del tratto della paratia** sul quale inserire il cordolo;
- **punto iniziale e finale**, in coordinate locali al tratto, espressi in [L1];
- **materiale**, a scelta tra i materiali definite tramite la finestra Elenco materiali.
- **sezione**, a scelta tra le sezioni definite tramite la finestra Elenco sezioni;



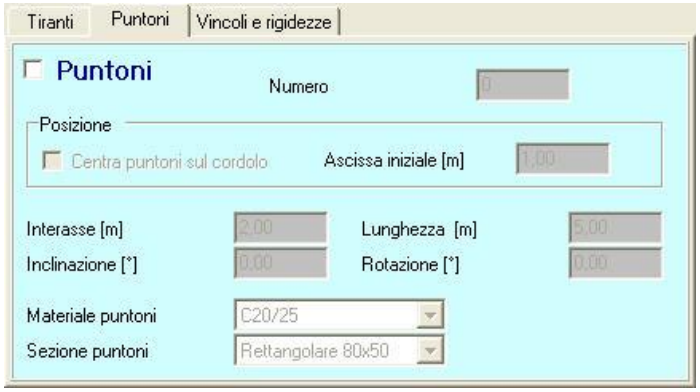
Se si desidera inserire elementi resistenti come Tiranti, Puntoni e Vincoli, è possibile accedere alle omonime schede, attivandole con il check presente sulla sinistra, e definendone le caratteristiche.
Attivando il check nella scheda **Tiranti** viene inserita sul cordolo una fila di tiranti definita come segue:

- **Numero** di tiranti;
- **Posizione**. Attivando il check **Centra tiranti sul cordolo** gli stessi saranno centrati, altrimenti è possibile definire la posizione del primo tirante, come **Ascissa locale sul cordolo**, espressa in [L1];
- **Interasse**, distanza tra un tirante e il successivo, espressa in [L1];
- **Inclinazione** rispetto al piano orizzontale, positiva verso il basso, espressa in [°];
- **Rotazione** nel piano, positiva se antioraria, espressa in [°];
- **Tipo** tiranti, a scelta tra le tipologie definite tramite la finestra Tipologie tiranti;
- **Lunghezza totale** del tirante, espressa in [L1]. Tale casella è attivata se la tipologia di tirante scelta è di Verifica;
- **Lunghezza di fondazione** del tirante, espressa in [L1], Tale casella è attivata se la tipologia di tirante è di Verifica;
- **Tiro** del tirante per i tiranti attivi, espresso in [F1].

Cliccando sul pulsante [**dettagli>>**] posto al fianco del tiro del tirante, è possibile controllare per tutte le fasi definite come è stato modificato il tiro sul tirante.

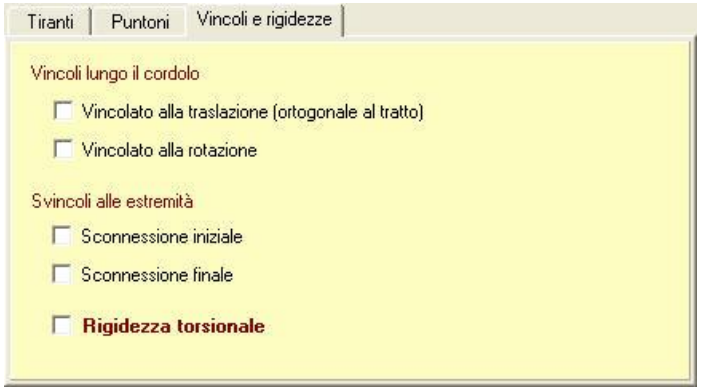
Attivando il check nella scheda **Puntoni** viene inserita sul cordolo una fila di puntoni definita come segue:

- **Numero** di puntoni;
- **Posizione**. Attivando il check **Centra puntoni sul cordolo** gli stessi saranno centrati, altrimenti è possibile definire la posizione del primo puntone, come **Ascissa locale sul cordolo**, espressa in [L1];
- **Interasse**, distanza tra un puntone e il successivo, espresso in [L1];
- **Inclinazione** rispetto all'orizzontale, positiva verso il basso, espressa in [°];
- **Rotazione** nel piano, positiva se antioraria, espressa in [°];
- **Materiale puntoni**, a scelta tra i materiali definiti tramite la finestra Elenco materiali;
- **Sezione puntoni**, a scelta tra le sezioni definite tramite la finestra Elenco sezioni.



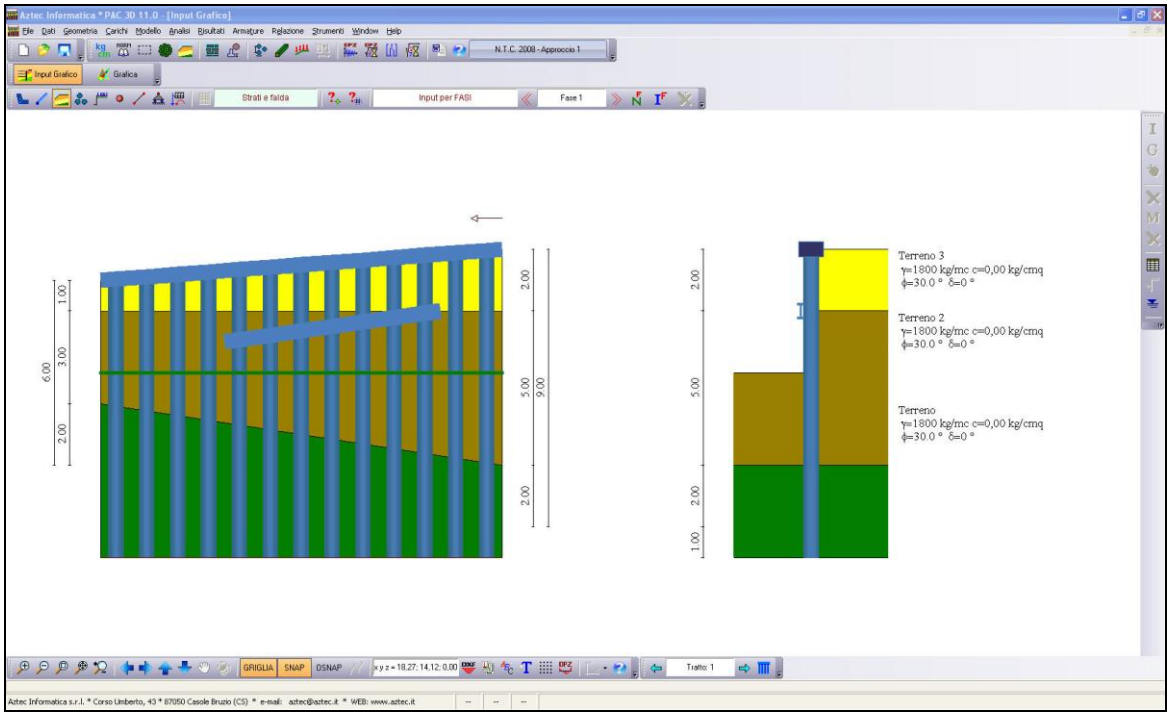
Nella scheda **Vincoli** e rigidezze è possibile definire **Vincoli lungo il cordolo** e **Svincoli alle estremità**:

- **Vincolato alla traslazione ortogonale al tratto**;
- **Vincolato alla rotazione**;
- **Sconnessione nel punto iniziale o finale** del cordolo per inserire una cerniera interna sul punto iniziale del tratto ed evitare trasmissioni di momento con i tratti adiacenti;
- **Rigidezza torsionale**, per attivare la rigidezza torsionale sugli elementi asta che appartengono al cordolo.



6.10 Fase stratigrafia

Nella fase stratigrafia i tratti di paratia vengono visualizzati frontalmente, ognuno proiettato nel proprio piano verticale, insieme alla stratigrafia definita lungo il tratto. Specificando la potenza di ogni strato all'inizio ed alla fine del tratto, possono essere definite stratigrafie generiche, in cui ogni strato ha andamento lineare.



Elenco oggetti

Il tasto Elenco oggetti nella fase stratigrafia attiva la finestra di definizione degli strati, raggiungibile anche dal menu Dati → Stratigrafia.

Falda

Il tasto falda nella fase stratigrafia attiva la finestra di definizione della falda, raggiungibile anche dal menu Dati → Falda. La finestra permette la definizione della posizione e dell'andamento della falda nel terreno, specificandone la posizione a valle ed a monte.

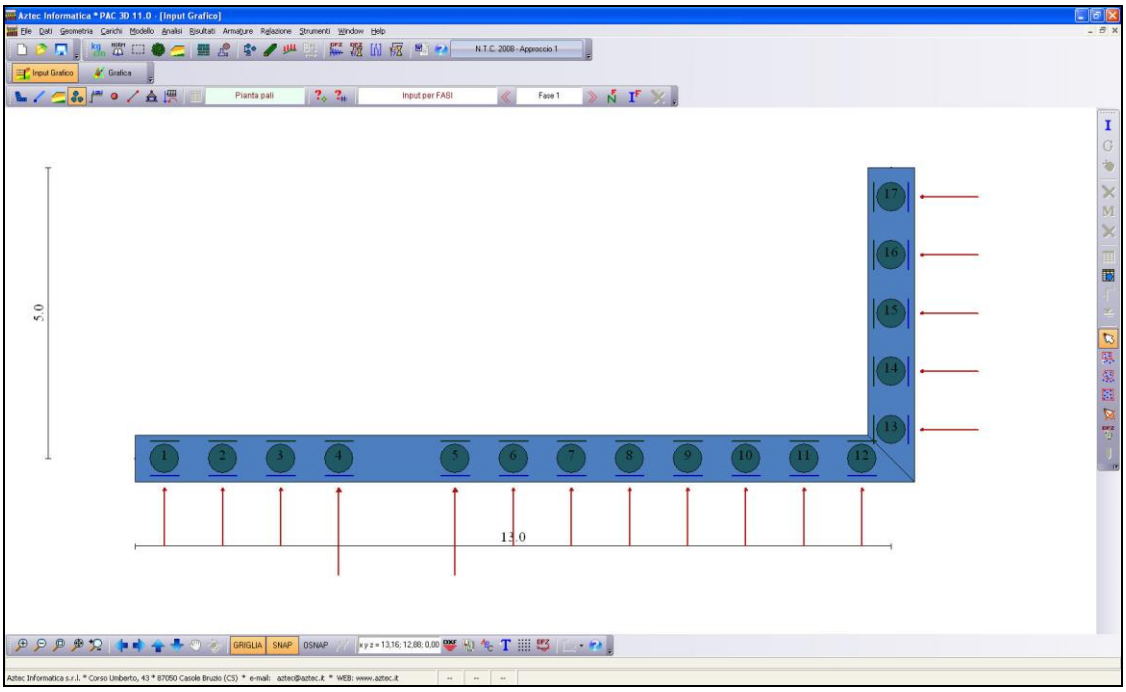
6.11 Fase pali

Nella fase pali viene visualizzata in pianta la distribuzione dei pali. In corrispondenza di ogni palo sono raffigurati tre simboli:

La freccia rossa indica il verso di spinta del terreno sul palo e la sua lunghezza fornisce informazioni sull'interasse di lavoro corrente del palo per quanto riguarda l'aliquota di spinta attiva assorbita. Ad esempio una freccia lunga 1.0 m dice che il palo assorbe la spinta attiva su una parete larga in pianta 1.0 m.

Il segmento verde a valle indica su quale fascia lavora il palo per quanto riguarda la resistenza passiva a valle. Di default ogni palo lavora a valle secondo il suo diametro (scelta a vantaggio di sicurezza). Eventualmente l'utente può intervenire ed assegnare ai pali un'aliquota maggiore per ottenere un comportamento a diaframma continuo.

Il segmento blu a monte indica su quale fascia lavora il palo per quanto riguarda la resistenza passiva a monte (quando il palo va in controspinta). Di default ogni palo lavora in controspinta secondo il suo diametro (scelta a vantaggio di sicurezza). Eventualmente l'Utente può intervenire ed assegnare ai pali un'aliquota maggiore per ottenere un comportamento a diaframma continuo.



N.B. Tali scelte di interasse di spinta, aliquota di lavoro a valle ed aliquota di lavoro in controspinta, sono tre informazioni importanti nel modello a molle di PAC 3D. Nei modelli a deformazione piana è usuale analizzare un metro di paratia, assumendo implicitamente che la paratia lavori su un metro si spinta attiva e reagendo per intero analogamente su un metro. Nel modello di PAC 3D si lavora (come impostazione di default) su una resistenza leggermente minore. Maggiore è l'interasse di lavoro tra i pali di una paratia e maggiori saranno le differenze di comportamento tra i due modelli.

Inserimento grafico

Attivando l'inserimento grafico tramite il tasto presente sulla barra verticale è possibile inserire ad ogni clic del mouse un palo all'interno di un cordolo, sempre che ci sia spazio sufficiente.

Elenco pali

Il tasto Elenco pali apre la finestra dell'elenco pali. La finestra è stata descritta in precedenza nella sezione Geometria del Menu Principale.

Selezione

Attivando la Selezione è possibile selezionare da mouse un palo per volta. Quando almeno un palo è selezionato si attivano sulla barra verticale i comandi di Modifica – Elimina – Disattiva dalla fase.

Selezione a box

Attivando la Selezione a box è possibile selezionare un gruppo di pali tramite la definizione di un rettangolo da mouse.

Selezione a poligono

Attivando la Selezione a poligono è possibile selezionare un gruppo di pali tramite la definizione di un poligono da mouse.

Seleziona tutto

Cliccando sul tasto Seleziona tutto vengono selezionati tutti i pali presenti.

Deseleziona

Cliccando sul tasto di de selezione vengono disattivati tutti i pali.

Opzioni di selezione

Quando il tasto opzione selezione è attivo, la selezione a box e con poligono è sempre additiva, mentre, quando il tasto è disattivato, la selezione con box e con poligono è additiva/esclusiva.

Modifica

Una volta che uno o più pali sono selezionati, cliccando sul tasto di modifica si entra nella finestra di modifica dei pali.

Elimina

Una volta che uno o più pali sono selezionati, cliccando sul tasto elimina i pali vengono cancellati.

Elimina dalla fase

Una volta che uno o più pali sono selezionati, cliccando sul tasto di eliminazione dalla fase i pali possono essere disattivati dalla fase corrente. Tramite una finestra di opzioni si sceglie se attivare – disattivare i pali anche sulle fasi precedenti e su quelle successive.

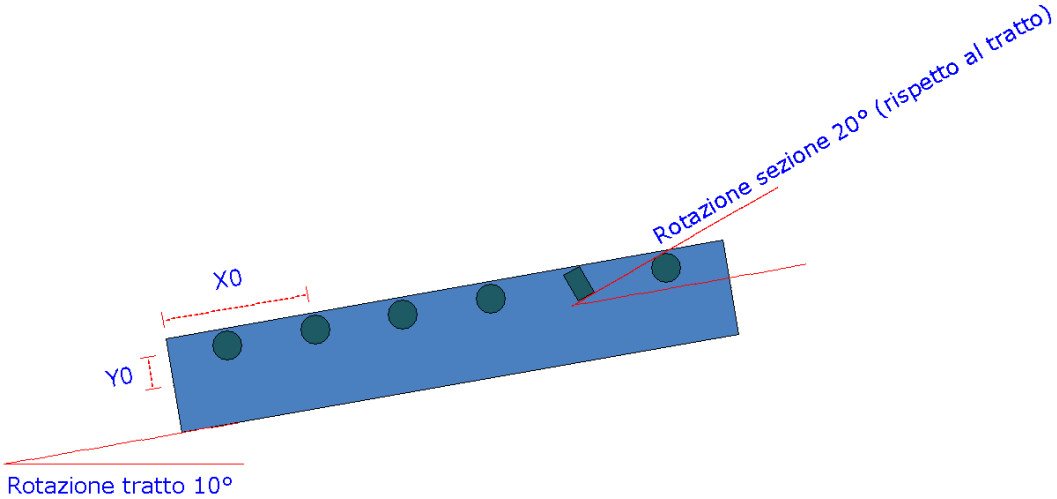
I pali non attivi nella fase vengono raffigurati in grigio nella vista pali.

Definizione di un palo (Aggiunta / Modifica)

La finestra è suddivisa in tre sezioni, **Caratteristiche palo**, **Opzioni spinta e resistenza** e **Caratteristiche armatura**.

Nella sezione **Caratteristiche palo** è possibile definire:

- **Riferimento**, rappresenta il sistema di riferimento per esprimere le coordinate del palo che può essere **Globale** o **Locale** al tratto;
- **Ascissa X** e **Ordinata Y** del palo, espressa in [L1]. Dipendono dal sistema di riferimento scelto;
- **Inclinazione** del palo rispetto alla verticale, espresso in [°], positiva verso monte;
- **Lunghezza** del palo, espressa in [L1];
- **Sezione**, a scelta tra le sezioni definite tramite la finestra Elenco sezioni;
- **Rotazione della sezione** del palo in pianta, locale del tratto, espressa in [°]. Viene riportata, a fianco in parentesi, la rotazione totale del palo (rotazione palo + rotazione del tratto) rispetto al sistema di riferimento globale;
- **Materiale** del palo, a scelta tra i materiali definiti tramite la finestra Elenco materiali.



Nella sezione **Opzioni spinta e resistenza** è possibile definire:

Lunghezza di influenza della spinta attiva, espressa in [L1]. E' possibile scegliere tra: **Nulla**, **Automatica** e **Imposta**. Se si sceglie Nulla, sul palo non agisce spinta attiva, se si sceglie Automatica, sul palo agisce una spinta calcolata automaticamente dal programma valutata in base

all'interasse ed alla posizione reciproca tra i pali, se si sceglie Imposta, è l'Utente che definisce il tratto di paratia che compete sul palo in termini di spinta attiva.

Resistenza valle [monte]. Permette di scegliere come fare lavorare l'elemento in termini di resistenza passiva a valle [monte]. Le opzioni sono: Nulla, Totale ed Aliquota. Se si sceglie Nulla, la resistenza del terreno a valle [monte] del palo non viene considerata, se si sceglie Totale, sul palo agisce una resistenza per una fascia di larghezza pari alla proiezione della sezione lungo il tratto (nel caso di pali circolari equivale al diametro), se si sceglie Aliquota, è l'Utente che definisce l'aliquota (tra 0.0 e 1.0) di resistenza rispetto alla proiezione totale (nel caso di pali circolari è un coefficiente riduttivo del diametro).

Per ulteriori considerazioni sull'utilità di tali parametri si guardi l'introduzione della Fase Pali dell'Input Grafico.

Nella sezione **Caratteristiche armatura** è possibile definire:

- **Tipo** armatura. E' possibile scegliere tra **Ferri longitudinali + staffe** o **Armatura tubolare**;

Se si sceglie ferri longitudinali + staffe è possibile definire:

- **Numero di ferri** lato monte e lato valle;
- **Copriferro**, espresso in [L2];
- **Diametro dei ferri longitudinali (lato monte e lato valle) e delle staffe**, espresse in [L3];
- **Passo staffe**, espresso in [L2].

Se si sceglie **Armatura tubolare**:

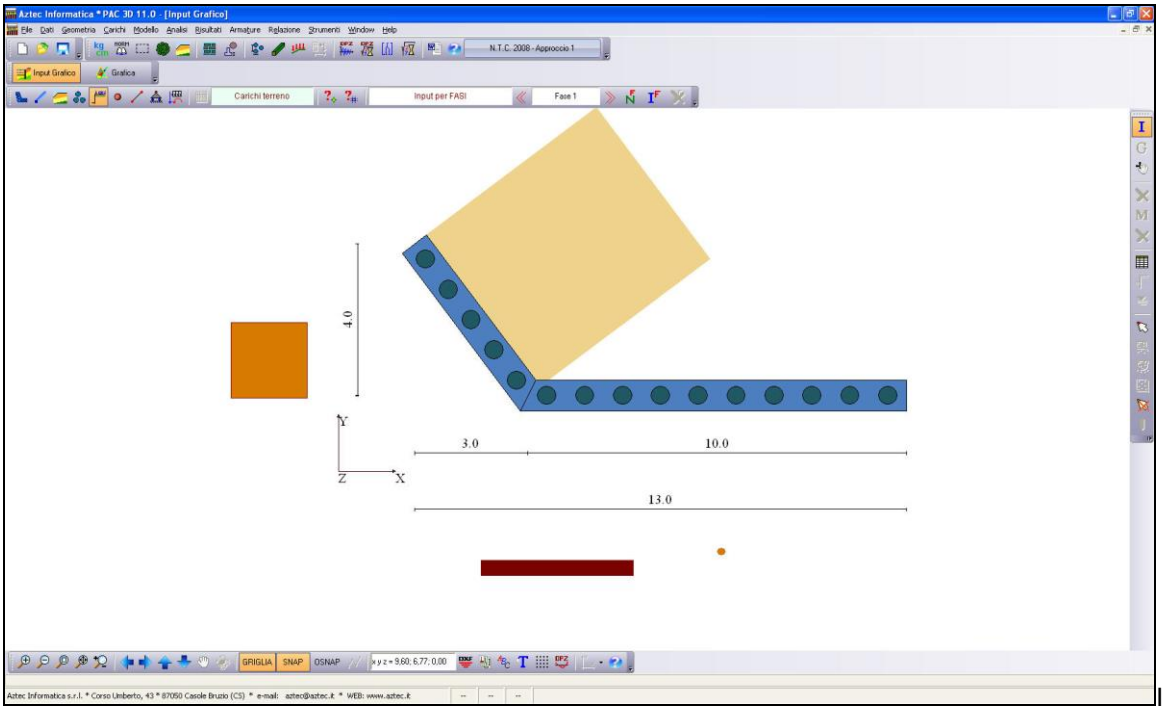
– **Diametro** e **spessore tubolare**, espresso in [L3].

6.12 Fase carichi profilo

Nella fase carichi profilo viene visualizzata in pianta la paratia con la distribuzione dei carichi.

I carichi a monte della paratia possono essere:

– carichi concentrati (visualizzati in pianta con un piccolo cerchio arancione);
– carichi di linea (visualizzati in pianta con un segmento rosso scuro);
– carichi distribuiti (visualizzati in pianta con un poligono arancione);



carichi a valle della paratia possono essere soltanto carichi distribuiti (visualizzati in pianta con un'area colorata a valle della paratia).

Inserimento grafico

Attivando l'inserimento grafico tramite il tasto presente sulla barra verticale è possibile inserire tramite mouse il carico nella posizione desiderata. Al clic del mouse si attiva la finestra di definizione del carico.

Spostamento grafico

Attivando il comando sposta tramite il tasto presente sulla barra verticale è possibile trascinare in pianta il carico spostandolo nella posizione desiderata.

Elenco oggetti

Il tasto Elenco oggetti nella fase carichi profilo attiva la finestra di elenco dei carichi profilo. Scorrendo i diversi carichi è possibile modificarli o eliminarli tramite i tasti Modifica ed Elimina.

Tramite il tasto Aggiungi è possibile definire un nuovo carico numericamente tramite tastiera.

Selezione singola

Attivando la Selezione singola è possibile selezionare da mouse un carico per volta. Quando un carico è selezionato si attivano sulla barra verticale i comandi di Modifica – Elimina – Disattiva dalla fase.

Deseleziona

Cliccando sul tasto di deselezione vengono disattivati tutti i carichi.

Modifica

Cliccando sul tasto di modifica si entra nella finestra di modifica del carico correntemente selezionato.

Elimina

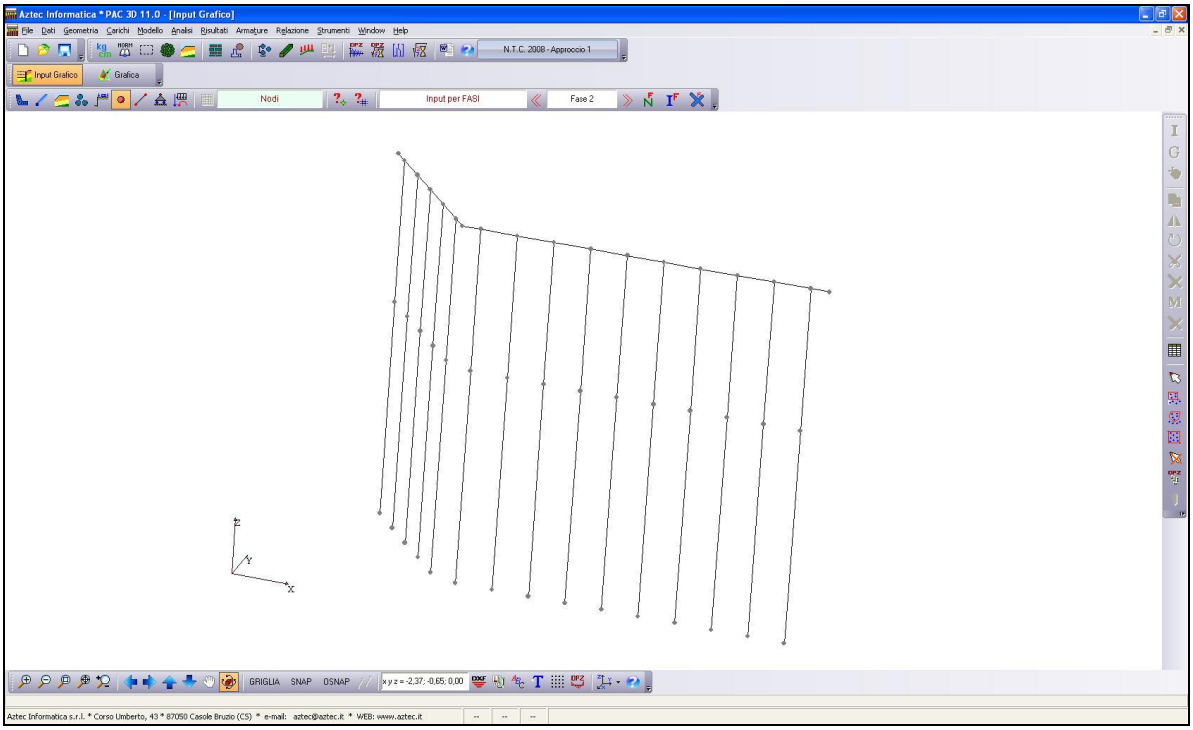
Cliccando sul tasto di eliminazione il carico selezionato viene cancellato.

Elimina dalla fase

Una volta che un carico è selezionato, cliccando sul tasto di eliminazione dalla fase il carico può essere disattivato dalla fase corrente. Tramite una finestra di opzioni si sceglie se attivare – disattivare il carico anche sulle fasi precedenti e su quelle successive.

6.13 Fase nodi

Nella fase nodi viene visualizzato lo schema filiforme della struttura. Ad ogni modifica sui macro-oggetti (inserimento tratti, inserimento o spostamento pali, inserimento o spostamento cordoli, …) PAC 3D provvede a creare in automatico i nodi necessari, spezzando le aste intersecate, spostando o eliminando le aste in modo opportuno. L'Utente può operare in questa finestra per controllare lo schema filiforme proposto dal software ed eventualmente intervenire sul modello.



Elenco oggetti

Il tasto Elenco oggetti apre la finestra dell'elenco nodi.

Selezione

Attivando la Selezione è possibile selezionare da mouse un nodo per volta.

Selezione a box

Attivando la Selezione a box è possibile selezionare un gruppo di nodi tramite la definizione di un rettangolo da mouse.

Selezione a poligono

Attivando la Selezione a poligono è possibile selezionare un gruppo di nodi tramite la definizione di un poligono da mouse.

Seleziona tutto

Cliccando sul tasto Seleziona tutto vengono selezionati tutti i nodi esistenti.

Deseleziona

Cliccando sul tasto di deselezione vengono disattivati tutti i nodi.

Opzioni di selezione

Quando il tasto opzione selezione è attivo, la selezione a box (o con poligono) è sempre additiva, mentre, quando il tasto è disattivato, la selezione a box (o con poligono) è additiva / esclusiva.

Copia / Trasla

Cliccando sul tasto Copia / trasla possono essere copiati o traslati nodi tramite la finestra apposita.

Modifica

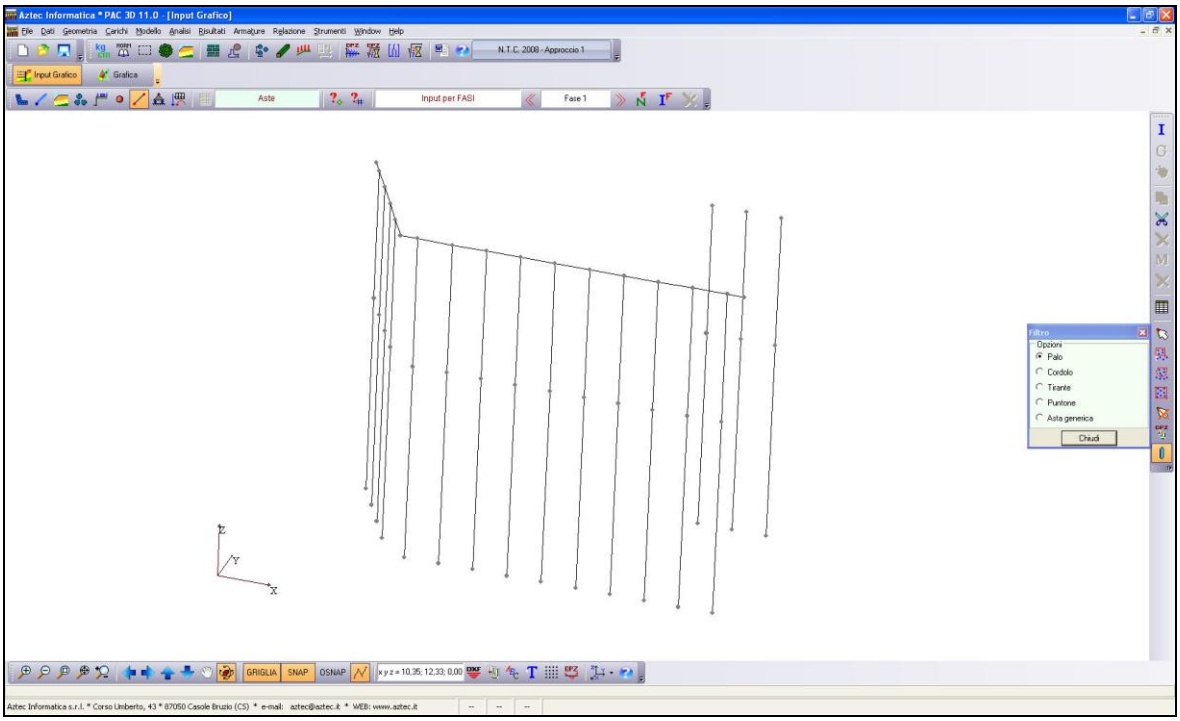
Una volta che uno o più nodi sono selezionati, cliccando sul tasto di modifica si entra nella finestra di modifica dei nodi.

Elimina

Una volta che uno o più nodi sono selezionati, cliccando sul tasto elimina i nodi vengono cancellati.

6.14 Fase aste

Nella fase aste viene visualizzato lo schema filiforme della struttura. Ad ogni modifica sui macro-oggetti (inserimento tratti, inserimento o spostamento pali, inserimento o spostamento cordoli, …), PAC 3D provvede a creare in automatico i nodi necessari, spezzando le aste intersecate, spostando o eliminando le aste in modo opportuno. L'Utente può operare in questa finestra per controllare lo schema filiforme proposto dal software ed eventualmente intervenire sul modello, creando nuove aste, puntoni, graticci ed ogni genere di sistema a telaio 3D.



Inserimento grafico

Attivando l'inserimento grafico tramite il tasto presente sulla barra verticale, è possibile inserire tramite mouse un'asta, cliccando rispettivamente prima sul nodo I e dopo sul nodo J da assegnare alla trave. Al secondo clic del mouse viene creata l'asta con delle caratteristiche di default.

Elenco oggetti

Il tasto Elenco oggetti apre la finestra dell'elenco aste.

Selezione

Attivando la Selezione è possibile selezionare da mouse un'asta per volta.

Selezione a box

Attivando la Selezione a box è possibile selezionare un gruppo di aste tramite la definizione di un rettangolo da mouse.

Selezione a poligono

Attivando la Selezione a poligono è possibile selezionare un gruppo di aste tramite la definizione di un poligono da mouse.

Seleziona tutto

Cliccando sul tasto Seleziona tutto vengono selezionati tutte le aste esistenti.

Deseleziona

Cliccando sul tasto di deselezione vengono disattivate tutte le aste.

Opzioni di selezione

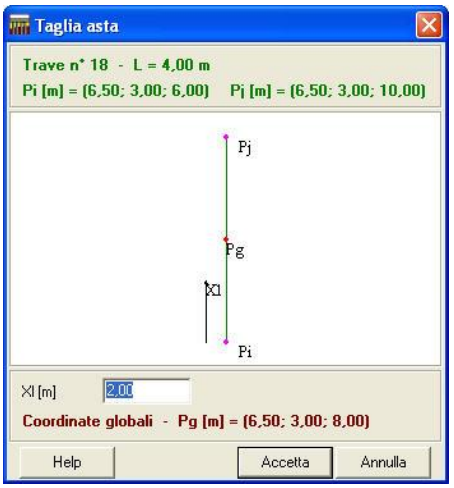
Quando il tasto opzione selezione è attivo, la selezione a box (o con poligono) è sempre additiva, mentre, quando il tasto è disattivato, la selezione a box (o con poligono) è additiva / esclusiva.

Copia / Trasla

Cliccando sul tasto Copia / trasla possono essere copiate o traslate aste tramite la finestra apposita.

Taglia

Cliccando sul tasto Taglia è possibile tagliare una singola asta tramite l'indicazione dell'ascissa locale di taglio.
Dopo aver cliccato sul tasto è necessario puntare con il mouse su un'asta esistente.
Al successivo clic si apre la finestra visualizzata sulla destra, in cui occorre specificare l'ascissa locale, in [L1].
Il taglio diventa effettivo alla pressione del tasto [**Accetta**].



Modifica

Una volta che una o più aste sono selezionate, cliccando sul tasto di modifica si entra nella finestra di modifica delle aste.

Elimina

Una volta che uno o più aste sono selezionate, cliccando sul tasto elimina le aste vengono cancellate.

Elimina dalla fase

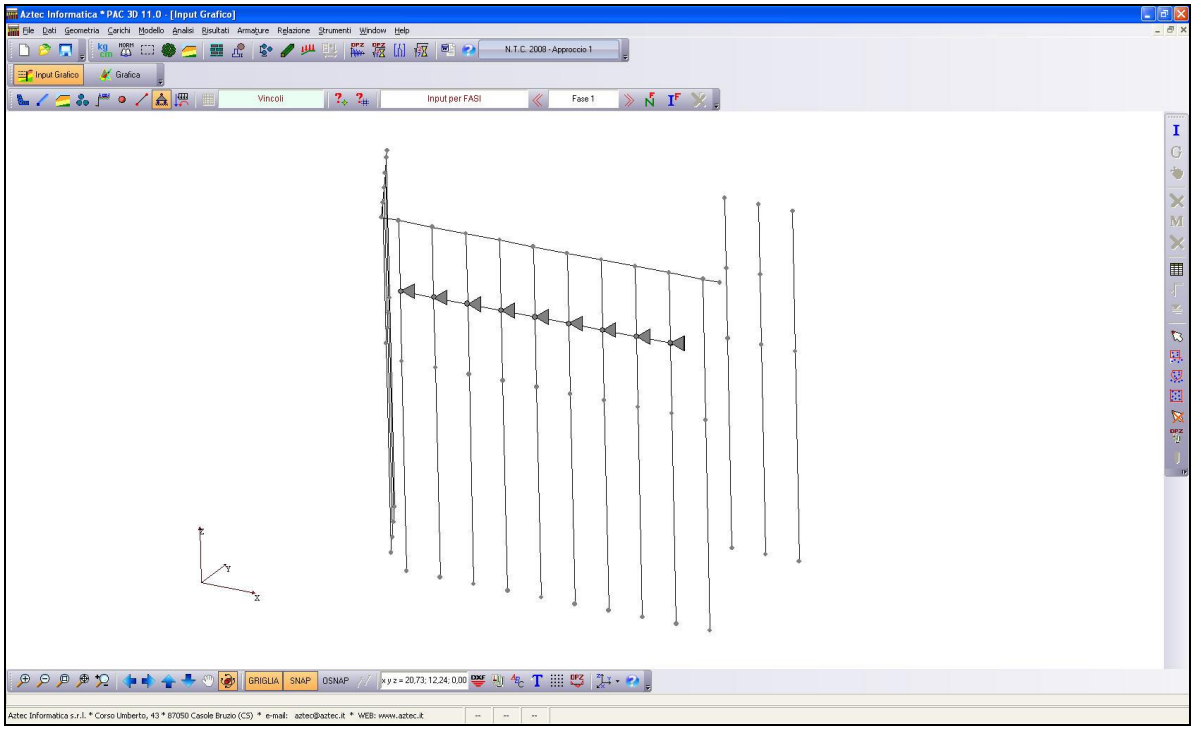
Una volta che un'asta è selezionata, cliccando sul tasto di eliminazione dalla fase l'asta può essere disattivata dalla fase corrente. Tramite una finestra di opzioni si sceglie se attivare – disattivare l'asta anche sulle fasi precedenti e su quelle successive.

Selezione sottostruttura

Durante la selezione delle aste, cliccando sul tasto è possibile attivare un filtro sulla selezione. Tramite una finestra di opzioni si sceglie se attivare il filtro di selezione solo su determinate tipologie di aste.

6.15 Fase vincoli

Nella fase vincoli viene visualizzato lo schema filiforme della struttura, insieme alla rappresentazione dei nodi vincolati. Se in precedenza è stato inserito un cordolo vincolato, PAC 3D provvede a vincolare ogni nodo del cordolo specifico. L'Utente può in ogni caso operare in questa finestra per intervenire sulle proprietà di vincolo di ogni nodo.



Inserimento grafico

Attivando l'inserimento grafico tramite il tasto presente sulla barra verticale, è possibile inserire tramite mouse un vincolo, cliccando sul nodo da vincolare. Al clic del mouse si entra nella finestra di modifica delle proprietà di vincolo del nodo.

Elenco oggetti

Il tasto Elenco oggetti apre la finestra dell'elenco dei nodi.

Selezione

Attivando la Selezione è possibile selezionare da mouse un nodo per volta.

Selezione a box

Attivando la Selezione a box è possibile selezionare un gruppo di nodi tramite la definizione di un rettangolo da mouse.

Selezione a poligono

Attivando la Selezione a poligono è possibile selezionare un gruppo di nodi tramite la definizione di un poligono da mouse.

Seleziona tutto

Cliccando sul tasto Seleziona tutto vengono selezionati tutti i nodi esistenti.

Deseleziona

Cliccando sul tasto di deselezione vengono disattivati tutti i nodi.

Opzioni di selezione

Quando il tasto opzione selezione è attivo, la selezione a box (o con poligono) è sempre additiva, mentre, quando il tasto è disattivato, la selezione a box (o con poligono) è additiva / esclusiva.

Modifica

Una volta che uno o più nodi sono selezionati, cliccando sul tasto di modifica si entra nella finestra di modifica delle proprietà di vincolo del nodo.

Elimina

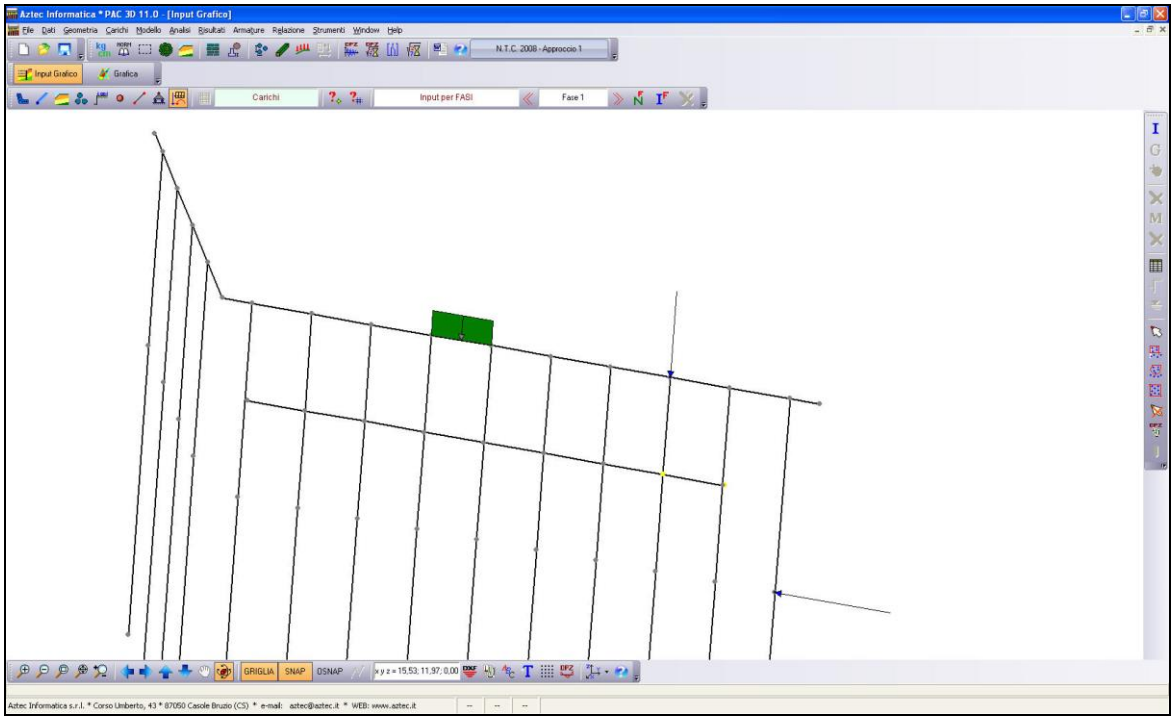
Una volta che uno o più nodi vincolati sono selezionati, cliccando sul tasto Elimina il nodo viene svincolato.

Elimina dalla fase

Una volta che un nodo vincolato è selezionato, cliccando sul tasto di eliminazione dalla fase il vincolo può essere disattivato dalla fase corrente. Tramite una finestra di opzioni si sceglie se attivare – disattivare il vincolo anche sulle fasi precedenti e su quelle successive.

6.16 Fase carichi paratia

Nella fase carichi paratia la struttura è rappresentata nello schema filiforme, insieme alla rappresentazione grafica dei carichi nodali e dei carichi applicati sugli elementi trave. In questo ambiente l'utente può in modo agevole applicare carichi in ogni zona della struttura.



Inserimento grafico

Attivando l'inserimento grafico tramite il tasto presente sulla barra verticale, è possibile inserire tramite mouse un carico trave, cliccando sull'asta da caricare. Al clic del mouse si entra nella finestra di modifica del carico.

Elenco oggetti

Il tasto Elenco oggetti apre la finestra dell'elenco carichi nodali e carichi sulle travi.

Selezione singola

Attivando la Selezione singola è possibile selezionare da mouse un carico per volta.

Selezione a box

Attivando la Selezione a box è possibile selezionare un gruppo di carichi tramite la definizione di un rettangolo da mouse.

Selezione a poligono

Attivando la Selezione a poligono è possibile selezionare un gruppo di carichi tramite la

definizione di un poligono da mouse.

Seleziona tutto

Cliccando sul tasto Seleziona tutto vengono selezionati tutti i carichi esistenti.

Deseleziona

Cliccando sul tasto di de selezione vengono disattivati tutti i carichi.

Opzioni di selezione

Quando il tasto opzione selezione è attivo, la selezione a box (o con poligono) è sempre additiva, mentre,quando il tasto è disattivato, la selezione a box (o con poligono) è additiva / esclusiva.

Modifica

Una volta che uno o più carichi sono selezionati, cliccando sul tasto di modifica si entra nella finestra di modifica delle proprietà.

Elimina

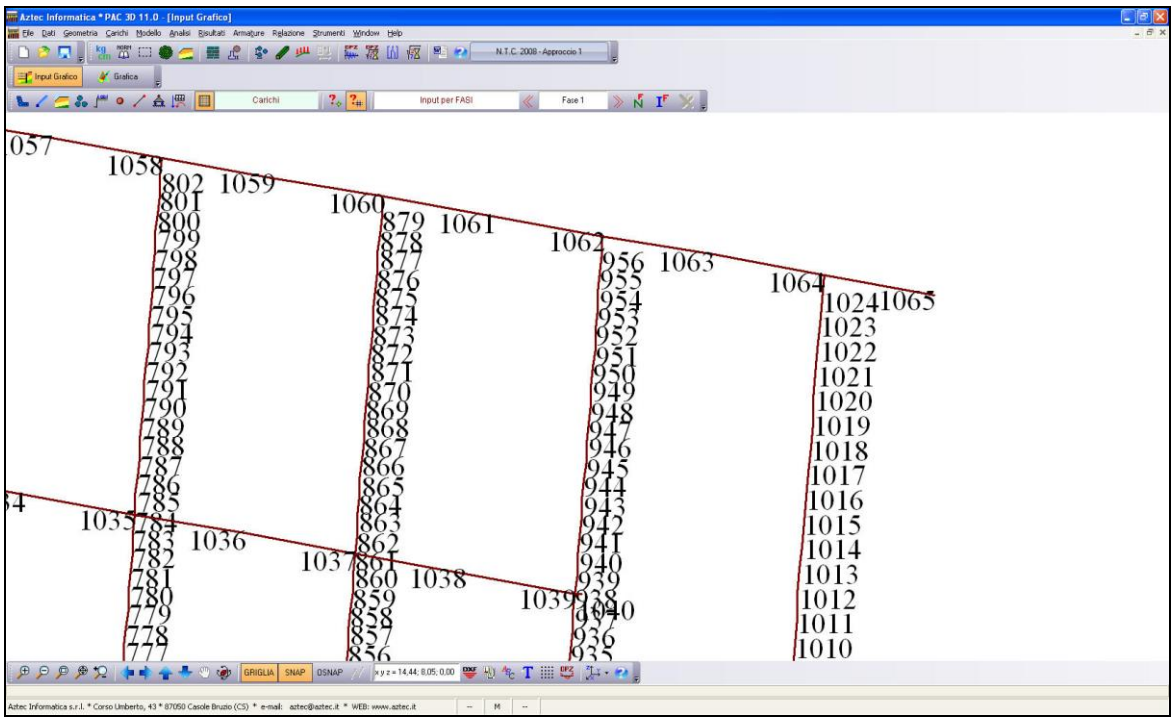
Una volta che uno o più carichi sono selezionati, cliccando sul tasto Elimina il carico viene cancellato.

Elimina dalla fase

Una volta che un carico è selezionato, cliccando sul tasto di eliminazione dalla fase il carico può essere disattivato dalla fase corrente. Tramite una finestra di opzioni si sceglie se attivare – disattivare il carico anche sulle fasi precedenti e su quelle successive.

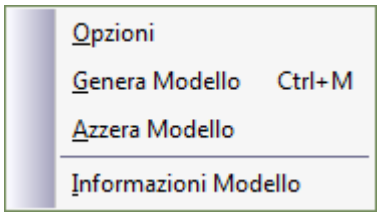
6.17 Fase elementi - nodi

Nella fase elementi - nodi è rappresentato il modello di calcolo costituito da nodi ed elementi. Nelle aste interagenti con il terreno vengono costruiti una serie di piccoli elementi per gestire al meglio l'interazione con le molle elasto-plastiche. In questo ambiente l'Utente può interrogare la numerazione dei nodi e degli elementi, ma non può intervenire a modificare direttamente gli elementi di calcolo.



Al clic del mouse sugli elementi del modello, è possibile interrogare in una finestra apposita sia alcuni dati di input che i risultati dell'analisi, interrogando in dettaglio a livello dei singoli nodi del modello.

7 Menu Modello



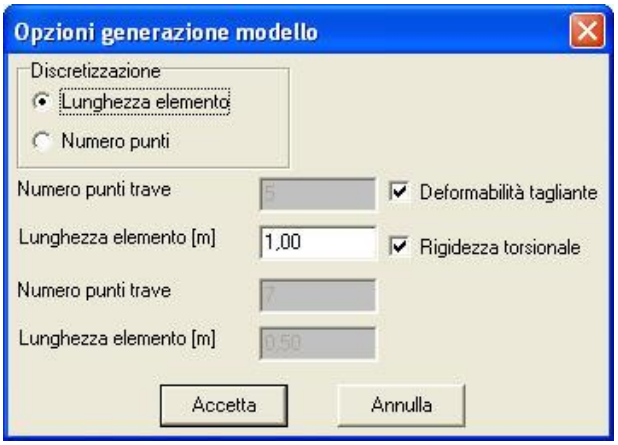
In questa voce di menu sono contenuti tutti i comandi per gestire il modello della struttura. Il menu attivato presenta le seguenti voci:

- **Opzioni**, consente di definire i parametri di generazione del modello;
- **Genera Modello**, consente di generare il modello;
- **Azzera Modello**, azzera il modello, ed eventualmente l'analisi;
- **Informazioni Modello**, visualizza informazioni sul modello.

7.1 Opzioni modello

Nella finestra di opzioni di generazione modello occorre impostare alcuni parametri:

- **Discretizzazione** del modello (con il criterio di **Lunghezza elem**ento o del **Numero punti**). Nel primo caso viene attivata la casella corrispondente in cui inserire la lunghezza dell'elemento, espressa in [L1], mentre nel secondo caso occorre definire il numero di punti con il quale discretizzare gli elementi trave.
- **Deformabilità tagliante**, da attivare/escludere negli elementi;
- **Rigidezza torsionale**, da attivare/escludere negli elementi.

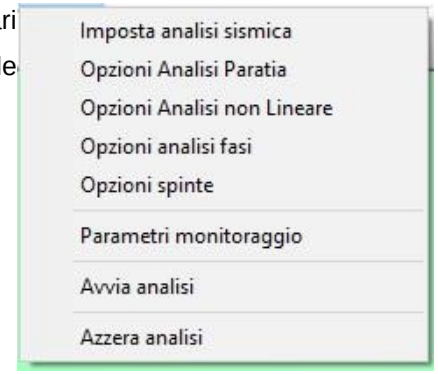


<u>Informazioni modello</u>

Nella finestra vengono riepilogati i numeri del modello, in termini di numero totale dei nodi, numero di elementi trave e numero di elementi Winkler.

8 Menu Analisi

In questa voce di menu sono contenuti tutti i comandi necessari per impostare le opzioni dell'analisi. Il menu presenta le seguenti voci:



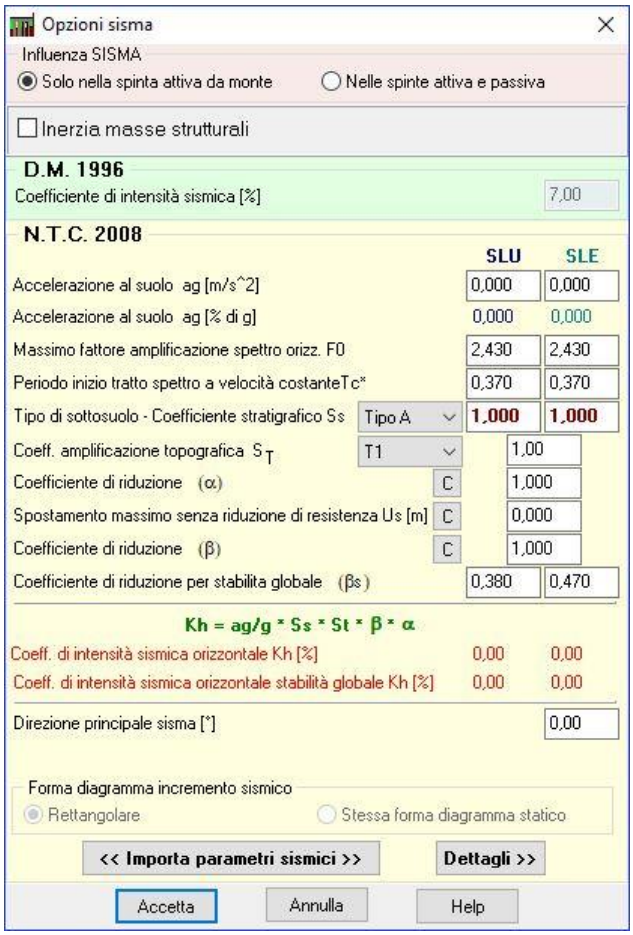
- **Imposta analisi sismica**, per definire i parametri sismici**;**
- **Opzioni**;
- **Opzioni Analisi Fasi;**
- **Opzioni spinte**;
- **Parametri monitoraggio**;
- **Analisi**, avvia il calcolo della paratia. L'analisi può essere avviata anche dal pulsante sulla Barra dei comandi. Prima di avviare il calcolo, viene eseguita una serie di controlli sulla congruenza dei dati e, se vengono rilevate delle incompatibilità, viene aperta una tabella con i vari messaggi di avvertimento;
- **Azzera analisi**, azzera tutti i risultati dell'analisi.

8.1 Imposta analisi sismica

La finestra Imposta analisi sismica viene visualizzata cliccando sull'omonima voce del Menu Analisi.

Nella finestra occorre impostare:

- l'**Influenza del sisma** (**Solo nella spinta attiva da monte** o **Nelle spinte attive e passive**);
- se si imposta come **Normativa il D.M. 1988 + D.M. 1996** occorre definire solo il **Coefficiente di intensità sismica in percento (%).** Il valore dipende dalla categoria sismica della zona;
- se si impostano come **Normativa le N.T.C. 2008,** occorre definire sia per analisi **SLU** che **SLE** i tre valori:
  - ag, accelerazione al suolo in m/s2;
  - F0, massimo fattore amplificazione spettro orizzontale;
  - Tc*, periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.



Questi 3 parametri dipendono dallo stato limite scelto e si evincono dalle tabelle dei parametri spettrali in allegato alla Norme Tecniche 2008. Tali valori dipendono dalla posizione del sito nel reticolo di base (latitudine e longitudine) e dal periodo di ritorno TR:

			T_R=30			T_R=50			T_R=72		
ID	LON	LAT	a_g	F_o	T_C^*	a_g	F_o	T_C^*	a_g	F_o	T_C^*
13111	6.5448	45.134	0.263	2.50	0.18	0.340	2.51	0.21	0.394	2.55	0.22
13333	6.5506	45.085	0.264	2.49	0.18	0.341	2.51	0.21	0.395	2.55	0.22
13555	6.5564	45.035	0.264	2.50	0.18	0.340	2.51	0.20	0.393	2.55	0.22
13777	6.5621	44.985	0.263	2.50	0.18	0.338	2.52	0.20	0.391	2.55	0.22

- Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico SS, la normativa prevede un ulteriore incremento sismico in funzione della categoria di sottosuolo di fondazione. Sono previste 5 categorie di sottosuolo individuate dalle lettere A, B, C, D, E. In base al tipo di sottosuolo scelto viene impostato un valore di amplificazione. Tale valore proposto può essere cambiato dall'Utente.

Tabella 3.2.V – *Espressioni di* S_S *e di* C_C

Categoria sottosuolo	S_S	C_C
A	1,00	1,00
B	$1,00 \le 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \le 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \le 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1,80 \cdot$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \le 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

- Coefficiente di amplificazione topografica ST, è un coefficiente amplificativo per opere erette in prossimità di pendii con inclinazione superiore ai 15° e dislivello superiore a 30 metri. Tale coefficiente può assumere valori compresi fra 1.0 ed 1.4.

Tabella 3.2.VI – *Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica* S_T

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

- Coefficiente di riduzione α, e' il primo dei due coefficienti che possono ridurre l'azione sismica sul calcolo delle paratia. E' un coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni interagenti con la paratia e può assumere un valore compreso fra 0 e 1. Per la valutazione della spinta nelle

condizioni di equilibrio limite passivo deve porsi α = 1. Il coefficiente viene calcolato automaticamente premendo sul pulsante [C].

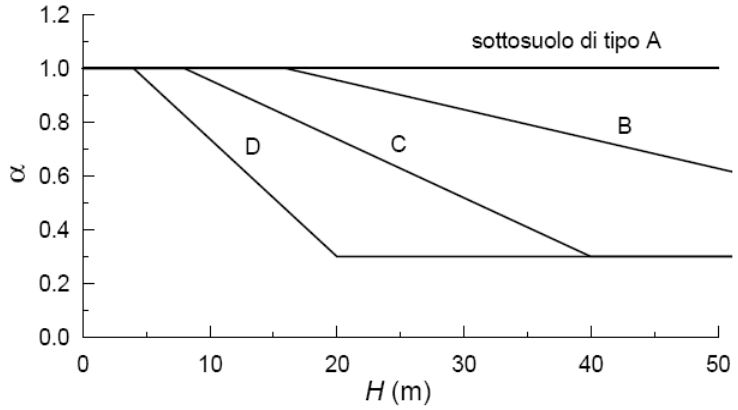


Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità α

- Spostamento massimo senza riduzione di resistenza Us, rappresenta il massimo spostamento che l'opera può tollerare senza riduzioni di resistenza. Premendo sul pulsante [C] lo spostamento viene impostato al valore massimo previsto da Norma, ossia alled elatot azzetla'lled ‰ 5 li

- Coefficiente di riduzione β, è un coefficiente funzione della capacità dell'opera di subire spostamenti senza cadute di resistenza e può assumere un valore compreso fra 0 e 1. Il coefficiente viene calcolato automaticamente premendo sul pulsante [C].

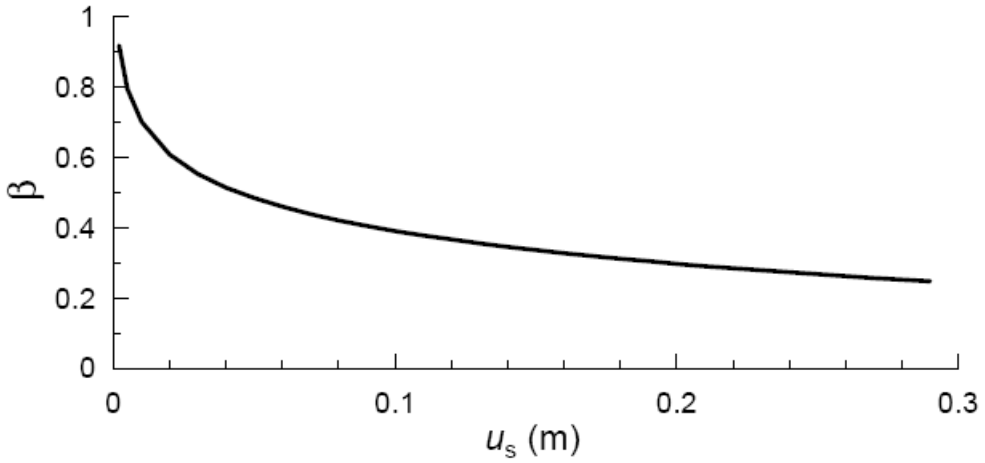
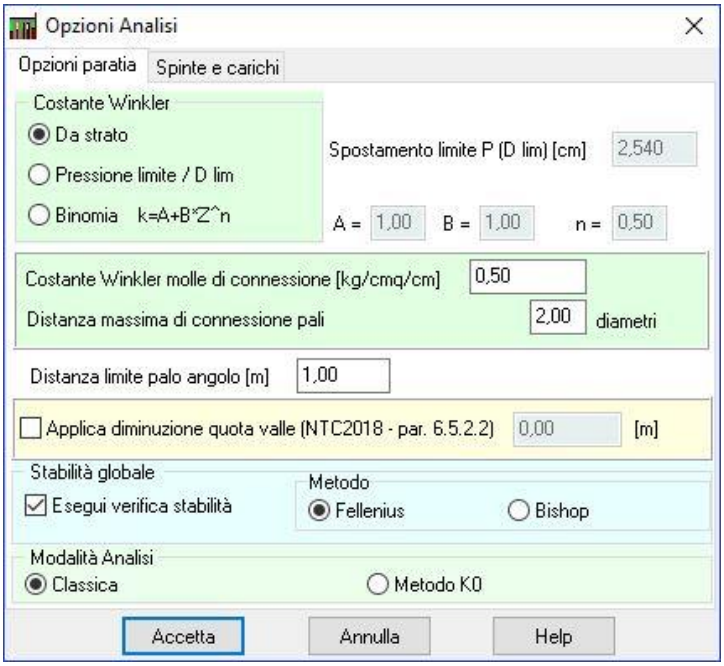


Diagramma per la valutazione del coefficiente di spostamento β.

- Direzione principale sisma, rappresenta la direzione principale del sisma rispetto all'asse X in senso antiorario. Se è 0° il sisma avrà direzione asse X, se è 90° direzione asse Y, ecc. Occorre prestare attenzione alla direzione del sisma perché influisce sull'aliquota di ogni tratto.
- Forma diagramma incremento sismico, il diagramma di incremento sismico può essere di forma rettangolare oppure può assumere la stessa forma del diagrammo statico.

8.2 Opzioni Analisi

Nella finestra sono presenti 2 schede: **Opzioni paratia** e **Spinte e carichi**.



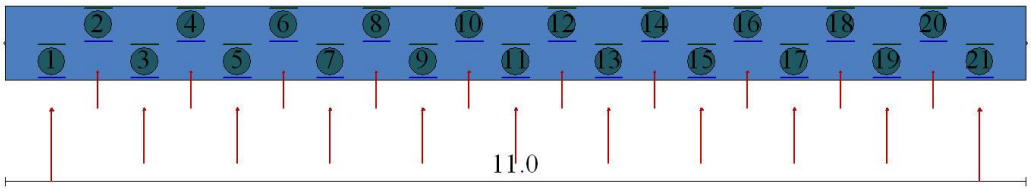
Nella scheda Opzioni paratia occorre impostare:

- **Costante di Winkler** orizzontale che può essere:
  - **Da strato**, verrà preso il valore definito per ogni strato (a valle e a monte) nella finestra Definizione Strato;
  - **Pressione limite / Dlim**.,viene attivata la casella corrispondente dove occorre definire lo spostamento limite, espresso in [L2]. La rigidezza di Winkler sarà data dal rapporto tra Pressione limite e Spostamento limite definito (Dlim);
  - **Binomia**. il valore della costante di Winkler sarà variabile con la profondità secondo la legge espressa dalla relazione K = A+B*Z^n nella quale la profondità Z è espressa in [L1]. A rappresenta il valore della costante per Z = 0, mentre il valore di n dipende dal tipo di legge che si intende assumere. Ad esempio volendo assumere una legge di variazione lineare si imposta n = 1, mentre volendo impostare una legge di variazione di tipo radice quadrata si imposta il valore n = 0.5. Se si volesse impostare una legge di variazione lineare tale da avere un valore 1 in corrispondenza della superficie ed un valore 5 alla profondità di 10 metri andrebbero impostati i seguenti valori: A=1, B=0.4, n=1.
- **Costante Winkler molle di connessione**, espressa in [P1 /L2], viene utilizzata nel caso di più file di pali. Questa variabile rappresenta la rigidezza da attribuire alle molle di connessione tra i pali, nel caso in cui i pali appartengano a file diverse e ci siano le condizioni per la connessione.
- **Distanza massima di connessione pali**, espressa in [diametri], viene utilizzata nel caso di doppia fila di pali; con questa opzione l'utente può far variare la soglia di connessione tra i pali. L'opzione è utile per gestire se connettere le due file con delle molle interne o far lavorare separatamente le file di pali. Essa rappresenta la distanza massima al di sotto della quale il

programma collega con elementi molle i pali posti su file diverse, per tenere conto del terreno fra gli stessi.

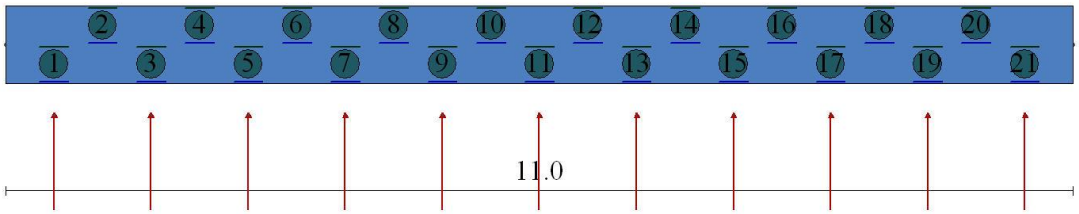
- **Distanza limite palo angolo**, espressa in [L1]; con questa variabile l'utente può scegliere quando identificare un palo come palo d'angolo. Sul palo d'angolo vengono posizionate molle elastoplastiche nelle due direzioni orizzontali. Tutti i pali che distano dagli angoli in misura minore della distanza limite vengono considerati pali d'angolo.
- **Fattore influenza**, viene utilizzato nel caso di doppia fila di pali. E' un coefficiente amplificativo del diametro di ogni palo, che interviene nella procedura automatica di schermatura fra le file. Per valutare l'influenza di schermatura di ogni palo il diametro viene moltiplicato per questo fattore amplificativo.

  Ad esempio si considera il caso di una doppia fila di pali con interasse di 1.0 m disposti a quinconce. Se il fattore di influenza è basso la fila di monte scherma di meno e quindi la fila di valle assorbirà una certa aliquota di spinta attiva.



Fattore di influenza = 2.0

Se invece aumentiamo il fattore di influenza, la fila di monte sarà in grado di schermare completamente quella di valle e quindi assorbirà per intero la spinta attiva da monte. Nelle figure sono riportate con frecce rosse le aliquote di spinta attiva agenti su ogni palo.



Fattore di influenza = 5.0

- **Stabilità globale**. L'analisi di stabilità globale viene operata nel punto centrale di ogni tratto, nell'ipotesi di deformazione piana. L'analisi può essere operata a scelta con il metodo di Fellenius o di Bishop;
- **Modalità di Analisi**. L'analisi della paratia può essere condotta secondo due modalità:
  - la modalità **Classica** prevede la valutazione della spinta attiva e della resistenza passiva in corrispondenza di ogni molla. L'analisi viene condotta incrementando la spinta da monte, portando a rottura le molle ed eventualmente creando un meccanismo di collasso e la perdita di equilibrio;

- il **metodo K0** (chiamato anche metodo della spinta a riposo iniziale) prevede una pressione iniziale sulle molle, pari alla pressione in sito. Viene ricreato un diagramma forza-spostamento per il terreno, operando la rimozione graduale del terreno a valle della paratia, fino al raggiungimento della linea di fondo scavo.

Nella scheda Spinte e carichi, occorre impostare:

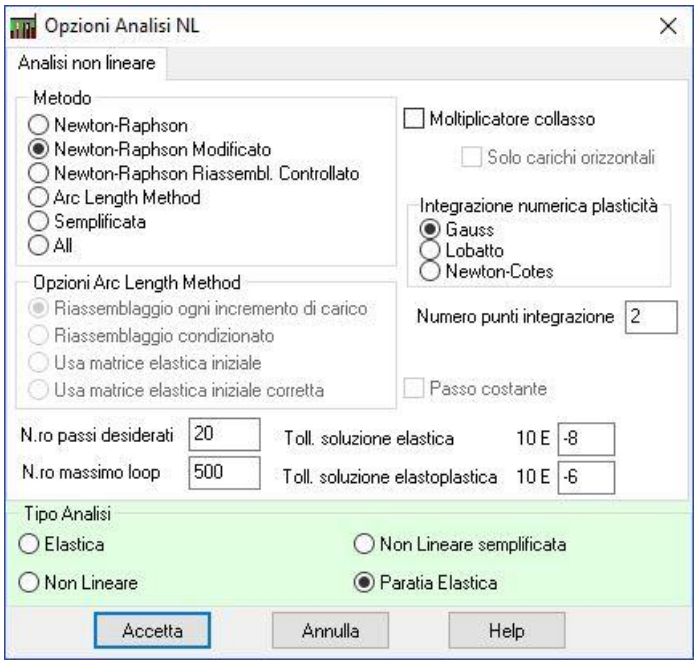
- **Coeff. parziali caso A2M2 sismico**

Si può scegliere se i coefficienti parziali sui parametri geotecnici nel caso sismico vanno applicati sulla spinta totale o sull'incremento. La prima opzione, in zone di bassa sismicità, può generare valori di spinta minori nel caso sismico rispetto al caso statico. Ciò è legato al fatto che le NTC 2018 indicano per i coefficienti **γM** valori maggiori di uno nel caso statico, unitari nel caso sismico.

- **Direzione Spinta**, a scelta tra:
  - Angolo impostato. La direzione di spinta del terreno verrà definita su ogni tratto della paratia tramite la finestra Definizione tratto paratia alla voce Direzione di spinta;
  - Ortogonale tratto (default). La spinta del terreno è sempre ortogonale al tratto della paratia.
- **Influenza dei carichi di profilo**. È necessario definire:
  - Distanza limite di influenza dei carichi a monte, espressi in [L1]; se un carico dista da un palo in pianta in misura maggiore di questa distanza, i suoi effetti sul palo non vengono considerati.
  - Angolo limite di influenza, espresso in [°]; L'effetto di un carico a monte viene valutato solo se l'angolo compreso tra l'ortogonale al tratto e il segmento palo-carico è inferiore all'angolo limite di influenza.
  - Suddivisione sui pali; indica in quanti punti per ogni palo si vuole valutare la pressione dovuta ai sovraccarichi da monte.

Suddivisioni carico. Indica in quanti punti discretizzare il carico di profilo (carico di linea o carico distribuito). Gli effetti su ogni palo sono poi valutati come la somma di più carichi concentrati.

8.3 Opzioni Analisi non Lineare



Nella scheda di Analisi non lineare occorre impostare:

- il **Metodo** usato per l'analisi che può essere:
  - Newton-Raphson;
  - Newton-Raphson Modificato;
  - Newton-Raphson con riassembl. Controllato;
  - Arc Length Method;
  - Semplificata.

Nel caso si scelga l'Arc Length Method le opzioni ulteriori prevedono:

  - Riassemblaggio ogni incremento di carico;
  - Riassemblaggio condizionato;
  - Usa matrice elastica iniziale;
  - Usa matrice elastica iniziale corretta.
- **Moltiplicatore collasso**, che può essere applicato Solo ai carichi orizzontali. Se questa voce è selezionata, il programma incrementerà il carico fino a portare l'insieme terreno-paratia al collasso e di conseguenza il moltiplicatore dei carichi λ, visto nei paragrafi precedenti, potrà assumere valori superiori all'unità.
- **Integrazione numerica plasticità**, che può essere:
  - Gauss;
  - Lobatto;
  - Newton-Cotes.

- **Numero punti integrazione**, rappresenta il numero di sezioni poste all'interno degli elementi strutturali per poter considerare l'effetto di plasticità diffusa
- **Passo costante**, solo con Arc Length Method; indica al programma se determinare il valore di β per determinare l'estrapolazione di inizio passo oppure procedere con un passo di carico costante
- **N.ro passi desiderati**, rappresenta il numero di intervalli desiderati per applicare i carichi esterni.
- **N.ro massimo loop**, rappresenta il numero massimo di loop per raggiungere la convergenza all'interno di un passo di carico. Se tale numero viene superato il programma arresta l'analisi e segnala la mancata convergenza.
- **Toll. Soluzione elastica**, rappresenta la tolleranza utilizzata per determinare la soglia di convergenza come descritto nei paragrafi precedenti nel caso di soluzione elastica
- **Toll. Soluzione elastoplastica**, rappresenta la tolleranza utilizzata per determinare la soglia di convergenza, per i processi di soluzione iterativi, descritti nei paragrafi precedenti, in caso di soluzione elasto-plastica.

Nella scheda Spinte e carichi, occorre impostare:

- **Direzione Spinta**, a scelta tra:
  - Angolo impostato. La direzione di spinta del terreno verrà definita su ogni tratto della paratia tramite la finestra Definizione tratto paratia alla voce Direzione di spinta;
  - Ortogonale tratto (default). La spinta del terreno è sempre ortogonale al tratto della paratia.
- **Influenza dei carichi di profilo**. È necessario definire:
  - Distanza limite di influenza dei carichi a monte, espressi in [L1]; se un carico dista da un palo in pianta in misura maggiore di questa distanza, i suoi effetti sul palo non vengono considerati.
  - Angolo limite di influenza, espresso in [°]; L'effetto di un carico a monte viene valutato solo se l'angolo compreso tra l'ortogonale al tratto e il segmento palo-carico è inferiore all'angolo limite di influenza.
  - Suddivisione sui pali; indica in quanti punti per ogni palo si vuole valutare la pressione dovuta ai sovraccarichi da monte.
  - Suddivisioni carico. Indica in quanti punti discretizzare il carico di profilo (carico di linea o carico distribuito). Gli effetti su ogni palo sono poi valutati come la somma di più carichi concentrati.

Nel pannello in basso è possibile definire il Tipo Analisi, che può essere:

- **Elastica**;
- **Non Lineare semplificata**;
- **Non Lineare**;
- **Paratia Elastica**.

Con questa opzione l'Utente può scegliere se concentrare la non-linearità nel solo terreno (Analisi con Paratia Elastica) o considerare sia terreno che sezioni in c.a. con comportamento non-lineare (Analisi non lineare). Nell'analisi non lineare semplificata il terreno è completamente non lineare, mentre gli elementi in c.a. sono modellati con una non-linearità semplificata, valutando solo gli effetti flessionali.

8.4 Opzioni analisi fasi

Questa finestra è disponibile solo se la *Tipologia di Calcolo* è **Analisi per fasi**. All'interno della finestra si può scegliere se analizzare ogni fase secondo le tre modalità

Analisi con parametri caratteristici;

Analisi con coefficienti tipo A1-M1;

Analisi con coefficienti tipo A2-M2.

Nella prima modalità vengono mantenuti i dati inseriti da Utente. La seconda modalità incrementa i carichi secondo i coefficienti A1 previsti da norma. La terza modalità incrementa in modo minore i carichi (coeff. A2) e riduce le caratteristiche del terreno secondo i coeff. M2.

In <Sisma e verifiche parametri caratteristici>, è necessario definire quale sisma utilizzare nelle fasi analizzate con parametri caratteristici, e che tipo di verifiche effettuare, tra lo stato limite SLU o SLE.

In <Valori limiti tensionali …> è possibile impostare quale combinazione di esercizio adottare per effettuare i limiti sulle verifiche tensionali.

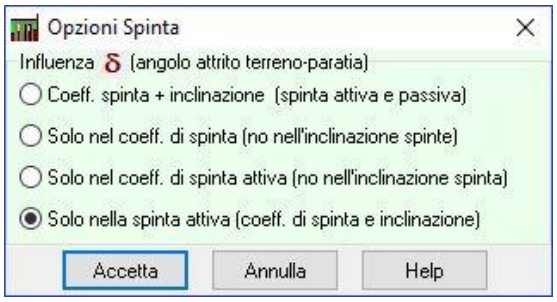
In <Coefficienti sulle azioni (A1-M1; A2-M2)> è possibile impostare:

Coeff. Parziali statici.

Coeff. Parziali sismici. Sotto sisma i carichi non devono essere incrementati con i coefficienti γ.

L'opzione Analisi sismica, deve essere attivata se si desidera inserire il sisma nell'analisi per fasi di scavo, al termine delle fasi. Attivando questa opzione vengono aggiunte una o più analisi sismiche a partire dall'ultima fase statica, in funzione della geometria in pianta della paratia.

8.5 Opzioni spinte



Nella finestra è possibile scegliere l'**influenza del δ** (angolo di attrito paratia-terreno) nel calcolo della spinta:

Coeff. spinta + inclinazione (spinta attiva e passiva), influenza del δ sia nei coefficienti di spinta attiva e passiva sia nell'inclinazione delle spinte;

Solo nel coeff. di spinta (no nell'inclinazione spinte), influenza del δ solo nei coefficienti di spinta attiva e passiva;

Solo nel coeff. di spinta attiva (no nell'inclinazione spinta), influenza del δ solo nel coefficiente di spinta attiva;
Solo nella spinta attiva (coeff. di spinta e inclinazione), influenza del δ solo nella spinta attiva (sia nel coefficiente di spinta sia nell'inclinazione).

8.6 Parametri monitoraggio

Nella tabella è possibile aggiungere, tramite il pulsante [**Aggiungi**], un elenco di nodi sui quali effettuare un monitoraggio degli spostamenti (attivando il check **Spostamento**) e delle tensioni (attivando il check **Tensioni**).
Per ogni nodo è possibile definire:
Nodo, indice del nodo da monitorare;
X, Y e Z rappresentano gli spostamenti in direzione x, y e z da controllare in fase di analisi, espressi in [L2].

8.7 Analisi

Per eseguire l'analisi è possibile accedere dalla presente voce di Menu, oppure dal tasto della Barra dei comandi. Se il modello non è stato ancora creato, all'avvio dell'analisi viene richiesta la generazione dello stesso. Se l'analisi è stata già eseguita, vengono visualizzate le finestre di output.
Azzera Analisi
Al clic di questa voce di Menu viene azzerata l'analisi ed i corrispondenti risultati. Viene invece mantenuto il modello di calcolo.

9 Menu Armature

In questa voce di menu sono contenuti tutti i comandi necessari per impostare le specifiche per la progettazione dell'armatura.

Il menu presenta le seguenti voci:

Opzioni armature, permette di accedere all'omonima finestra, per definire le opzioni che riguardano il progetto dell'armatura;

Disponi Armature, consente di impostare velocemente le armature in ogni sezione, in base alle specifiche definite nelle Opzioni armature. La disposizione pre-analisi delle armature è necessaria per il calcolo non-lineare delle sezioni in c.a.;

Opzioni verifiche SLE, per impostare i dati ed i metodi per le verifiche degli Stati Limiti di Esercizio;

Opzioni verifiche SLU, per impostare i dati ed i metodi per le verifiche degli Stati Limiti Ultimi;

Progetto armature, esegue il progetto delle armature in base alle sollecitazioni calcolate ed in base alle specifiche definite nella finestra di Opzioni armatura. Una volta progettata l'armatura vengono verificate tutte le sezioni e viene calcolato l'impegno della sezione a presso-flessione, taglio e torsione;

Verifiche sezioni, una volta completata l'analisi, consente di effettuare le verifiche delle sezioni di pali, cordoli e aste, utilizzando l'armatura presente sugli elementi in quel momento, senza operare alcuna modifica;

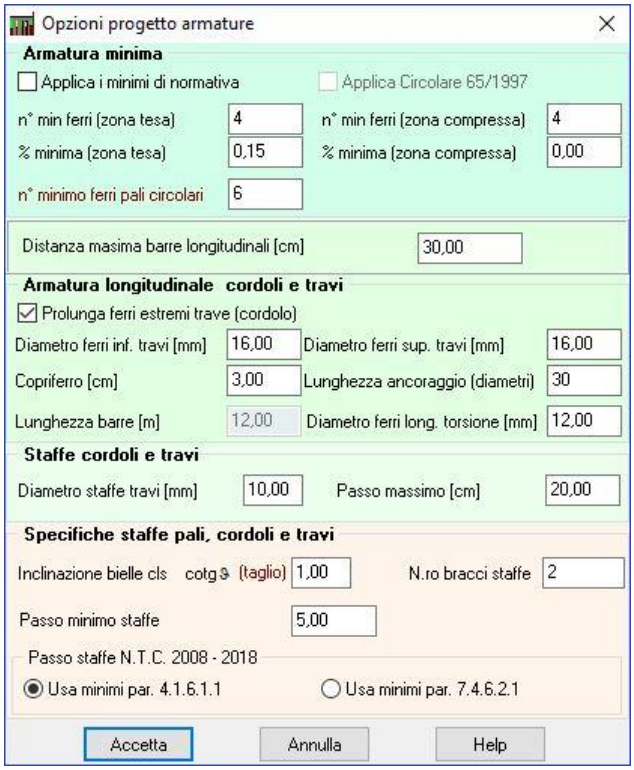
Azzera Armature, azzera tutte le armature presenti negli elementi.

9.1 Opzioni armature

E' possibile accedere alla finestra Opzioni armature dall'omonima voce del Menu Armature o dal pulsante della Barra dei comandi.

Nella finestra è possibile definire le specifiche per le armature tramite:

- **Armatura minima**. È possibile applicare i Minimi di normativa o definire dei minimi utente come:
  - n° min ferri (zona tesa);
  - n° min ferri (zona compressa);
  - % minima (zona tesa);
  - % minima (zona compressa).



  Se sono definiti entrambi, il programma applicherà il massimo tra i due;
- **Distanza massima barre longitudinali, espressa in [L2];**
- **Armatura longitudinale di cordoli e travi**, per la quale è possibile impostare:
  - Prolunga ferri estremi trave (cordolo);
  - Diametro ferri inf. travi, espresso in [L3];
  - Diametro ferri sup. travi, espresso in [L3];
  - Copriferro, espresso in [L2];
  - Lunghezza ancoraggio, espressa in diametri;
  - Lunghezza massima delle barre, espressa in [L1].
- **Staffe di cordoli e travi**, per i quali è possibile impostare:
  - Diametro staffe travi, espresso in [L3];
  - Passo massimo, espresso in [L2];
- **Specifiche staffe di pali cordoli e travi**, per i quali è possibile impostare:
  - Inclinazione bielle cls, espressa come cotg(θ).
  - Numero bracci delle staffe.

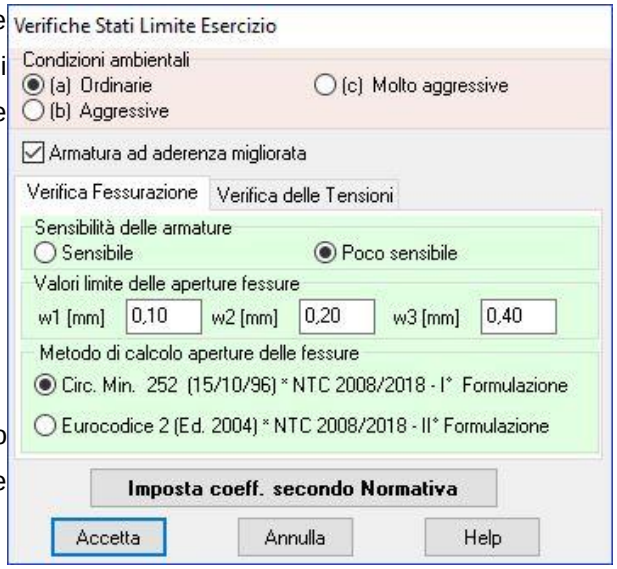
Se si imposta Norme Tecniche per le Costruzioni (2008 o 2018) come normativa di riferimento per il calcolo, il programma farà riferimento, nel calcolo delle armature, ai minimi indicati al punto 7.4.6.2 delle norme.

9.2 Opzioni verifiche SLE

E' possibile accedere a questa finestra solo se si lavora a Stato Limite. In questa finestra si impostano i parametri per potere effettuare le Verifiche agli Stati Limite d'Esercizio.

È possibile impostare:

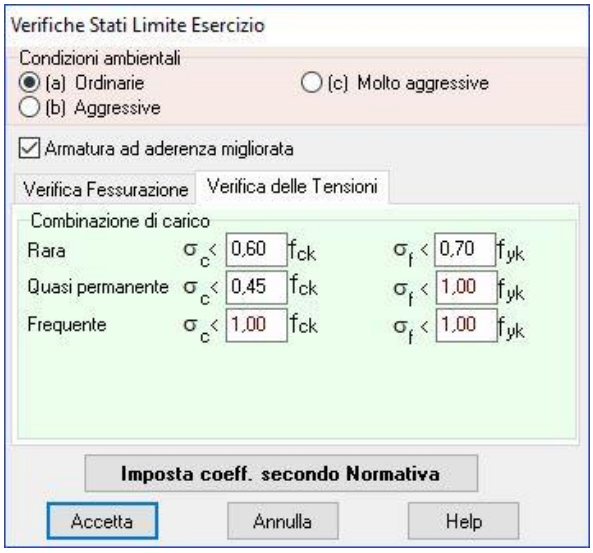
- **Condizioni ambientali**, a scelta tra:
  - Poco aggressive;
  - Moderatamente aggressive;
  - Molto aggressive.
- **Armatura ad aderenza migliorata**, sono presenti due schede: Verifica Fessurazione e Verifica delle Tensioni.



Nella scheda Verifica fessurazione è possibile impostare:

Sensibilità delle armature. A scelta tra:

- Sensibile. Appartengono a questo gruppo gli acciai temprati, non rinvenuti, di qualunque diametro e gli acciai incruditi a freddo soggetti a tensioni permanenti superiori a 390 N/mmq;
- Poco sensibile. Appartengono a questo gruppo le altre armature e quelle adeguatamente protette;
- **Valori limiti delle aperture fessure w1, w2, w3**. Sono i valori limite delle aperture delle fessure che il programma utilizza per effettuare la verifica, espresse in [L3];
- **Metodo di calcolo aperture delle fessure**, che può essere:
  - Circ. min. 252 (15/10/96) * NTC 2008 – I° Formulazione;
  - Eurocodice 2 (Ed. 2004) * NTC 2008 – II° Formulazione.

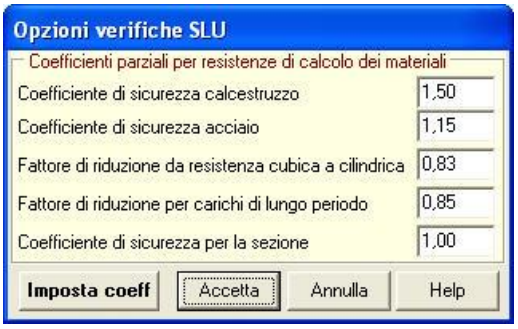


Nella scheda Verifica delle Tensioni è possibile impostare la tensione massima nel calcestruzzo e nell'acciaio in funzione delle combinazioni di carico d'esercizio (Rara, Quasi permanente e Frequente) necessari per la verifica delle tensioni.

Il pulsante [**Imposta coeff. secondo Normativa**], permette di impostare automaticamente i coeff. di sicurezza ed i fattori di riduzione previsti dalla norma prescelta.

9.3 Opzioni verifiche SLU

E' possibile accedere a questa finestra solo se si sta lavorando a Stato Limite.



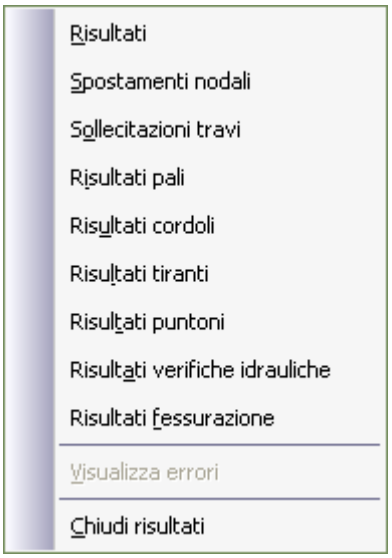
Nella finestra è possibile impostare i diversi coefficienti:

- **Coefficiente di sicurezza del calcest**ruzzo, rappresenta il coefficiente per il quale viene divisa la resistenza caratteristica cubica del calcestruzzo per fornire la resistenza di calcolo;
- **Coefficiente di sicurezza dell'acciaio**, rappresenta il coefficiente per il quale viene divisa la tensione di snervamento dell'acciaio per fornire la resistenza di calcolo;
- **Fattore di riduzione da resistenza cubica a cilindrica**;
- **Fattore di riduzione per carichi di lungo periodo**;
- **Coeff. di sicurezza della sezione**, coefficiente di sicurezza rispetto alla sollecitazione ultima della sezione della paratia.

Il pulsante [**Imposta coeff.**], permette di impostare automaticamente i coeff. di sicurezza e i fattori di riduzione previsti dalla norma prescelta.

10 Menu Risultati

Il menu attivato presenta le seguenti voci, le quali permettono di visualizzare le finestre dei risultati associati:



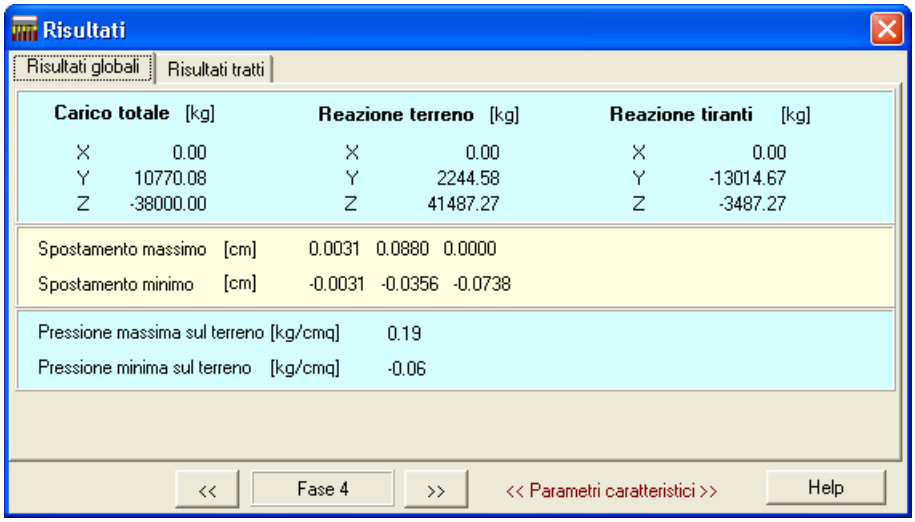
- **Risultati di sintesi**;
- **Spostamenti nodali**;
- **Sollecitazioni travi**;
- **Risultati pali**;
- **Risultati cordoli**;
- **Risultati tiranti**;
- **Risultati puntoni**;
- **Risultati verifiche idrauliche**;
- **Risultati fessurazione**;
- **Visualizza errori**, permette di visualizzare gli errori che si sono generati durante l'analisi;
- **Chiudi tutti i risultati**, permette di chiudere contemporaneamente tutte le finestre dei risultati attivi.

10.1 Risultati di sintesi

La finestra **Risultati di sintesi** può essere richiamata dall'omonima voce del **menu Risultati**. La finestra è suddivisa in due pannelli: **Risultati globali** e **Risultati tratti**.

Sia nel pannello risultati globali che nel pannello risultati tratti vengono riportati i carichi che agiscono sulla struttura, le reazioni del terreno, le reazioni dei tiranti, gli spostamenti massimi e minimi, nelle tre direzioni X, Y e Z. Inoltre viene riportata anche la pressione massima e minima sul terreno.

Se viene eseguita un'analisi a rottura, con la ricerca del moltiplicatore di collasso della struttura, nell'ultima fase di calcolo, nella finestra viene inoltre riportato il moltiplicatore di collasso.



Nel pannello Risultati tratti il carico (che in direzione normale rappresenta la **spinta** totale sul tratto) deve essere equilibrato dalla reazione del terreno, dei tiranti, dei puntoni e dei vincoli:

Carico = Reazione (terreno + tiranti + puntoni + vincoli).

Quando l'analisi è a rottura:

Carico × Moltiplicatore di collasso = Reazione (terreno + tiranti + puntoni + vincoli).

In fondo alla finestra viene inoltre indicato il tipo di combinazione/fase selezionata.

Se il calcolo è stato eseguito per combinazioni di carico, viene indicato se la combinazione è allo stato limite ultimo (**SLU**) o di esercizio (**SLE**) e il caso (per le combinazioni allo stato limite ultimo **A1-M1** o **A2-M2**, per le combinazioni allo stato limite di esercizio **Frequente**, **Quasi permanente** o **Rara**).

Se il calcolo viene eseguito per fasi di scavo, viene indicato il tipo di analisi eseguita: **analisi con parametri caratteristici**, **analisi con coefficienti A1-M1** o **analisi con coefficienti A2-M2**. Cliccando sopra la descrizione è possibile passare da un'analisi all'altra, se sono state eseguite più tipi di analisi (vedi **Opzioni analisi per fasi** del menu Analisi).

10.1.1 Dettagli risultati fase

La finestra **Dettagli risultati fase** viene aperta automaticamente quando vengono richiamati i risultati di sintesi e l'analisi è per fasi di scavo. La finestra riporta una tabella nella quale vengono indicate le fasi selezionate e per ognuna di essa il tipo di analisi eseguita (analisi con parametri caratteristici, analisi con parametri A1-M1 e analisi con parametri A2-M2) e l'esito dell'analisi.

L'esito "OK" indica che il programma in quella fase ha raggiunto la convergenza, mentre l'esito "NON OK" indica che non è stata raggiunta la convergenza. Quando in una fase non si raggiunge la convergenza (non c'è equilibrio del sistema), tutte le fasi che seguono avranno lo stesso esito.

Dettagli Risultati Fasi

Fase	Parametri caratteristici	Parametri A1-M1	Parametri A2-M2
1	OK	--	--
2	OK	--	--
3	OK	--	--
4	OK	--	--
5	OK	--	--
6	OK	--	--
7	OK	--	--

In un'analisi per combinazioni di carico, questa finestra non viene visualizzata e l'esito dell'analisi (convergenza o non convergenza) viene riportato nella tabella risultati di sintesi. In un'analisi per combinazioni di carico, la non convergenza in una fase non influenza le combinazioni successive.

Si ricorda che, in un'analisi per combinazioni di carico, la configurazione di partenza della paratia è una configurazione indeformata e da questa configurazione si valuta la configurazione di equilibrio. In un'analisi per fasi di scavo, la configurazione deformata nella fase i-esima e la configurazione di partenza per la fase successiva (i+1)-esima.

10.2 Risultati spostamenti nodali

La finestra **Risultati spostamenti nodali** può essere richiamata dall'omonima voce del **menu Risultati**. Nella finestra sono riportati tutti gli spostamenti subiti dai singoli nodi del modello di calcolo della struttura.

Gli spostamenti in direzione X, Y e Z sono rappresentati rispettivamente da U, V e W e sono espressi in [L2], mentre le rotazioni rispetto alle direzioni X, Y e Z sono rappresentate da PhiX, PhiY e PhiZ e sono espresse in [°].

Spostamenti * Combinazione 1

N°	X[m]	Y[m]	Z[m]	U[cm]	V[cm]	W[cm]	PhiX	PhiY	PhiZ
1	2.50	1.00	0.00	0.0026233	0.0000000	-0.0557253	0.0000000	-0.0000026	0.0000000
2	2.50	1.00	0.15	0.0025829	0.0000000	-0.0557695	0.0000000	-0.0000026	0.0000000
3	2.50	1.00	0.31	0.0025426	0.0000000	-0.0558136	0.0000000	-0.0000026	0.0000000
4	2.50	1.00	0.46	0.0025022	0.0000000	-0.0558575	0.0000000	-0.0000026	0.0000000
5	2.50	1.00	0.62	0.0024618	0.0000000	-0.0559012	0.0000000	-0.0000026	0.0000000
6	2.50	1.00	0.77	0.0024215	0.0000000	-0.0559448	0.0000000	-0.0000026	0.0000000
7	2.50	1.00	0.92	0.0023811	0.0000000	-0.0559882	0.0000000	-0.0000026	0.0000000
8	2.50	1.00	1.08	0.0023408	0.0000000	-0.0560315	0.0000000	-0.0000026	0.0000000
9	2.50	1.00	1.23	0.0023004	0.0000000	-0.0560746	0.0000000	-0.0000026	0.0000000
10	2.50	1.00	1.38	0.0022601	0.0000000	-0.0561175	0.0000000	-0.0000026	0.0000000
11	2.50	1.00	1.54	0.0022197	0.0000000	-0.0561603	0.0000000	-0.0000026	0.0000000
12	2.50	1.00	1.69	0.0021793	0.0000000	-0.0562030	0.0000000	-0.0000026	0.0000000
13	2.50	1.00	1.85	0.0021390	0.0000000	-0.0562455	0.0000000	-0.0000026	0.0000000
14	2.50	1.00	2.00	0.0020986	0.0000000	-0.0562878	0.0000000	-0.0000026	0.0000000

<< 1 >> Rx = << Parametri caratteristici >>

In fondo alla finestra viene inoltre indicato il tipo di combinazione/fase selezionata.

Se il calcolo è stato eseguito per combinazioni di carico, viene indicato se la combinazione è allo stato limite ultimo (**SLU**) o di esercizio (**SLE**) e il caso (per le combinazioni allo stato limite ultimo **A1-M1** o **A2-M2**, per le combinazioni allo stato limite di esercizio **Frequente**, **Quasi permanente** o **Rara**).

Se il calcolo viene eseguito per fasi di scavo, viene indicato il tipo di analisi eseguita: **analisi con parametri caratteristici**, **analisi con coefficienti A1-M1** o **analisi con coefficienti A2-M2**. Cliccando sopra la descrizione è possibile passare da un'analisi all'altra, se sono state eseguite più tipi di analisi (vedi **Opzioni analisi per fasi** del menu Analisi).

10.3 Risultati sollecitazioni travi

La finestra **Risultati travi** può essere richiamata dall'omonima voce del **menu Risultati**. Nella finestra sono riportate le sollecitazioni in termini di sforzo normale tagli e momenti che agiscono sulla trave selezionata.

Nella finestra è inoltre riportato un selettore che permette di scegliere il tipo trave. E' possibile scegliere tra: tutti i tipi di trave, pali o cordoli.

Nr	X[m]	N[kg]	Ty[kg]	Tz[kg]	Mx[kgm]	My[kgm]	Mz[kgm]
1	0.000	-1574.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.154	-1578.87	-21.03	0.00	0.00	0.00	1.66
3	0.308	-1583.68	-40.97	0.00	0.00	0.00	6.47
4	0.462	-1588.55	-59.85	0.00	0.00	0.00	14.27
5	0.615	-1593.46	-77.64	0.00	0.00	0.00	24.88
6	0.769	-1598.43	-94.36	0.00	0.00	0.00	38.16
7	0.923	-1603.44	-110.00	0.00	0.00	0.00	53.92
8	1.077	-1608.51	-124.55	0.00	0.00	0.00	72.00

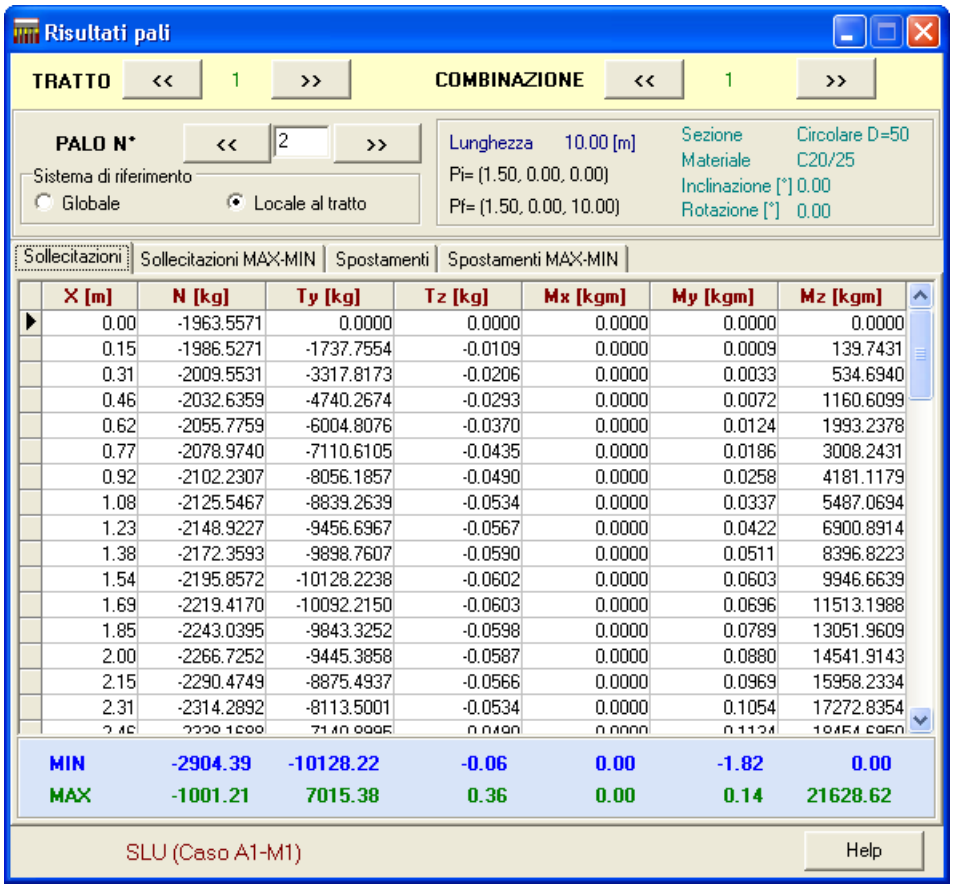
In fondo alla finestra viene inoltre indicato il tipo di combinazione/fase selezionata.

Se il calcolo è stato eseguito per combinazioni di carico, viene indicato se la combinazione è allo stato limite ultimo (**SLU**) o di esercizio (**SLE**) e il caso (per le combinazioni allo stato limite ultimo **A1-M1** o **A2-M2**, per le combinazioni allo stato limite di esercizio **Frequente**, **Quasi permanente** o **Rara**).

Se il calcolo viene eseguito per fasi di scavo, viene indicato il tipo di analisi eseguita: **analisi con parametri caratteristici**, **analisi con coefficienti A1-M1** o **analisi con coefficienti A2-M2**. Cliccando sopra la descrizione è possibile passare da un'analisi all'altra, se sono state eseguite più tipi di analisi (vedi **Opzioni analisi per fasi** del menu Analisi).

10.4 Risultati pali

La finestra risultati pali può essere richiamata dall'omonima voce del menu Risultati. Nella finestra sono riportati tutti i risultati sulle sollecitazioni e sugli spostamenti dei singoli pali della paratia. Per agevolare il compito di lettura dei dati dalla finestra è possibile scegliere il tratto di appartenenza del palo che si vuole controllare, l'indice del palo e la combinazione.



	X [m]	N [kg]	Ty [kg]	Tz [kg]	Mx [kgm]	My [kgm]	Mz [kgm]
	0.00	-1963.5571	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	0.15	-1986.5271	-1737.7554	-0.0109	0.0000	0.0009	139.7431
	0.31	-2009.5531	-3317.8173	-0.0206	0.0000	0.0033	534.6940
	0.46	-2032.6359	-4740.2674	-0.0293	0.0000	0.0072	1160.6099
	0.62	-2055.7759	-6004.8076	-0.0370	0.0000	0.0124	1993.2378
	0.77	-2078.9740	-7110.6105	-0.0435	0.0000	0.0186	3008.2431
	0.92	-2102.2307	-8056.1857	-0.0490	0.0000	0.0258	4181.1179
	1.08	-2125.5467	-8839.2639	-0.0534	0.0000	0.0337	5487.0694
	1.23	-2148.9227	-9456.6967	-0.0567	0.0000	0.0422	6900.8914
	1.38	-2172.3593	-9898.7607	-0.0590	0.0000	0.0511	8396.8223
	1.54	-2195.8572	-10128.2238	-0.0602	0.0000	0.0603	9946.6639
	1.69	-2219.4170	-10092.2150	-0.0603	0.0000	0.0696	11513.1988
	1.85	-2243.0395	-9843.3252	-0.0598	0.0000	0.0789	13051.9609
	2.00	-2266.7252	-9445.3858	-0.0587	0.0000	0.0880	14541.9143
	2.15	-2290.4749	-8875.4937	-0.0566	0.0000	0.0969	15958.2334
	2.31	-2314.2892	-8113.5001	-0.0534	0.0000	0.1054	17272.8354
	2.46	-2338.1688	-7140.8995	-0.0490	0.0000	0.1134	18454.6950
MIN		-2904.39	-10128.22	-0.06	0.00	-1.82	0.00
MAX		-1001.21	7015.38	0.36	0.00	0.14	21628.62

Nella finestra vengono riportate: sollecitazioni e spostamenti del palo, sollecitazioni e spostamenti massimi e minimi di tutti i pali del tratto selezionato. Nel pannello in fondo alla finestra, a sfondo azzurro, vengono inoltre riportate le sollecitazioni, gli spostamenti massimi e minimi del singolo palo o dei pali del tratto selezionato.

Le tabelle delle sollecitazioni riportano in ordine:

- **x**, ascissa della sezione locale al palo, espressa in [L1];
- **N**, **Ty**, **Tz**, sforzo normale e tagli nelle direzioni Y e Z, espresso in [F1];
- **Mx**, **My**, **Mz**, Momento torcente con asse vettore rispettivamente l'asse X, Y e Z, espresso in [F1×L1];

Le tabelle degli spostamenti riportano in ordine:

- **x**, ascissa della sezione locale al palo, espressa in [L1];
- **U**, **V**, **W**, spostamenti lungo le direzioni del sistema di riferimento globale o locale. Il sistema di riferimento può essere scelto dall'Utente.
- **PhiX**, **PhiY** e **PhiZ**, rotazioni, espresse in [°].

Se la finestra grafica è visibile, il palo selezionato viene evidenziato in rosso nella finestra grafica.

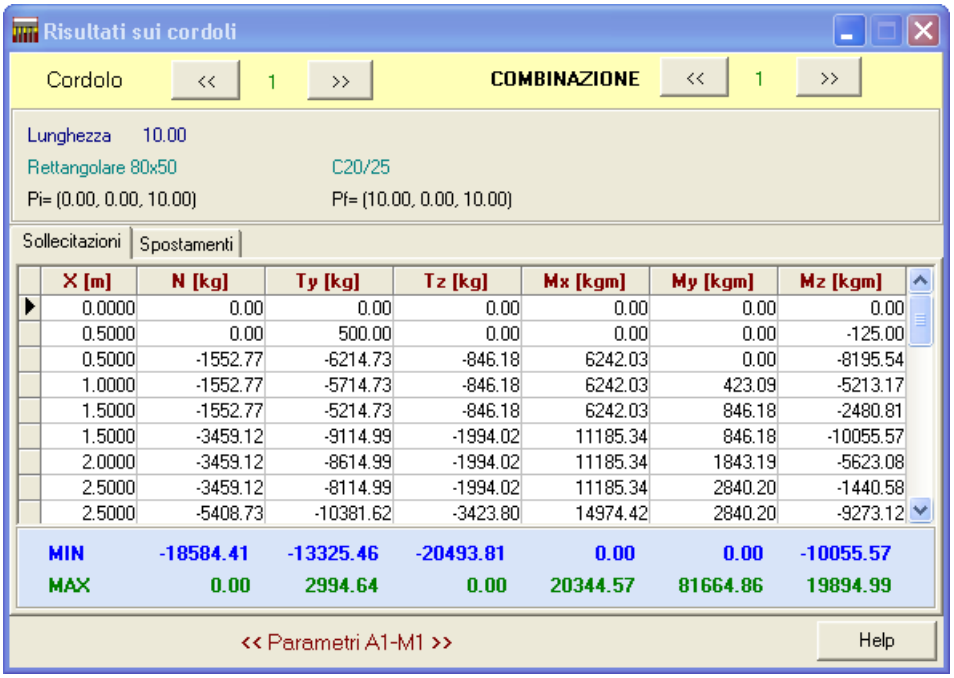
In fondo alla finestra viene inoltre indicato il tipo di combinazione/fase selezionata.

Se il calcolo è stato eseguito per combinazioni di carico, viene indicato se la combinazione è allo stato limite ultimo (**SLU**) o di esercizio (**SLE**) e il caso (per le combinazioni allo stato limite ultimo **A1-M1** o **A2-M2**, per le combinazioni allo stato limite di esercizio **Frequente**, **Quasi permanente** o **Rara**).

Se il calcolo viene eseguito per fasi di scavo, viene indicato il tipo di analisi eseguita: **analisi con parametri caratteristici**, **analisi con coefficienti A1-M1** o **analisi con coefficienti A2-M2**. Cliccando sopra la descrizione è possibile passare da un'analisi all'altra, se sono state eseguite più tipi di analisi (vedi **Opzioni analisi per fasi** del menu Analisi).

10.5 Risultati cordoli

La finestra risultati cordoli può essere richiamata dall'omonima voce del menu Risultati. Nella finestra sono riportati tutti i risultati sulle sollecitazioni e sugli spostamenti dei singoli cordoli della paratia. Per agevolare il compito di lettura dei dati, dalla finestra è possibile scegliere il cordolo che si vuole controllare e la combinazione.



X [m]	N [kg]	Ty [kg]	Tz [kg]	Mx [kgm]	My [kgm]	Mz [kgm]
0.0000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5000	0.00	500.00	0.00	0.00	0.00	-125.00
0.5000	-1552.77	-6214.73	-846.18	6242.03	0.00	-8195.54
1.0000	-1552.77	-5714.73	-846.18	6242.03	423.09	-5213.17
1.5000	-1552.77	-5214.73	-846.18	6242.03	846.18	-2480.81
1.5000	-3459.12	-9114.99	-1994.02	11185.34	846.18	-10055.57
2.0000	-3459.12	-8614.99	-1994.02	11185.34	1843.19	-5623.08
2.5000	-3459.12	-8114.99	-1994.02	11185.34	2840.20	-1440.58
2.5000	-5408.73	-10381.62	-3423.80	14974.42	2840.20	-9273.12
MIN	-18584.41	-13325.46	-20493.81	0.00	0.00	-10055.57
MAX	0.00	2994.64	0.00	20344.57	81664.86	19894.99

Nella finestra vengono riportati: sollecitazioni e spostamenti del cordolo. Nel pannello in fondo alla finestra, a sfondo azzurro, vengono inoltre riportati le sollecitazioni, gli spostamenti massimi e minimi del cordolo selezionato.

Le tabelle delle sollecitazioni riportano in ordine:

- **x**, ascissa della sezione locale al cordolo, espressa in [L1];
- **N**, **Ty**, **Tz** sforzo normale e tagli nelle direzioni Y e Z, espresso in [F1];
- **Mx**, **My**, **Mz**, momento torcente con asse vettore rispettivamente l'asse X, Y e Z, espresso in [F1×L1].

Le tabelle degli spostamenti riportano in ordine:

- **x**, ascissa della sezione locale al cordolo, espressa in [L1];
- **U**, **V**, **W**, spostamenti lungo le direzioni del sistema di riferimento globale o locale. Il sistema di riferimento può essere scelto dall'Utente.
- **PhiX**, **PhiY** e **PhiZ**, rotazioni, espresse in [°].

Se la finestra grafica è visibile, il cordolo selezionato viene evidenziato in rosso nella finestra grafica.

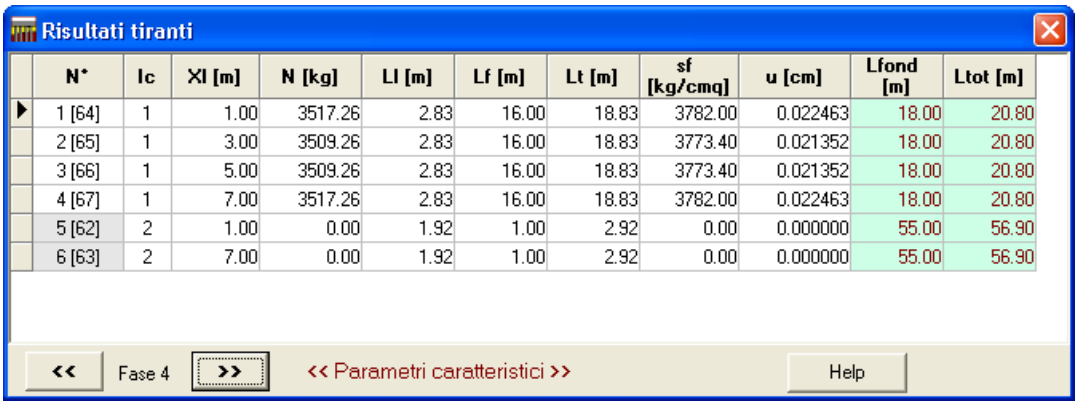
In fondo alla finestra viene inoltre indicato il tipo di combinazione/fase selezionata.

Se il calcolo è stato eseguito per combinazioni di carico, viene indicato se la combinazione è allo stato limite ultimo (**SLU**) o di esercizio (**SLE**) e il caso (per le combinazioni allo stato limite ultimo **A1-M1** o **A2-M2**, per le combinazioni allo stato limite di esercizio **Frequente**, **Quasi permanente** o **Rara**).

Se il calcolo viene eseguito per fasi di scavo, viene indicato il tipo di analisi eseguita: **analisi con parametri caratteristici**, **analisi con coefficienti A1-M1** o **analisi con coefficienti A2-M2**. Cliccando sopra la descrizione è possibile passare da un'analisi all'altra, se sono state eseguite più tipi di analisi (vedi **Opzioni analisi per fasi** del menu Analisi).

10.6 Risultati tiranti

La finestra risultati tiranti può essere richiamata dall'omonima voce del menu Risultati.



Risultati tiranti

N°	Ic	Xl [m]	N [kg]	Ll [m]	Lf [m]	Lt [m]	sf [kg/cmq]	u [cm]	Lfond [m]	Ltot [m]
1 [64]	1	1.00	3517.26	2.83	16.00	18.83	3782.00	0.022463	18.00	20.80
2 [65]	1	3.00	3509.26	2.83	16.00	18.83	3773.40	0.021352	18.00	20.80
3 [66]	1	5.00	3509.26	2.83	16.00	18.83	3773.40	0.021352	18.00	20.80
4 [67]	1	7.00	3517.26	2.83	16.00	18.83	3782.00	0.022463	18.00	20.80
5 [62]	2	1.00	0.00	1.92	1.00	2.92	0.00	0.000000	55.00	56.90
6 [63]	2	7.00	0.00	1.92	1.00	2.92	0.00	0.000000	55.00	56.90

Le informazioni contenute nella tabella sono rispettivamente:

- **n°**, indice del tirante. Tra parentesi è inoltre indicato l'indice della trave del modello strutturale, la cella può essere colorata in grigio . Questo colore indica che il tirante in quella fase non è attivo;
- **Ic**, indice del cordolo sul quale è attestato il tirante;
- **X_l**, posizione del tirante sul cordolo (ascissa locale), espresso in [L1];
- **N**, sforzo nel tirante, espresso in [F1];
- **L_l**, lunghezza libera del tirante, espressa in [L1];
- **Lf**, lunghezza di fondazione del tirante calcolata per la combinazione/fase correntemente attiva, espressa in [L1];
- **L_t**, lunghezza totale del tirante (somma della lunghezza libera e di fondazione), espresso in [L1];
- **σ_f**, tensione nell'armatura del tirante, espressa in [P1];
- **u**, spostamento del tirante, espresso in [L2];
- **L_{fond}**, lunghezza di fondazione massima del tirante (massima tra tutte le combinazioni/fasi analizzate);
- **L_{tot}**, lunghezza totale del tirante (somma della fondazione massima e della lunghezza libera del tirante).

Se la malta del tirante raggiunge lo snervamento, la riga che identifica il tirante viene colorata in arancione pastello .

Se l'armatura del tirante raggiunge lo snervamento, la riga che identifica il tirante viene colorata in rosso pastello .

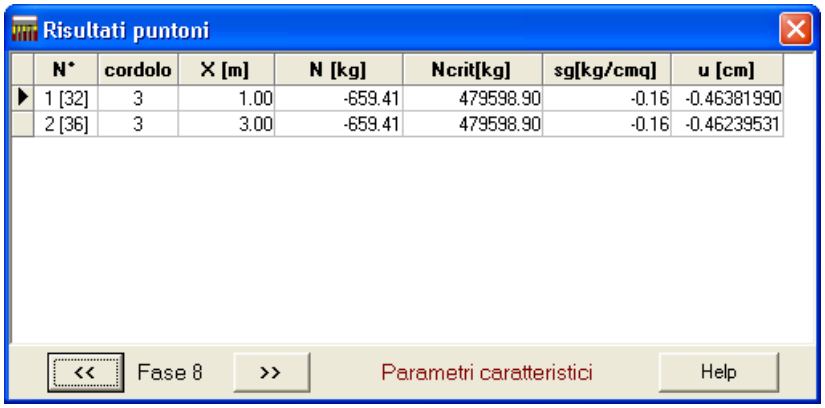
In fondo alla finestra viene inoltre indicato il tipo di combinazione/fase selezionata.

Se il calcolo è stato eseguito per combinazioni di carico, viene indicato se la combinazione è allo stato limite ultimo (**SLU**) o di esercizio (**SLE**) e il caso (per le combinazioni allo stato limite ultimo **A1-M1** o **A2-M2**, per le combinazioni allo stato limite di esercizio **Frequente**, **Quasi permanente** o **Rara**).

Se il calcolo viene eseguito per fasi di scavo, viene indicato il tipo di analisi eseguita: **analisi con parametri caratteristici**, **analisi con coefficienti A1-M1** o **analisi con coefficienti A2-M2**. Cliccando sopra la descrizione,è possibile passare da un'analisi all'altra, se sono state eseguite più tipi di analisi (vedi **Opzioni analisi per fasi** del menu Analisi).

10.7 Risultati puntoni

La finestra risultati puntoni può essere richiamata dall'omonima voce del menu Risultati.



N°	cordolo	X [m]	N [kg]	Ncrit[kg]	sg[kg/cmq]	u [cm]
1 [32]	3	1.00	-659.41	479598.90	-0.16	-0.46381990
2 [36]	3	3.00	-659.41	479598.90	-0.16	-0.46239531

Le informazioni contenute nella tabella sono rispettivamente:

- **n°**, indice del puntone. Tra parentesi è inoltre indicato l'indice della trave del modello strutturale, la cella può essere colorata in grigio . Questo colore indica che il puntone in quella fase non è attivo;
- **Ic**, indice del cordolo sul quale è attestato il puntone;
- **X_I**, posizione del puntone sul cordolo (ascissa locale), espresso in [L1];
- **N**, sforzo nel puntone, espresso in [F1];
- **Ncrit**, carico critico del puntone, espresso in [F1];
- **σ_f**, tensione media nel puntone, espressa in [P1], ottenuta come rapporto tra sforzo nel tirante e sezione del puntone;
- **u**, spostamento del puntone, espresso in [L2].

In fondo alla finestra viene inoltre indicato il tipo di combinazione/fase selezionata.

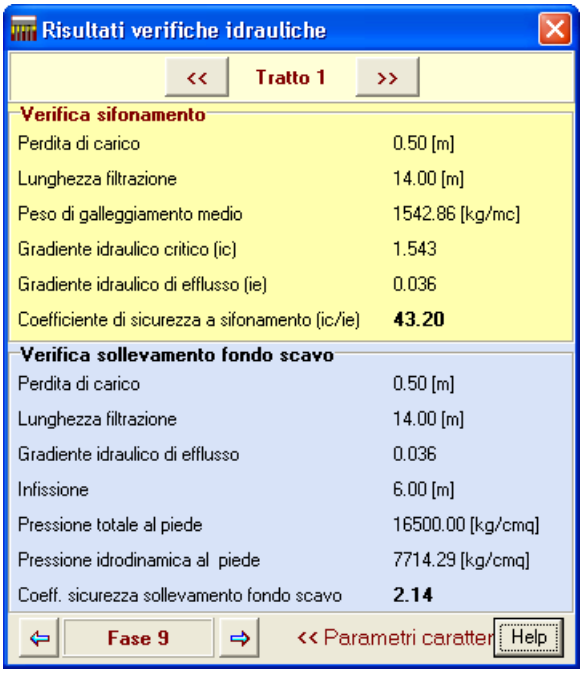
Se il calcolo è stato eseguito per combinazioni di carico, viene indicato se la combinazione è allo stato limite ultimo (**SLU**) o di esercizio (**SLE**) e il caso (per le combinazioni allo stato limite ultimo **A1-M1** o **A2-M2**, per le combinazioni allo stato limite di esercizio **Frequente**, **Quasi permanente** o **Rara**).

Se il calcolo viene eseguito per fasi di scavo, viene indicato il tipo di analisi eseguita: **analisi con parametri caratteristici**, **analisi con coefficienti A1-M1** o **analisi con coefficienti A2-M2**. Cliccando sopra la descrizione, è possibile passare da un'analisi all'altra, se sono state eseguite più tipi di analisi (vedi **Opzioni analisi per fasi** del menu Analisi).

10.8 Risultati verifiche idrauliche

La finestra viene visualizzata al termine dell'analisi, se è presente la falda ed è stato selezionato il regime idrodinamico, ed è richiamabile dalla voce *Risultati verifiche idrauliche* del menu Risultati.

I dati in essa riportati sono i seguenti:



- **Verifica a sifonamento:**
- Perdita di carico, espressa in [L1];
- Lunghezza filtrazione, espressa in [L1];
- Peso di galleggiamento, espressa in [F1/L1^3];
- Gradiente idraulico critico (ic);
- Gradiente idraulico di efflusso (ie);
- Coefficiente di sicurezza a sifonamento (ic/ie).
- **Verifica sollevamento fondo scavo:**
- Perdita di carico, espressa in [L1];
- Lunghezza filtrazione, espressa in [L1];
- Gradiente idraulico di efflusso;
- Infissione, espressa in [L1];
- Pressione totale al piede, espressa in [P1];
- Pressione idrodinamica al piede, espressa in [P1];
- Coefficiente Sicurezza sollevamento fondo scavo.

Nella parte bassa della finestra, se le combinazioni/fasi di scavo di calcolo sono maggiori dell'unità, sono riportati dei pulsanti che permettono di scorrere i risultati da una combinazione/fase all'altra. In questo modo è possibile controllare tutti i risultati in modo indipendente per ogni singola combinazione/fase analizzata.

Nella parte alta della finestra sono presenti i pulsanti per scorrere i tratti che costituiscono la paratia.

In fondo alla finestra viene inoltre indicato il tipo di combinazione/fase selezionata.

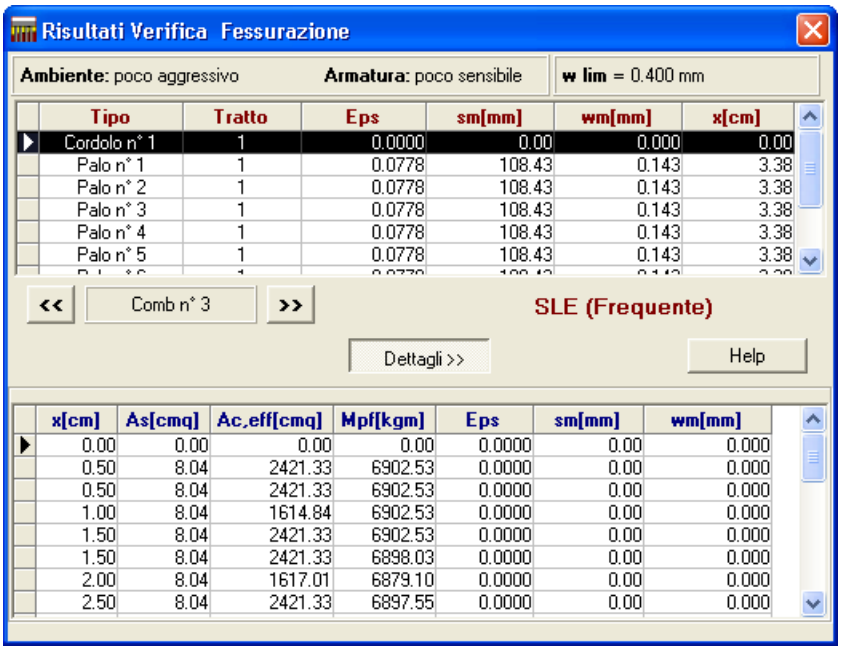
Se il calcolo è stato eseguito per combinazioni di carico, viene indicato se la combinazione è allo stato limite ultimo (**SLU**) o di esercizio (**SLE**) e il caso (per le combinazioni allo stato limite ultimo **A1-M1** o **A2-M2**, per le combinazioni allo stato limite di esercizio **Frequente**, **Quasi permanente** o **Rara**).

Se il calcolo viene eseguito per fasi di scavo, viene indicato il tipo di analisi eseguita: **analisi con parametri caratteristici**, **analisi con coefficienti A1-M1** o **analisi con coefficienti A2-M2**. Cliccando sopra la descrizione, è possibile passare da un'analisi all'altra, se sono state eseguite più tipi di analisi (vedi **Opzioni analisi per fasi** del menu Analisi).

10.9 Risultati verifiche fessurazione

La finestra viene visualizzata al termine dell'analisi, se il calcolo è stato eseguito per combinazioni di calcolo e sono presenti combinazioni allo stato limite di esercizio (SLE). La finestra è richiamabile dalla voce *Risultati verifiche fessurazione* del menu Risultati.

La finestra riporta due tabelle, la prima posta nella parte alta della finestra contiene i risultati di sintesi, la seconda posta nella parte bassa della finestra contiene i risultati di dettaglio della verifica a fessurazione.



Tipo	Tratto	Eps	sm[mm]	wm[mm]	x[cm]
Cordolo n° 1	1	0.0000	0.00	0.000	0.00
Palo n° 1	1	0.0778	108.43	0.143	3.38
Palo n° 2	1	0.0778	108.43	0.143	3.38
Palo n° 3	1	0.0778	108.43	0.143	3.38
Palo n° 4	1	0.0778	108.43	0.143	3.38
Palo n° 5	1	0.0778	108.43	0.143	3.38

x[cm]	As[cmq]	Ac,eff[cmq]	Mpf[kgm]	Eps	sm[mm]	wm[mm]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00	0.000
0.50	8.04	2421.33	6902.53	0.0000	0.00	0.000
0.50	8.04	2421.33	6902.53	0.0000	0.00	0.000
1.00	8.04	1614.84	6902.53	0.0000	0.00	0.000
1.50	8.04	2421.33	6902.53	0.0000	0.00	0.000
1.50	8.04	2421.33	6898.03	0.0000	0.00	0.000
2.00	8.04	1617.01	6879.10	0.0000	0.00	0.000
2.50	8.04	2421.33	6897.55	0.0000	0.00	0.000

I risultati riportati nella tabella in alto sono:

- elemento strutturale (Cordolo, palo, trave, ecc.)
- **Ic**, indice del tratto di appartenenza dell'elemento strutturale;
- **x**, ascissa dove si è ottenuta l'ampiezza massima delle fessure sull'elemento strutturale, espressa in [L2].
- **Eps**, deformazione media delle barre d'armatura nella sezione dove si è ottenuta l'ampiezza massima delle fessure;
- s_m, distanza media tra le fessure nella sezione dove si è ottenuta l'ampiezza massima delle fessure, espressa in [L3];

- $\mathbf{w_m}$, ampiezza media delle fessure nella sezione dove si è ottenuta l'ampiezza massima delle fessure, espressa in [L3].

I risultati riportati nella tabella in basso, visualizzabile attivando il pulsante [**Dettagli>>**], sono:

- **x**, sezione nella quale è stata eseguita la verifica a fessurazione, espressa in [L2];
- $\mathbf{A_s}$, area dei ferri posti nell'area efficace di calcestruzzo teso attorno all'armatura, espressa in [L2^2];
- $\mathbf{A_{c,eff}}$, area efficace di calcestruzzo teso attorno all'armatura, espressa in [L2^2];
- **Eps**, deformazione media delle barre d'armatura;
- $\mathbf{s_m}$, distanza media tra le fessure, espressa in [L3];
- $\mathbf{w_m}$, ampiezza media delle fessure, espressa in [L3].

11 Grafica risultati

Alla finestra grafica di visualizzazione dei risultati si accede dalla voce **Grafica risultati** del menu Window o dal pulsante acceleratore della barra dei comandi.

L'ambiente grafico è uno strumento snello, veloce e potente che consente al progettista un controllo immediato delle scelte effettuate.

La finestra è suddivisa in:

una zona di visualizzazione del disegno;

una barra orizzontale superiore, che permette di gestire le sottostrutture da visualizzare;

una barra orizzontale inferiore, che permette di gestire la visualizzazione dei disegni;

una barra verticale a destra, che permette di selezionare il risultato grafico che si vuole visualizzare.

Barra verticale dei risultati

Tramite questa barra è possibile visualizzare tutti i risultati grafici al termine dell'analisi. Le convenzioni sulle aste e le sollecitazioni sono riportate in Convenzioni e Sistemi di Riferimento.

I pulsanti che la compongono sono:

Geometria. Permette di visualizzare la geometria della paratia.

Deformata. Permette di visualizzare la deformata della paratia.

Sollecitazioni. Attiva i pulsanti per la visualizzazione delle tipologie di sollecitazioni.

Sforzo normale. Permette di visualizzare lo sforzo normale.

Taglio Y. Permette di visualizzare il taglio Y (sistema di riferimento locale all'elemento selezionato).

Taglio Z. Permette di visualizzare il taglio Z (sistema di riferimento locale all'elemento selezionato).

Momento Y. Permette di visualizzare il momento Y (sistema di riferimento locale all'elemento selezionato).

Momento Z. Permette di visualizzare il momento Z (sistema di riferimento locale all'elemento selezionato).

Momento torcente. Permette di visualizzare il momento X o momento torcente (sistema di riferimento locale all'elemento selezionato).

Pressioni terreno. Permette di visualizzare le pressioni del terreno sui pali (pressione attiva, passiva, a riposo e della falda a monte e a valle del palo della paratia).

Pressioni molle. Permette di visualizzare le pressioni sulle molle orizzontali (a monte e a valle) lungo il fusto dei pali.

Pressione carichi. Permette di visualizzare le pressioni dei carichi applicati sul terreno, lungo il fusto dei pali.

Stabilità tratti. Attiva la vista della stabilità globale. Per visualizzare la stabilità globale, calcolata su ogni tratto, attivare col menu pop-up la funzione Interroga, e cliccare sul tratto interessato della paratia. Verrà visualizzata la vista locale Stabilità tratto.

Armature, attiva la vista delle armature. Per visualizzare le armature progettate, attivare col menu pop-up la funzione Interroga, e cliccare sull'asta interessata (palo, cordolo, puntoni, ecc). Verrà visualizzato il dettaglio sull'armatura dell'elemento selezionato.

Fessurazione, visualizza le sezioni fessurate dei vari elementi che compongono la paratia. La vista è disponibile solo per analisi non lineare della paratia.

Barra orizzontale inferiore

La barra permette di gestire la visualizzazione dei disegni.

Zoom più, cliccando sul pulsante il disegno viene ingrandito.
Si ottiene lo stesso effetto con il tasto [+].

Zoom meno, cliccando sul pulsante il disegno viene ridotto.
Si ottiene lo stesso effetto con il tasto [-].

Zoom finestra, cliccando sul pulsante è possibile selezionare una zona del disegno da ingrandire. Per eseguire lo zoom finestra si porta il puntatore del mouse nel primo vertice del rettangolo che definisce l'area da ingrandire e si clicca con il tasto sinistro, si trascina il mouse nel secondo vertice e si rilascia.

Zoom dinamico, cliccando sul pulsante il puntatore del mouse assume la forma di una lente d'ingrandimento. Per eseguire l'operazione di ingrandimento o riduzione basta cliccare con il tasto sinistro del mouse nella finestra grafica e mantenendo premuto spostarsi verso l'alto (ingrandimento) o verso il basso (riduzione). Raggiunto il fattore di scala desiderato si può rilasciare il mouse.

Ripristina, cliccando su di esso il disegno visualizzato viene riportato alle dimensioni originarie e centrato nella finestra grafica.
Lo stesso effetto è ottenuto agendo sul tasto [Home]

Sposta a destra, a sinistra, sopra e sotto permette lo spostamento del disegno attivo nelle direzioni indicate.

Lo stesso effetto è ottenuto agendo sui tasti direzionali [←], [→], [↓] e [↑].

Spostamento dinamico, cliccando sul pulsante il puntatore del mouse assume la forma di una mano. Per spostare il disegno basta cliccare con il tasto sinistro del mouse in un punto della finestra grafica e, mantenendo premuto, spostare il mouse nella nuova posizione e rilasciare.

Rotazione 3D, permette di attivare la funzione di rotazione del disegno nello spazio. Attivo solo se si sceglie la Vista 3D.

Rotazione continua, se premuto avvia una rotazione del disegno continua.

X, Y, Z = Il pannello mostro le coordinate del mouse.

Il pulsante apre la finestra opzioni OpenGL.

Opzioni disegno, apre la finestra Opzioni visualizzazione.

Viste disegno, permettono di attivare le viste nei piani X-Y, X-Z, Y-Z e 3D.

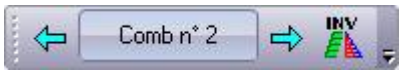
Visualizzazione modello filiforme, Solido e Render.

Attiva/nasconde la visualizzazione del profilo terreno.

Help, permette l'accesso all'help in linea;

Barra comandi delle FASI/COMBINAZIONI

La barra delle combinazioni è attiva solo dopo aver eseguito l'analisi e permette di scorrere le combinazioni di carico/fasi analizzate.



La barra presenta i seguenti pulsanti:

Combinazione/Fase precedente;

Comb n° Numero combinazione/fase corrente;

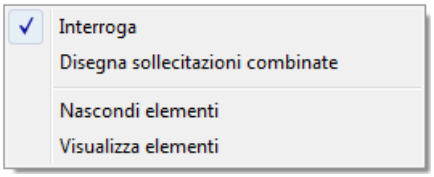
Combinazione/Fase successiva;

Il pulsante visualizza l'inviluppo del diagramma selezionato. Il pulsante non è attivo quando si visualizzano gli spostamenti della struttura.

Il pannello posto a destra del pulsante di inviluppo visualizza il tipo di combinazione/fase corrente. Premendo su di esso viene aperta una finestra che visualizza l'elenco delle condizioni che appartengono alla combinazione corrente se l'analisi è per combinazioni o permette di passare da un tipo di analisi all'altra (analisi con parametri caratteristici, analisi con parametri A1-M1 o analisi con

parametri A2-M2) se l'analisi è per fasi di scavo.

Menu pop-up



Cliccando con il tasto destro del mouse nella zona di visualizzazione del disegno viene visualizzato un menu che contiene le seguenti voci:

Interroga, è la modalità predefinita che consente di interagire e interrogare con il mouse con i disegni.

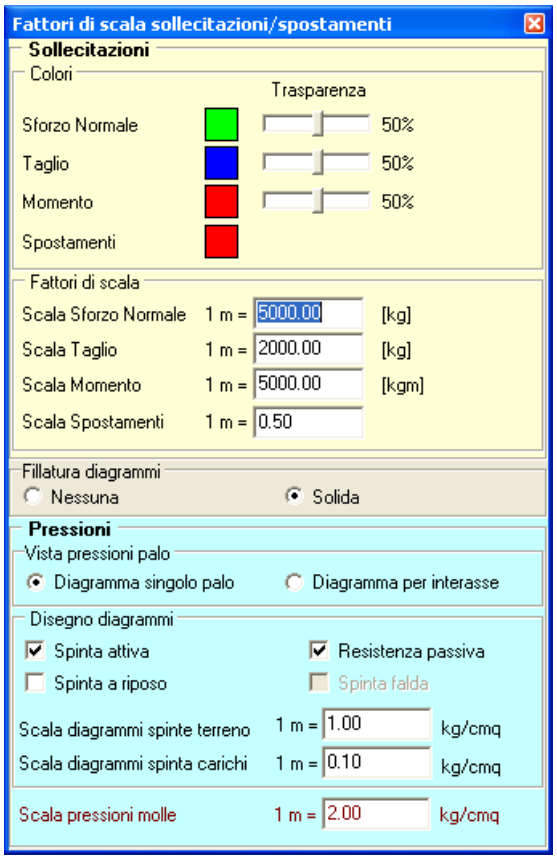
Disegna sollecitazioni combinate, attiva la visualizzazione combinata delle sollecitazioni (solo per i Momenti intorno all'asse Z e all'asse Y), cioè la somma combinata di Mz e My .

Nascondi elementi, consente cliccare sugli elementi del modello per nasconderli.

Visualizzazione elementi, ripristina gli elementi nascosti col comando Nascondi elementi.

Opzioni di visualizzazione

La finestra Opzioni visualizzazione grafica viene richiamata dal pulsante omonimo della barra orizzontale posta nella parte bassa della finestra di Grafica dei risultati.



In questa finestra è possibile impostare alcuni parametri di visualizzazione e di disegno delle sollecitazioni e delle pressioni.

Nell'ambito delle sollecitazioni e degli spostamenti è possibile impostare:

- colori e trasparenza dei diagrammi;
- fattori di scala per la rappresentazione dei diagrammi;
- la fillatura dei diagrammi (nessuna fillatura o solida);
- Nell'ambito delle pressioni è possibile impostare:
- la Vista delle pressioni del palo (Diagramma singolo palo permette di visualizzare il diagramma delle pressioni agenti sul singolo palo; Diagramma per interasse, permette di visualizzare il diagramma delle pressioni agenti sull'interasse di competenza del singolo palo);
- il disegno dei diagrammi, permette di attivare il disegno della spinta attiva, passiva, a riposo e della falda.

– i fattori di scala, espressi in [P1], dei diagrammi delle spinte terreno, spinta carichi e pressioni molle.

Opzioni di visualizzazione OpenGL

La finestra **Opzioni visualizzazione grafica OpenGL** viene richiamata dal pulsante omonimo della barra orizzontale posta nella parte bassa della finestra di Grafica dei risultati.

Nella finestra sono presenti 3 schede: **Scena**, **Luce** e **Varie**.

Nella scheda Scena è possibile impostare alcuni parametri di visualizzazione come spessori e colori di: Elementi, sistema di riferimento, ecc.

Nella scheda Luce può essere impostata l'illuminazione della scena:

– Luce nella scena, attiva o disattiva la luce;
– Luce ambiente, Luce diffusa, Luce speculare, Materiale luce ambiente, Materiale luce diffusa e Materiale luce speculare possono essere definiti tramite un Colore e un parametro alfa di intensità.
– Tipo di luce può essere Direzionale o Posizionale;
– La Posizione/direzione della luce, identificata dalle coordinate X, Y e Z dipende dal Tipo di luce impostato.

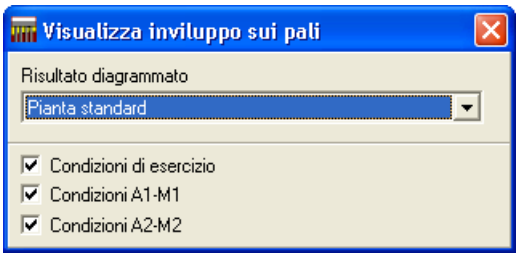
Infine, nella scheda Varie è possibile impostare:

– Grafica liste;
– Rotazione Auto-zoom. Se attivo il disegno risulta sempre esteso al massimo zoom;
– Il colore di Sfondo della finestra.

11.1 Dettagli pali

Sulla barra orizzontale in alto, dalla finestra di Grafica dei risultati, è possibile selezionare il pulsante **Dettagli sottostruttura** dal quale è possibile accedere alla finestra omonima.

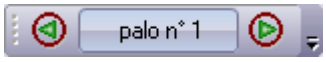
Oltre ad essere aperta la finestra, viene attivato un selettore dal quale è possibile scegliere il dettaglio che si desidera visualizzare. La scelta può essere fatta tra:

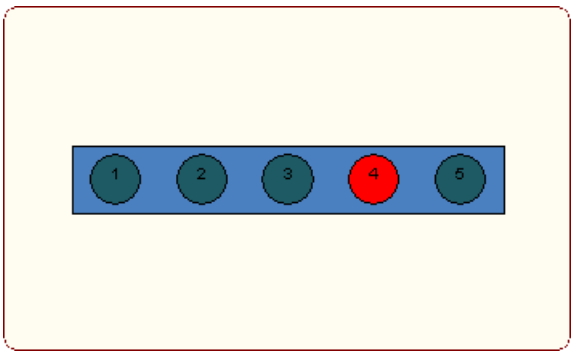


- Sforzo normale minimo e massimo, espresso in [F1];
- Taglio in direzione Y, Z (sistema di riferimento locale) minimo e massimo, espresso in [F1]
- Momento torcente con asse vettore direzione X, Y e Z (sistema di riferimento locale) minimo e massimo, espresso in [F1×L1];
- Spostamento in direzione X, Y e Z minimo e massimo (sistema di riferimento globale), espresso in [L2];
- Spostamento totale (sistema di riferimento globale) , espresso in [L2];
- Percentuale di armatura rispetto alla sezione di calcestruzzo del palo;
- Area di armatura, espressa in [$L2^2$];
- Quadro fessurativo.

Questi risultati possono essere visualizzati complessivamente per tutti i tipi di analisi eseguiti o per singolo tipo (analisi con parametri caratteristici, analisi con parametri A1-M1 e analisi con parametri A2-M2).

La stessa finestra di dettagli viene visualizzata anche se si interroga una delle viste riportate in grafica (sollecitazioni, pressioni terreno, pressioni molle, pressione carichi, stabilità tratti e armature). Questa volta la finestra sulla barra orizzontale in alto riporta un selettore della sottostruttura selezionata dalla quale è possibile scorrere le sottostrutture che costituiscono la paratia.





Cliccando sul pannello centrale dove è riportata la descrizione della sottostruttura selezionata (palo n° 1), viene aperta la finestra di pianta (vedi esempio a lato) dalla quale è possibile scegliere in maniera veloce la sottostruttura da visualizzare. La stessa finestra può essere richiamata dal menu pop-up che si attiva cliccando con il tasto destro del mouse all'interno della vista attiva.

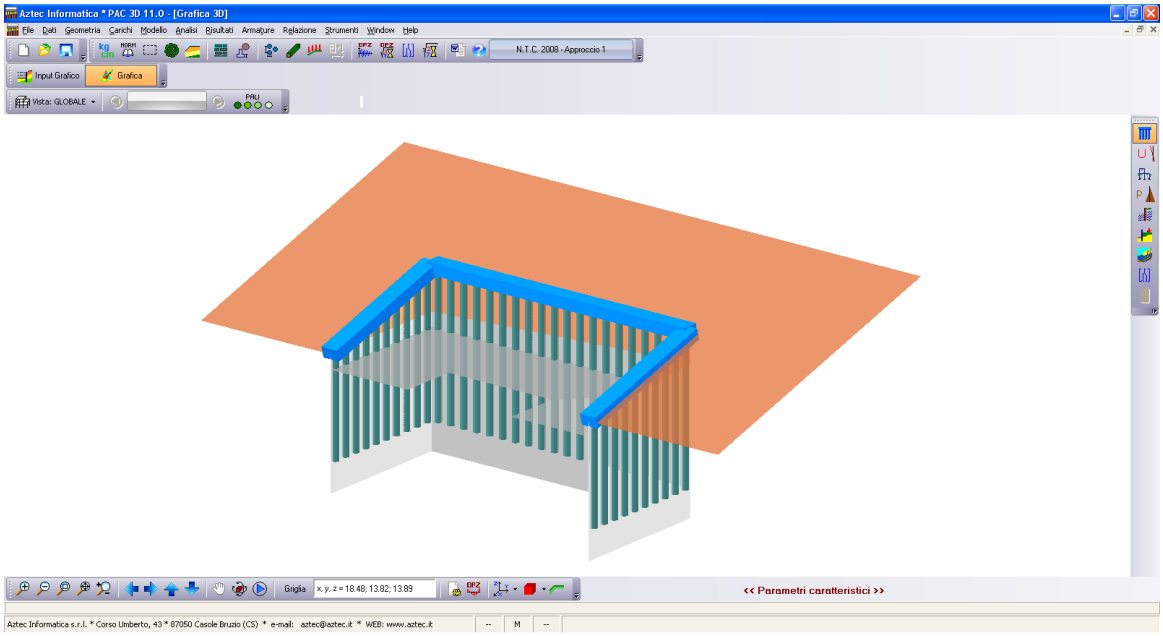
Per scegliere in maniera veloce la sottostruttura da visualizzare basta portare il puntatore del

mouse all'interno della finestra di pianta e cliccare su una delle sottostrutture (palo) presenti. Per poter scorrere le sottostrutture è possibile utilizzare i pulsanti ai lati del pannello (sottostruttura precedente e successiva).

In funzione della vista attiva nella finestra di grafica dei risultati, cliccando all'interno della vista in prossimità di un elemento (palo, cordolo o tratto), è possibile avere delle informazioni di dettaglio sull'elemento selezionato.

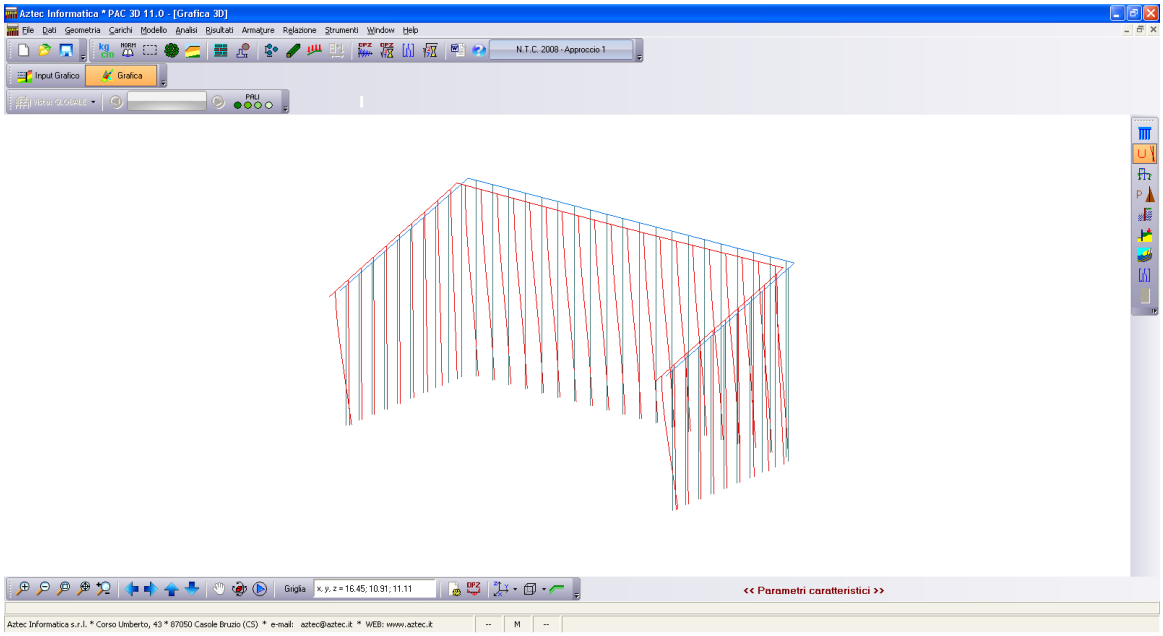
Le sollecitazioni e le armature possono essere visualizzate per pali e cordoli; le pressioni sul terreno, delle molle e le pressioni dovute ai carichi possono essere visualizzate per i soli pali; la stabilità globale può essere visualizzata sul tratto.

11.2 Vista grafica di GEOMETRIA



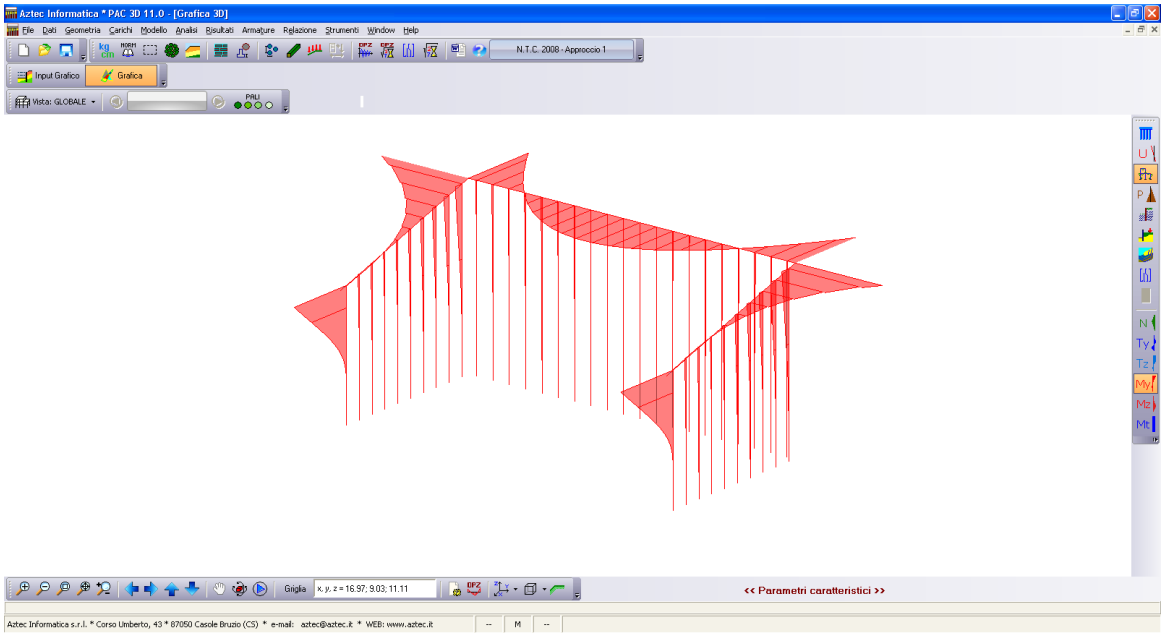
11.3 Vista grafica degli SPOSTAMENTI

Cliccando sul pulsante **Spostamenti** dalla barra comandi risultati, viene visualizzato il modello strutturale filiforme indeformato (schema filiforme di colore grigio) con lo schema deformato (schema filiforme di colore rosso).



11.4 Vista grafica delle SOLLECITAZIONI

Cliccando sul pulsante **Sollecitazioni** dalla barra comandi risultati, viene attivata la barra dei comandi relativa alle sei componenti di sollecitazioni possibili (sforzo normale, taglio X, taglio Y, momento Y, momento Z e momento torcente) e nel contempo viene visualizzato il modello strutturale filiforme con uno dei diagrammi di sollecitazioni (momento Mz), su ogni palo della paratia.

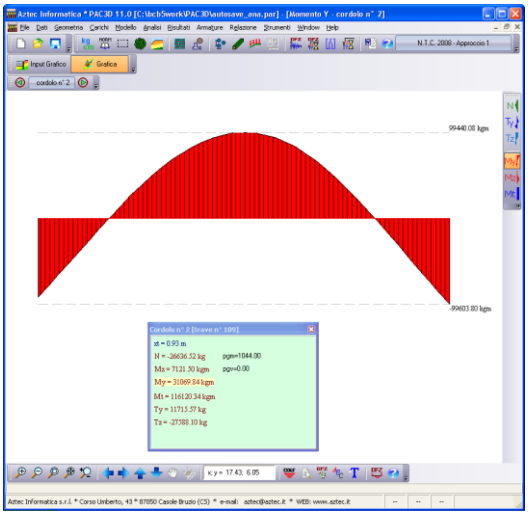


Per avere informazioni di dettaglio su uno degli elementi rappresentati, spostare il puntatore del mouse sul palo (o cordolo) che si vuole visualizzare e cliccare con il tasto sinistro del mouse.

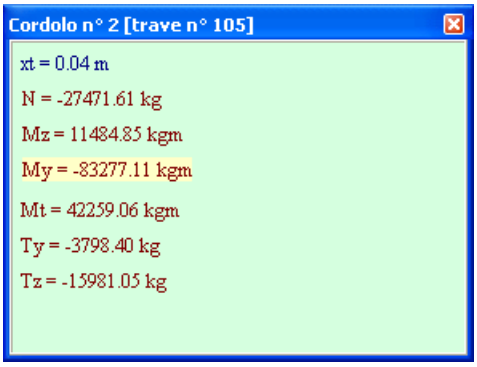
Viene quindi visualizzato il dettaglio del palo (o cordolo) selezionato con le indicazioni sulle sollecitazioni agenti.

Cliccando con il tasto sinistro del mouse all'interno della vista viene visualizzata la finestra di interrogazione nella quale sono riportate le sollecitazioni agenti (sforzo normale, taglio in direzione Y e Z, momento con asse vettore Y e Z e momento torcente).

Nella tabella viene evidenziata la sollecitazione che è disegnata nella finestra principale.

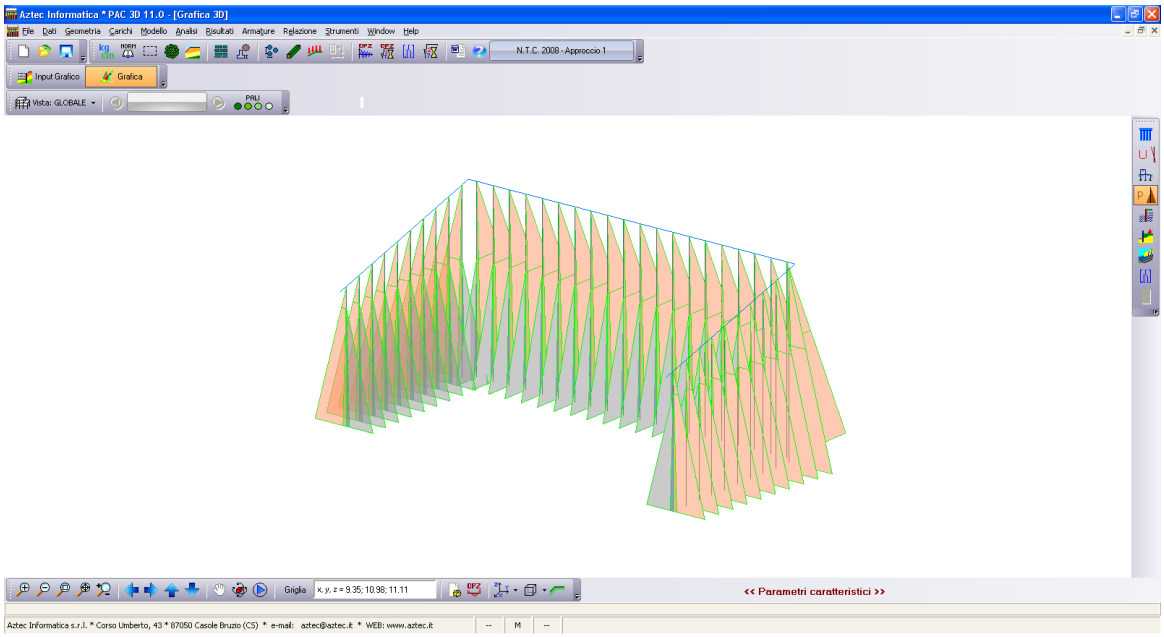


Per passare dal palo correntemente visualizzato ad uno precedente (o successivo) basta cliccare su uno dei pulsanti in alto a sinistra (sottostruttura precedente o successiva). Cliccando sul pannello che indica l'indice del palo visualizzato, viene attivata la finestra con la vista in pianta dalla quale è possibile selezionare il palo che si vuole visualizzare.



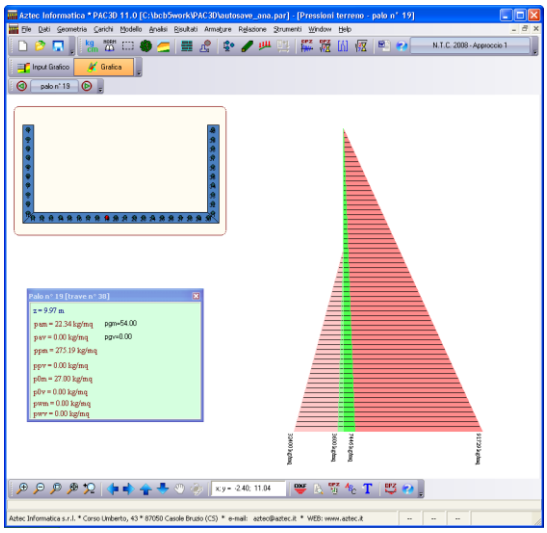
11.5 Vista grafica delle PRESSIONI SUL TERRENO

Cliccando sul pulsante **Pressione terreno** dalla barra comandi risultati, viene visualizzato il modello strutturale filiforme con i diagrammi di pressione dovute al terreno, su ogni palo.

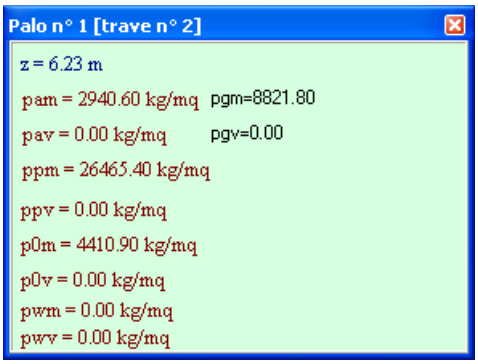


Per avere informazioni di dettaglio su uno degli elementi rappresentati, spostare il puntatore del mouse sul palo che si vuole visualizzare e cliccare con il tasto sinistro del mouse.

Viene quindi visualizzato il dettaglio sul palo selezionato con le indicazioni sulle pressioni attive, passive, a riposo e della falda, di monte e di valle che agiscono sul palo.



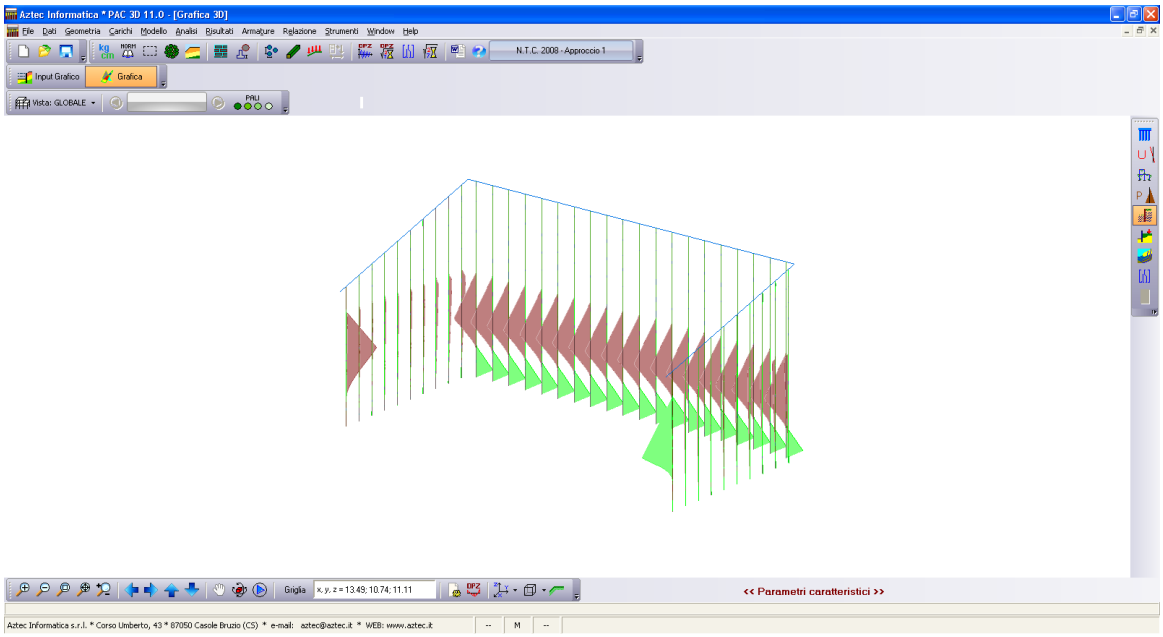
Cliccando con il tasto sinistro del mouse all'interno della vista viene visualizzata la finestra di interrogazione nella quale sono riportate le pressioni attive (p_{am} e p_{av}), passive (p_{pm} e p_{pv}), a riposo (p_{0m} e p_{0v}) e della falda (p_{wm} e p_{wv}) di monte e di valle (le lettere m e v al pedice delle pressioni elencate stanno per monte e valle) della sezione interrogata.



Per passare dal palo correntemente visualizzato ad uno precedente (o successivo) basta cliccare su uno dei pulsanti in alto a sinistra (sottostruttura precedente o successiva). Cliccando sul pannello che indica l'indice del palo visualizzato, viene attivata la finestra con la vista in pianta dalla quale è possibile selezionare il palo che si vuole visualizzare.

11.6 Vista grafica delle PRESSIONI SULLE MOLLE

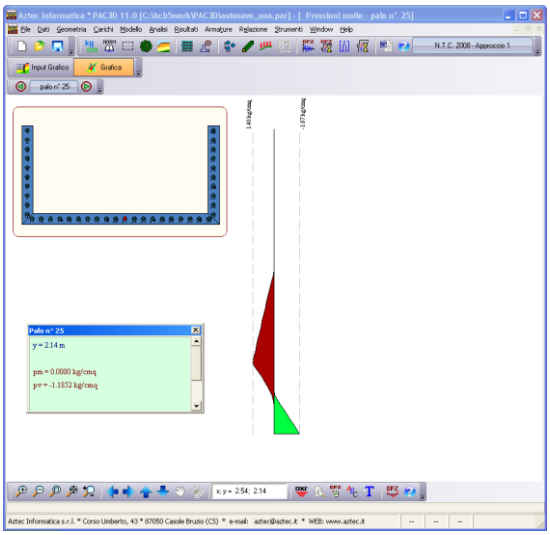
Cliccando sul pulsante **Pressione molle** dalla barra comandi risultati, viene visualizzato il modello strutturale filiforme con i diagrammi di pressione sulle molle, su ogni palo della paratia.

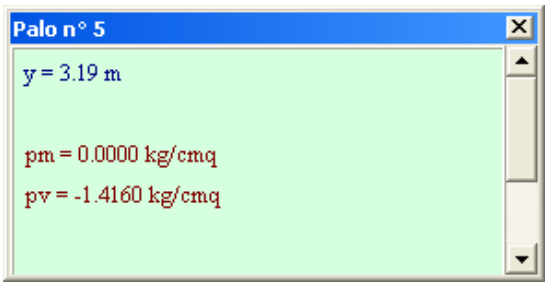


Per avere informazioni di dettaglio su uno degli elementi rappresentati, spostare il puntatore del mouse sul palo che si vuole visualizzare e cliccare con il tasto sinistro del mouse.

Viene quindi visualizzato il dettaglio sul palo selezionato con le indicazioni sulle pressioni di monte e di valle che agiscono sullo stesso.

Cliccando con il tasto sinistro del mouse all'interno della vista viene visualizzata la finestra di interrogazione nella quale sono riportate le pressioni delle molle a monte (p_m) e delle molle a valle (p_v), espresse in [P1].

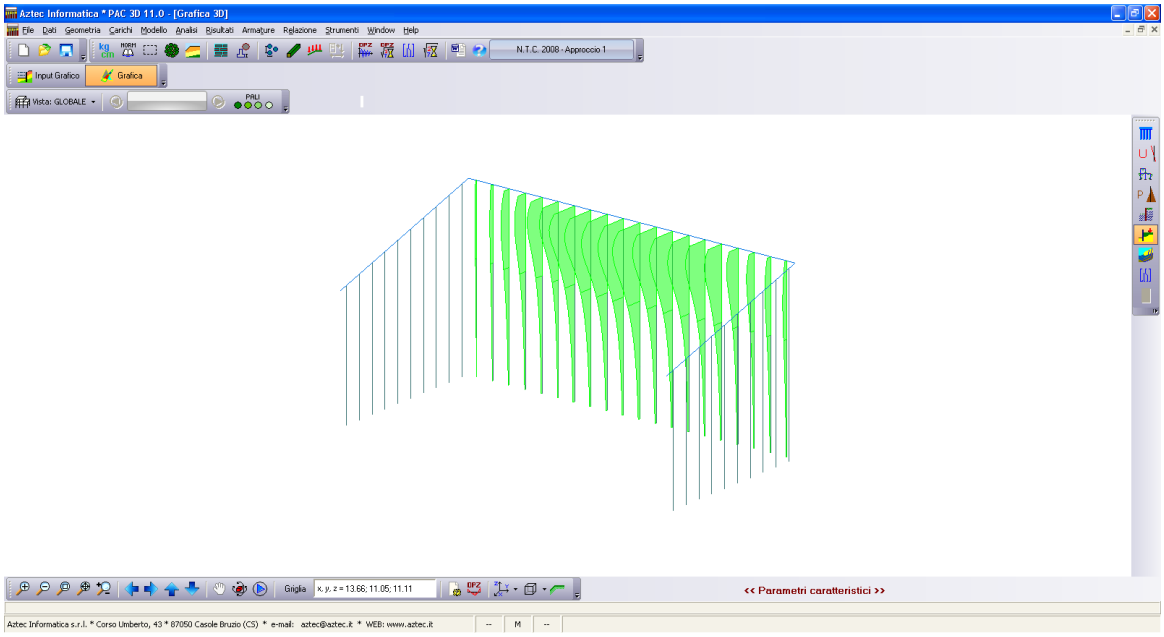




Per passare dal palo correntemente visualizzato ad uno precedente (o successivo) basta cliccare su uno dei pulsanti in alto a sinistra (sottostruttura precedente o successiva). Cliccando sul pannello che indica l'indice del palo visualizzato, viene attivata la finestra con la vista in pianta dalla quale è possibile selezionare il palo che si vuole visualizzare.

11.7 Vista grafica delle PRESSIONI DOVUTE AI CARICHI SUL TERRENO

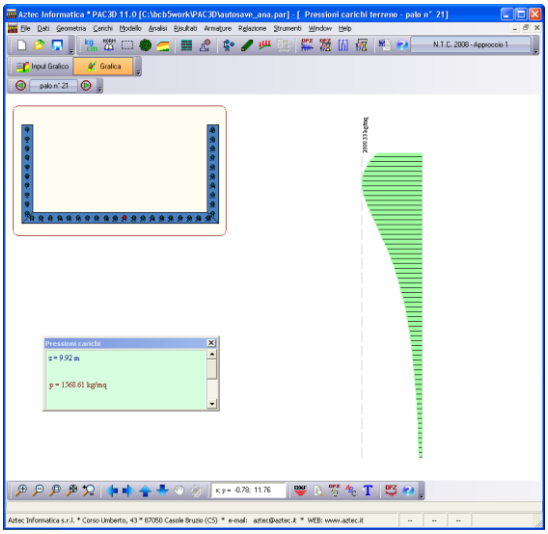
Cliccando sul pulsante **Pressione carichi** dalla barra comandi risultati, viene visualizzato il modello strutturale filiforme con i diagrammi di pressione, su ogni palo della paratia, dovuti ai carichi applicati sul terreno.

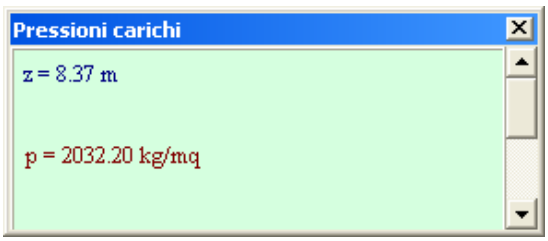


Per avere informazioni di dettaglio su uno degli elementi rappresentati, spostare il puntatore del mouse sul palo che si vuole visualizzare e cliccare con il tasto sinistro del mouse.

Viene quindi visualizzato il dettaglio sul palo selezionato con le indicazioni sulle pressioni massime e minime che agiscono sullo stesso.

Cliccando con il tasto sinistro del mouse all'interno della vista viene visualizzata la finestra di interrogazione nella quale viene riportata la pressione dovuta ai carichi applicati sul terreno (p), espresse in [P1].





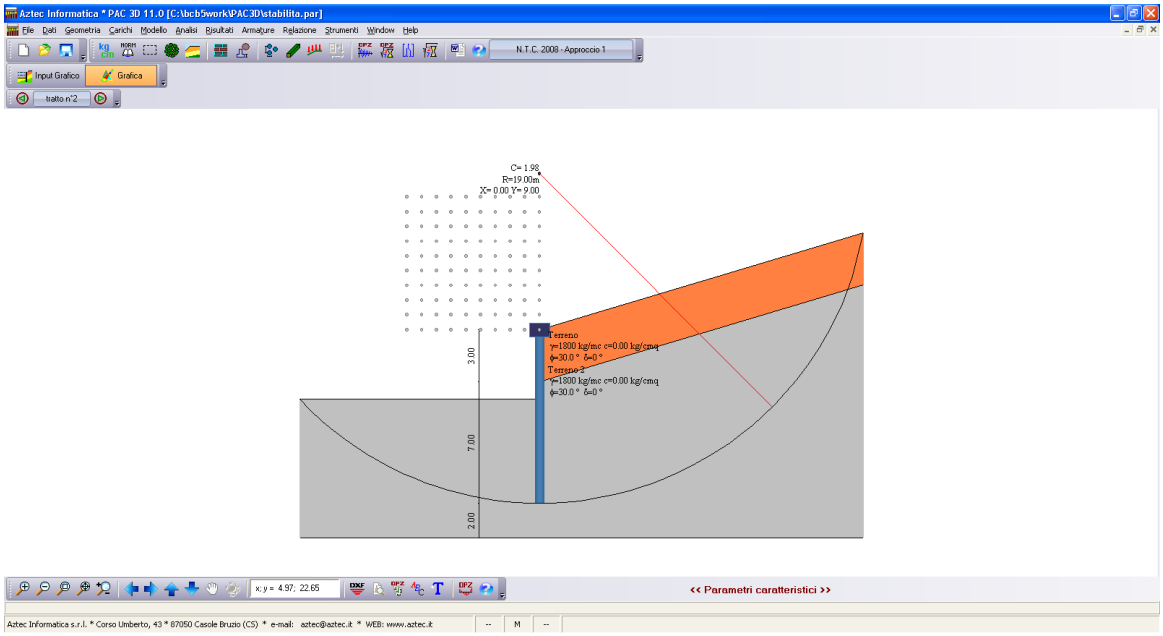
Per passare dal palo correntemente visualizzato ad uno precedente (o successivo) basta cliccare su uno dei pulsanti in alto a sinistra (sottostruttura precedente o successiva). Cliccando sul pannello che indica l'indice del palo visualizzato, viene attivata la finestra con la vista in pianta dalla quale è possibile selezionare il palo che si vuole visualizzare.

11.8 Vista grafica delle PRESSIONI DOVUTE AI CARICHI SUL TERRENO

Cliccando sul pulsante **Stabilità tratti** dalla barra comandi risultati, viene visualizzata la vista del modello strutturale globale comprensivo della stratigrafia e il programma rimane in attesa che l'Utente selezioni un tratto della struttura per visualizzare i dettagli sulla verifica a stabilità globale.

Per selezionare un tratto della struttura, spostare il puntatore del mouse sul tratto desiderato e cliccare con il tasto sinistro del mouse.

Selezionato il tratto viene visualizzato quanto segue:



Il disegno rappresenta la sezione in mezzeria del tratto selezionato (paratia, profilo e stratigrafia), la maglia dei centri (con evidenziato il centro associato alla superficie con fattore di sicurezza minimo), la superficie critica e le strisce in cui è stato suddiviso il volume di terreno appartenente alla superficie di scorrimento.

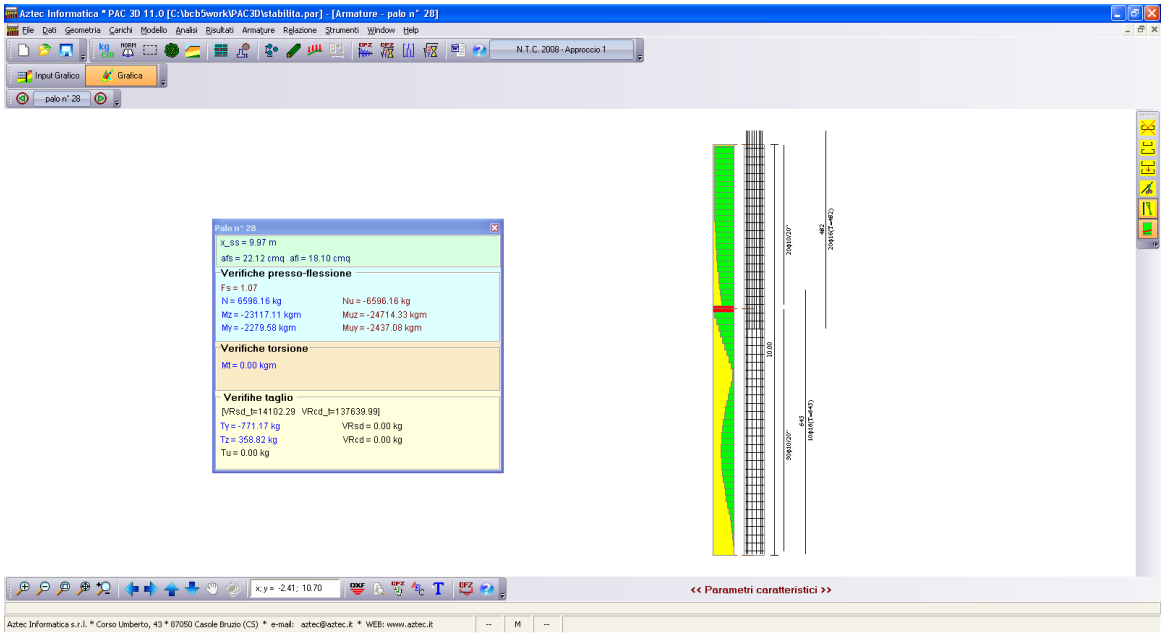
Cliccando all'interno della superficie di scorrimento è possibile avere informazioni sulle caratteristiche di ogni singola striscia.

11.9 Vista grafica delle ARMATURE

Cliccando sul pulsante **Armature** dalla barra comandi risultati, viene visualizzata la vista del modello strutturale globale e il programma rimane in attesa che l'Utente selezioni un elemento della struttura (palo, cordolo, ecc.) per visualizzare i dettagli sulle armature progettata e verificate dal programma.

Per selezionare un elemento della struttura, spostare il puntatore del mouse sul palo (o cordolo) che si vuole visualizzare e cliccare con il tasto sinistro del mouse.

Selezionato l'elemento viene visualizzato quanto segue:



Nel disegno viene rappresentato l'elemento selezionato (palo, cordolo, ecc.) con le armature ad esso associato (se l'elemento è in c.a.), il diagramma di impegno (diagramma a sfondo giallo e istogrammi verdi o rossi).

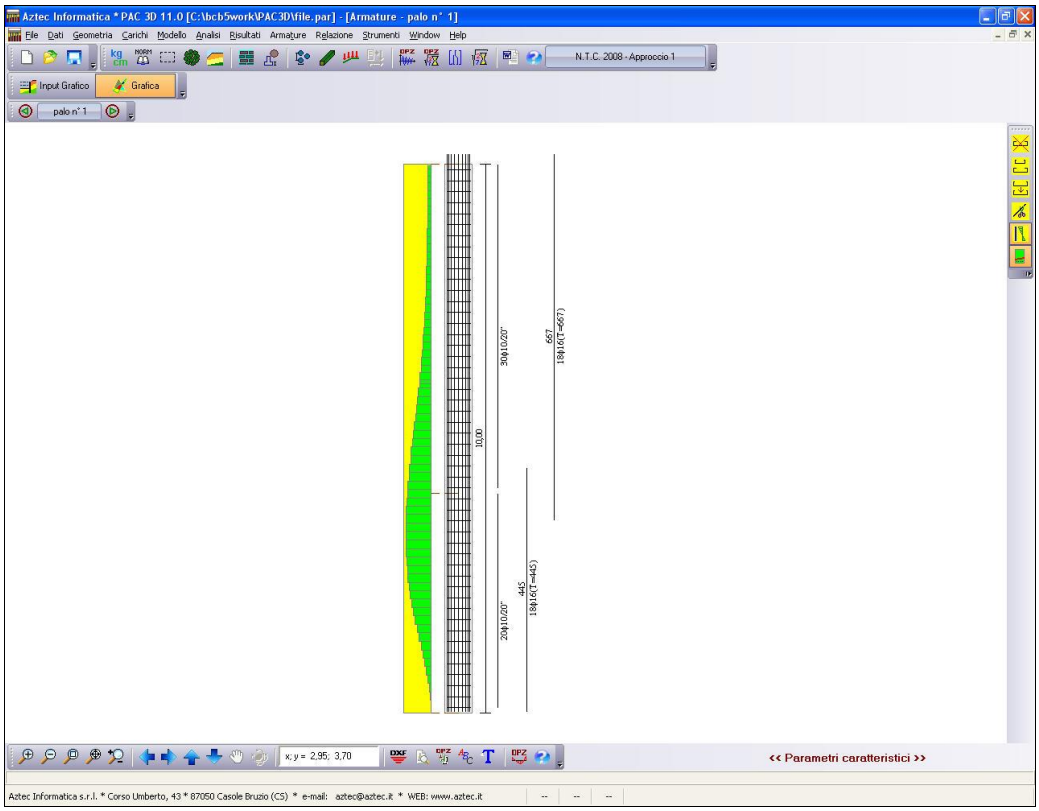
Le armature vengono visualizzate sia all'interno della sezione longitudinale del palo sia come esploso di dettaglio. Nell'esploso di dettaglio viene indicata la geometria di ogni gruppo di ferri del palo con indicato il numero, il diametro e le lunghezze dei ferri (totale e parziale). Per l'armatura a taglio è riportato il diametro ed il numero di staffe.

Il diagramma di impegno (diagramma a sfondo giallo) indica il tasso di lavoro dei materiali. Il giallo rappresenta il tasso di lavoro massimo (100%), l'istogramma verde rappresenta il tasso di lavoro della sezione (valore compreso tra 0-100%) mentre l'istogramma rosso rappresenta il superamento del tasso di lavoro massimo (>100%).

Cliccando all'interno del diagramma di impegno viene visualizzata la finestra che permette di visualizzare i risultati associati alle verifiche eseguite dal programma (verifiche a tenso presso-flessione, verifiche a taglio, verifiche a torsione e verifiche tensionali).

Per visualizzare i risultati in sezioni precedenti o successive alla sezione selezionata, basta spostare il puntatore del mouse e la finestra di interrogazione viene automaticamente aggiornata.

Per passare da un palo (o cordolo) ad uno precedente (o successivo) basta cliccare su uno dei pulsanti in alto a sinistra (sottostruttura precedente o successiva) e, se si tratta di un palo cliccando sul pannello che indica l'indice del palo visualizzato, viene attivata la finestra con la vista in pianta dalla quale è possibile selezionare il palo che si vuole visualizzare.



In tale vista è possibile:

- leggere le tensioni nei materiali
- spostare i ferri nella distinta
- inserire nuovi ferri
- cancellare i ferri presenti
- modificare i ferri esistenti
- differenziare l'armatura in più tratti
- modificare le staffe.

11.9.1 Controllo delle verifiche strutturali eseguite

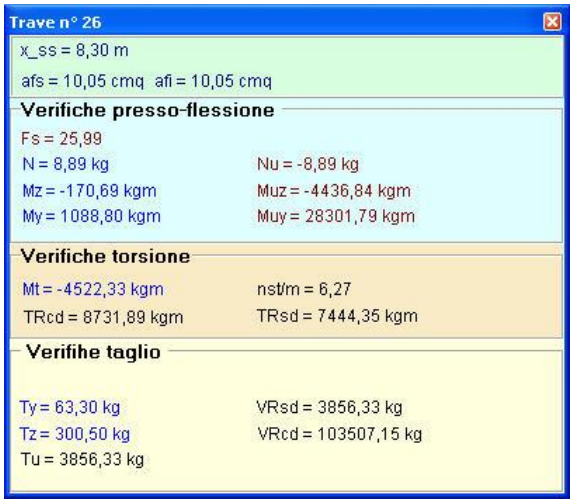
Nella vista delle armature è riportato il diagramma d'impegno delle varie sezioni.

I diagrammi che è possibile visualizzare sono:

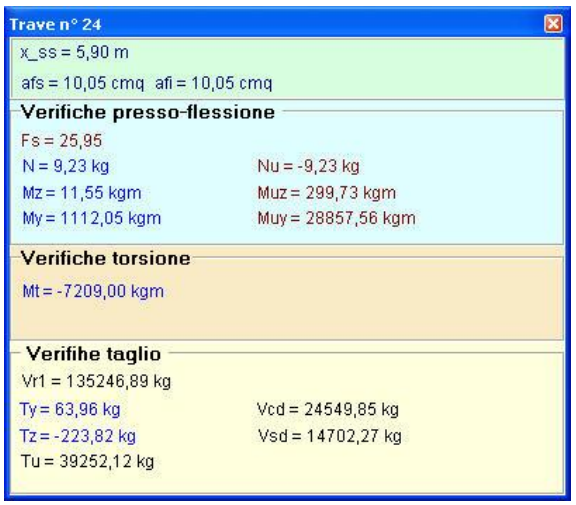
- diagramma d'impegno totale per le verifiche a presso-flessione
- diagramma d'impegno per le verifiche a taglio/torsione

Ciccando all'interno di tale diagramma a sfondo giallo viene visualizzata una finestra nella quale sono riportati tutti i risultati relativi alle verifiche eseguite.

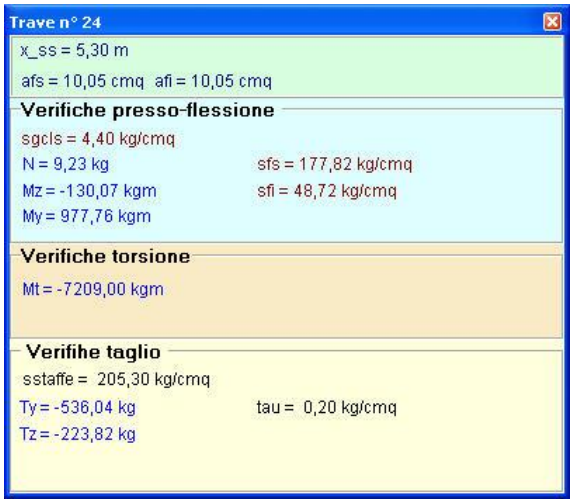
Verifica NTC2008



Verifica Stato Limite D.M.96



Verifica Tensionale



Elementi in materiale calcestruzzo

Verifiche presso-flessione

Se la verifica è da stato limite ultimo, vengono riportati in tabella:

- **Muy, Muz**, momento ultimo della sezione, espresso in [F1×L1]
- **Fs**, fattore di sicurezza a presso-flessione della sezione.

Se la verifica è da stato limite di esercizio o tensionale, vengono riportati:

- σ_{cls}, tensione massima nel calcestruzzo, espressa in [P1]
- $\sigma_{f,min}$, tensione nell'armatura espressa in [P1].

Verifica a taglio

Stato Limite D.M.96:

- V_{cd}, taglio resistente del calcestruzzo in trazione, espresso in [F1]
- V_{sd}, taglio resistente dell'armatura trasversale (staffe), espresso in [F1]
- V_{r1}, taglio resistente del calcestruzzo compresso, espresso in [F1].

Stato limite N.T.C. 2008:

- V_{Rsd}, resistenza a taglio trazione della sezione con armatura trasversale, espressa in [F1]
- V_{Rcd}, resistenza a taglio compressione della sezione con armatura trasversale, espressa in [F1].

Stato limite di esercizio o verifica tensionale:

- τ_c, tensione tangenziale nel calcestruzzo, espressa in [P1]
- σ_{staffe}, tensione nell'armatura trasversale, espressa in [P1].

Verifica torsione

- T_{Rsd}, resistenza offerta dall'armatura trasversale, espressa in [F1xL1]
- T_{Rcd}, resistenza offerta dal calcestruzzo, espressa in [F1xL1].

Elementi in materiale acciaio e generico

Verifiche presso-flessione

Se la verifica è da stato limite ultimo, vengono riportati in tabella:

- **Muy, Muz**, momento ultimo della sezione, espresso in [F1×L1]
- **Fs**, fattore di sicurezza a presso-flessione della sezione.

Se la verifica è da stato limite di esercizio o tensionale, vengono riportati:

- **σc**, tensione massima di compressione, espressa in [P1]
- **σt**, tensione massima di trazione, espressa in [P1]
- **σid**, tensione ideale, espressa in [P1].

Verifica a taglio

Stato limite di esercizio o verifica tensionale

- **τ**, tensione tangenziale nel calcestruzzo, espressa in [P1].

Vengono inoltre riportati:

- **Xs**, ascissa della sezione corrente espresso in [L1]
- **My, Mz**, momenti con asse vettore y e z locali espressi in [F1×L1]
- **Mt,** momento torcente con asse vettore x locale espresso in [F1×L1]
- **Ty, Tz**, tagli in direzione y e z locali espressi in [F1]
- **N**, sforzo normale espresso in [F1].

11.9.2 Selezione di un ferro della distinta

Si può selezionare un ferro della distinta tramite clic del mouse. Il ferro selezionato (disegnato in rosso) viene evidenziato anche nel disegno della sezione della trave.
Il ferro selezionato può essere spostato, modificato, cancellato, etc.

11.9.3 Spostamento ferri nella distinta

Premendo il bottone si attiva/disattiva la fase di spostamento dei ferri nella distinta. Lo spostamento del ferro avviene mediante trascinamento con il mouse.

11.9.4 Modifica ferri della distinta

Dopo aver selezionato il ferro che si vuole modificare, dal bottone si accede alla finestra **Modifica ferri tratto n°…** di editing delle armature.

Lo stesso effetto si ha effettuando un doppio clic sul ferro.
In tale finestra è possibile modificare diametro dei ferri longitudinali, diametro ,passo e numero di bracci delle staffe

11.9.5 Cancellazione di un ferro della distinta

Se dopo avere selezionato un ferro, si preme il tasto [**Canc**] o il bottone , il ferro viene cancellato.
Vengono nuovamente effettuate le verifiche di tutte le sezioni di calcolo della struttura.

11.9.6 Taglio tratto armatura

PAC 3D consente di differenziare l'armatura dei pali e del cordolo in più tratti.

Per effettuare il taglio di un ferro selezionato, si preme il bottone e si clicca con il mouse nel punto di taglio.

Al clic viene visualizzata la finestra a lato che permette di definire numericamente il punto di taglio e di applicare il taglio a tutti i pali/cordoli aventi le medesime caratteristiche.

La distinta conterrà i due tratti generati e verranno rieseguite le verifiche.

11.9.7 Elenco tratti armatura

Per visualizzare l'elenco dei tratti di armatura presenti occorre selezionare l'omonima voce del pop-up menu, oppure ciccare sul pulsante . Verrà visualizzata la tabella a fianco riportata.

Per ogni tratto leggiamo:

- **Yi**, ordinata locale punto iniziale tratto
- **Ys**, ordinata locale punto finale tratto
- **n°** ferri presenti nel tratto.

E' possibile modificare le quote dei tratti e cancellare i tratti definiti.

Quando si effettua una modifica sulle armature, eventuali superamenti delle tensioni nei materiali sono immediatamente segnalate.

Se vengono superate la tensioni nei materiali (verifiche di esercizio) o non si è raggiunto il coefficiente di sicurezza desiderato (verifiche di stato limite ultimo) il diagramma si presenta di colore rosso.

11.9.8 Visualizza diagrammi verifiche

Il bottone visualizza/nasconde i diagrammi di verifica delle sezioni. Tali diagrammi possono essere interrogati tramite mouse.

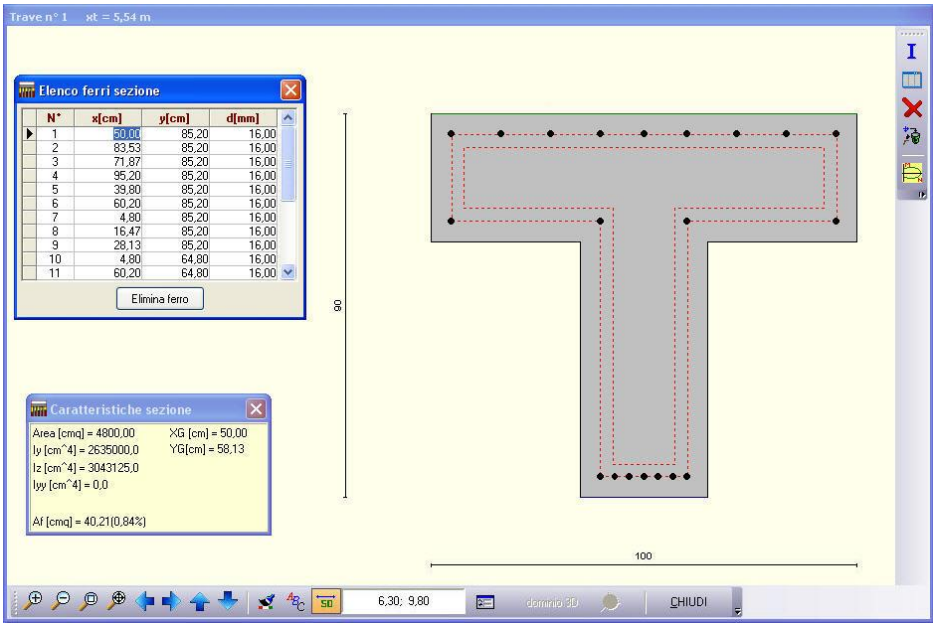
11.9.9 Dettagli armature sezione

Il bottone consente di attivare la visualizzazione della finestra di dettaglio e modifica armatura sezione.

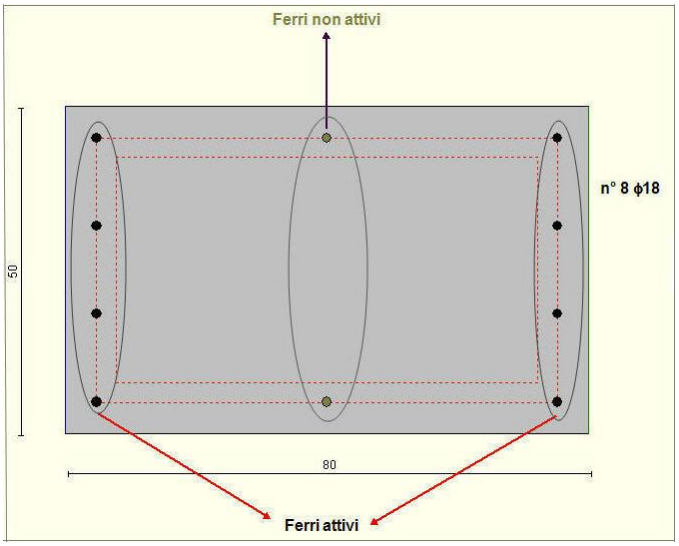
Se il bottone è premuto e si clicca lungo il palo o cordolo viene attivata la finestra di seguito descritta.

11.9.10 Finestra dettaglio armatura sezione

In tale finestra è riportata la sezione quotata con i ferri presenti.



I ferri attivi sono riportati con colore nero, quelli non attivi (perché intercettati nella loro lunghezza di ancoraggio) in colore diverso.



Le operazioni consentite sulle armature presenti sono:

1) cancellazione del singolo ferro
2) cancellazione di tutti i ferri presenti
3) modifica del diametro anche del singolo tondino
4) modifica della posizione dei ferri
5) inserimento di uno o più ferri sui registri indicati
6) Visualizzazione del dominio di rottura:
    1. diagramma di rottura 3D nel piano Mz-My-N
    2. diagramma di rottura nel piano My-Mz (N=cost)

Ad ogni modifica apportata viene ricostruito il dominio di rottura ed effettuate le verifiche sulle sezioni.

11.9.10.1 Inserimento nuovi ferri

Si può inserire un nuovo ferro cliccando sul bottone e posizionando il mouse sul lato di inserimento.

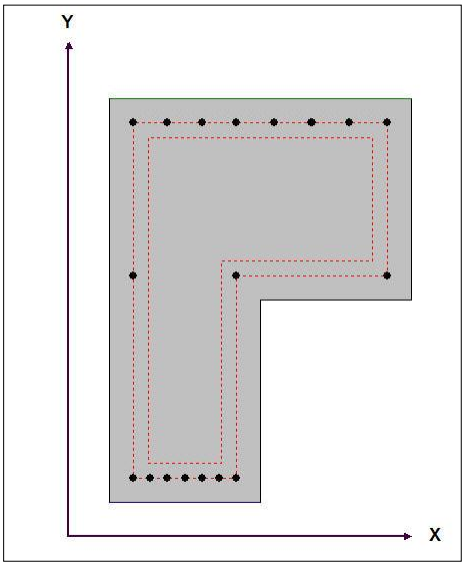
Al clic è visualizzata la finestra **Inserisci ferri.**

Le operazioni che si possono eseguire sono:

- Inserimento di un singolo ferro digitandone la posizione, espressa in [**L2**]. Il sistema di riferimento è con l'origine coincidente con lo spigolo inferiore sinistro della sezione
- Inserimento di più ferri su un lato del registro scelto, indicando il numero di ferri desiderato. I tondini vengono disposti sul lato in modo uniforme, in base al copriferro impostato ed all'interferro. Si può scegliere se eliminare o meno i ferri già presenti.

Con entrambe le modalità di input si può impostare il diametro dei ferri, espresso in [**L3**]

Sistema di riferimento input ferri in sezione



11.9.10.2 Modifica ferri

Cliccando sul bottone è visualizzata la finestra **Elenco ferri.**

N°	x[cm]	y[cm]	d[mm]
1	4,80	45,20	16,00
2	75,20	45,20	16,00
3	40,00	45,20	16,00
4	75,20	31,73	16,00
5	4,80	31,73	16,00
6	75,20	18,27	16,00
7	4,80	18,27	16,00
8	40,00	4,80	16,00
9	4,80	4,80	16,00
10	75,20	4,80	16,00

Per ogni tondino è possibile modificare:

- la posizione, espressa in [**L2**]
- il diametro, espresso in [**L3**]

Ciccando sul bottone [**Elimina ferro**] viene cancellato il ferro selezionato in tabella.

11.9.10.3 Elimina ferro

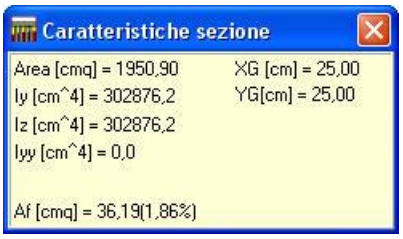
Cliccando sul bottone si attiva la funzione di cancellazione grafica del singolo ferro.
Per effettuare l'operazione occorre ciccare sul ferro da eliminare, che verrà evidenziato in rosso.
Prima di eseguire l'operazione, viene richiesta la conferma.

11.9.10.4 Elimina tutti i ferri

Cliccando sul bottone vengono cancellati tutti i ferri presenti.

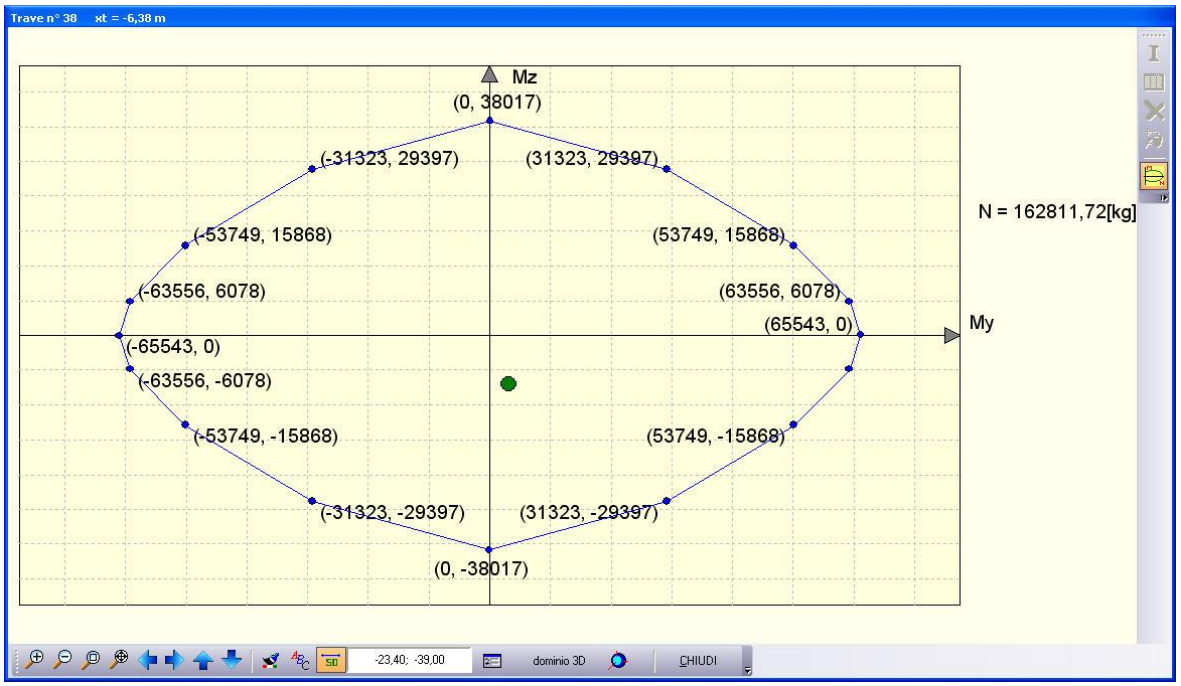
11.9.10.5 Caratteristiche sezione

Cliccando sul bottone viene visualizzata la finestra in cui sono riportate le caratteristiche geometriche della sezione (area, inerzia, baricentro) e l'area di armatura disposta.



11.9.10.6 Visualizza dominio nel piano

Cliccando sul bottone è visualizzato il diagramma di rottura nel piano *Mz-My* (N=cost).



Il diagramma visualizzato riporta la curva di interazione allo stato limite ultimo della sezione analizzata. Sull'asse delle ascisse è riportato il valore del momento flettente *My* (espresso in F1xL1) e sull'asse delle ordinate il valore del momento flettente *Mz*(espresso in F1xL1).

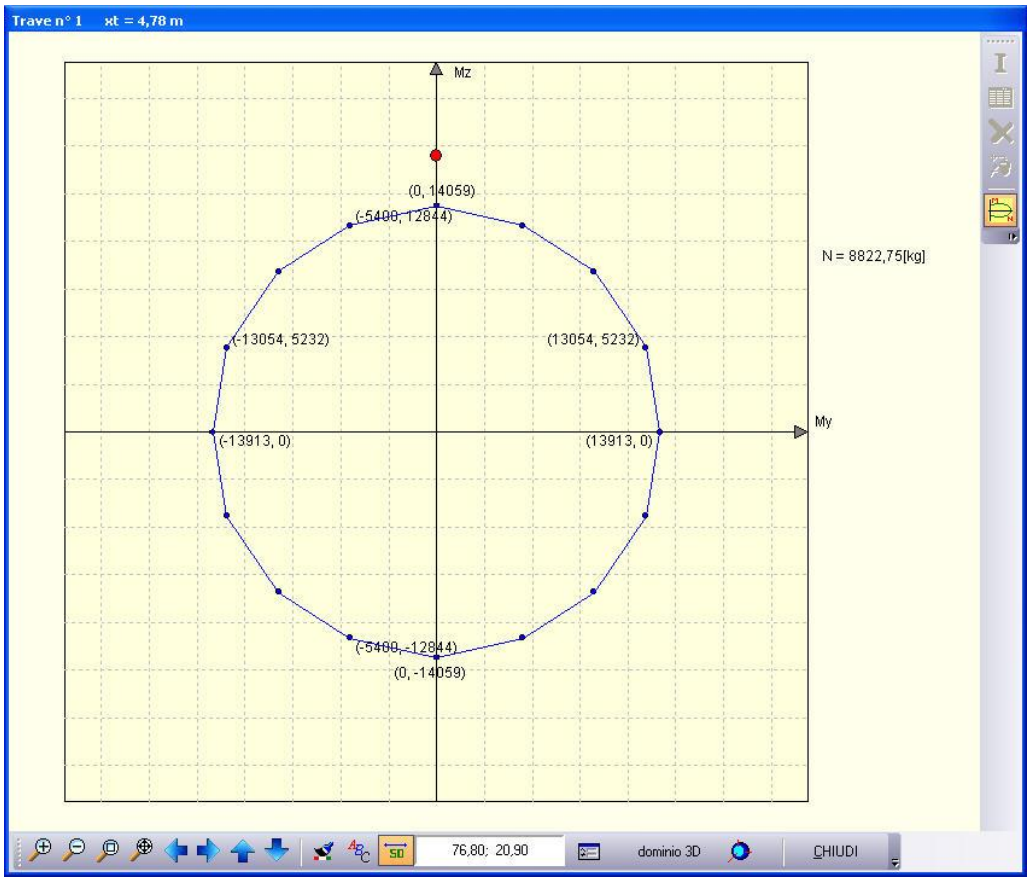
Il valore di *N* in ingresso è pari allo sforzo normale della sezione in cui si è cliccato.

Per visualizzare i diversi diagrammi si può far variare *N* usando i tasti [**PagUP**] e [**PagDown**].

Sul diagramma opportunamente quotato è indicato il punto rappresentativo dello stato di sollecitazione assegnato.

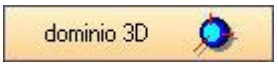
Se tale valore ricade all'interno del dominio è rappresentato dal punto di colore verde.

Se la verifica risulta non soddisfatta (fattore di sicurezza della sezione inferiore a quello imposto) il punto rappresentativo dello stato di sollecitazione si vedrà di colore rosso.

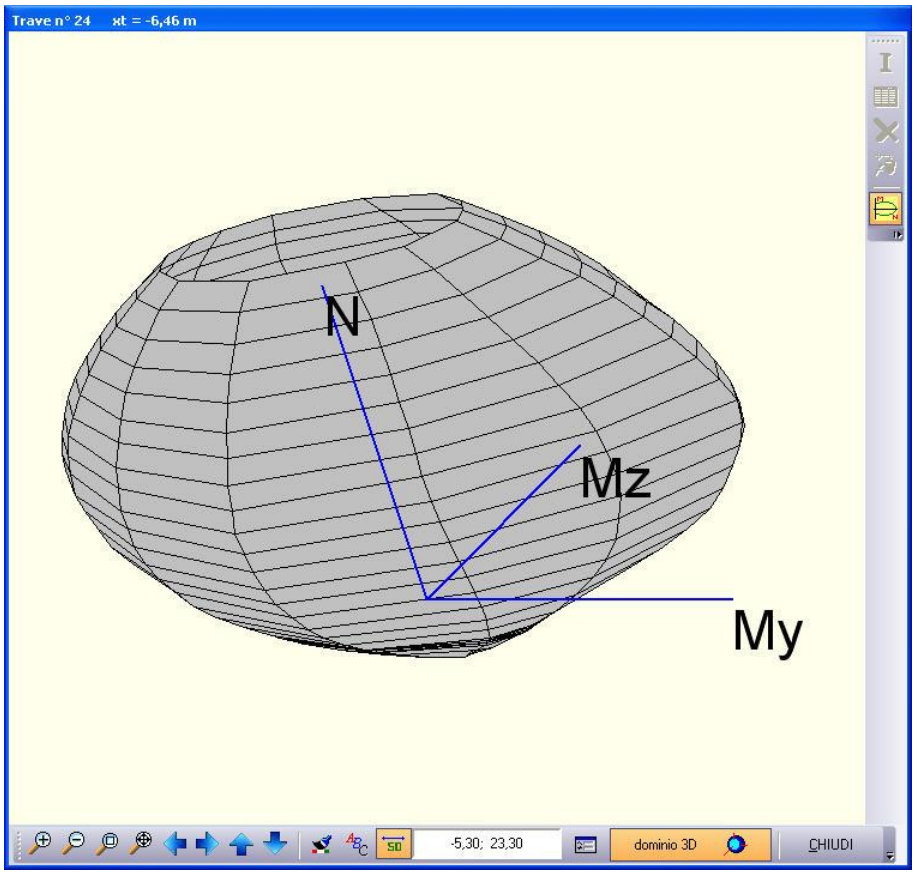


Per il diagramma si possono impostare i caratteri e la quotatura dei punti (quotatura di tutti i punti e dei soli punti notevoli).

11.9.10.7 Visualizza dominio 3D

Ciccando sul bottone 

è visualizzato il diagramma di rottura 3D nel piano *Mz-My-N*.



12 Gestione Armature

12.1 Disposizione armature pre-analisi.

Il programma consente di disporre le armature su tutti gli elementi presenti prima di avviare il calcolo.

Tale disposizione rispetta le opzioni impostate nella tabella **Opzioni Armature** per i cordoli e nella tabella **Modifica Palo/Caratteristiche armature** per i pali.

Tali armature possono essere modificate dall'Utente in modo flessibile e completo.

La disposizione delle armature risulta necessaria nell'analisi non lineare dell'opera, per valutare il comportamento non-lineare di ogni singola sezione.

L'analisi non lineare è usata sia per gli stati limite di esercizio, sia per gli stati limite ultimi.

Al materiale viene attribuito un diagramma di rottura tensione-deformazione che ne rappresenta in modo adeguato il comportamento reale.

In **PAC3D** è possibile adottare

- Materiale calcestruzzo
  1) diagramma parabola – rettangolo
  2) criterio di rottura proposto da Kent & Park, che tiene conto dell'effetto di confinamento della sezione
- Materiale acciaio
  1) diagramma bilineare finito con incrudimento

Attraverso tali diagrammi si determina il momento resistente della sezione, assumendo la conservazione delle sezioni piane.

Viene verificato che le sezioni soggette a fenomeni di plasticizzazione siano in grado di sopportare allo stato limite ultimo le deformazioni non elastiche derivanti dall'analisi.

Il dominio di resistenza della sezione sottoposta a presso-flessione deviata è rappresentato in uno spazio tridimensionale.

12.2 Calcolo e disposizione armature dopo l'analisi.

A valle dell'analisi, note le sollecitazioni agenti sull'opera il programma progetta le armature per le verifiche a presso-flessione deviata, taglio e torsione.

La progettazione viene eseguita per tutte le combinazioni o fasi definite, in funzione del tipo di combinazione / fase(esercizio con verifiche tensionali, stato limite ultimo con determinazione del coefficiente di sicurezza a rottura).

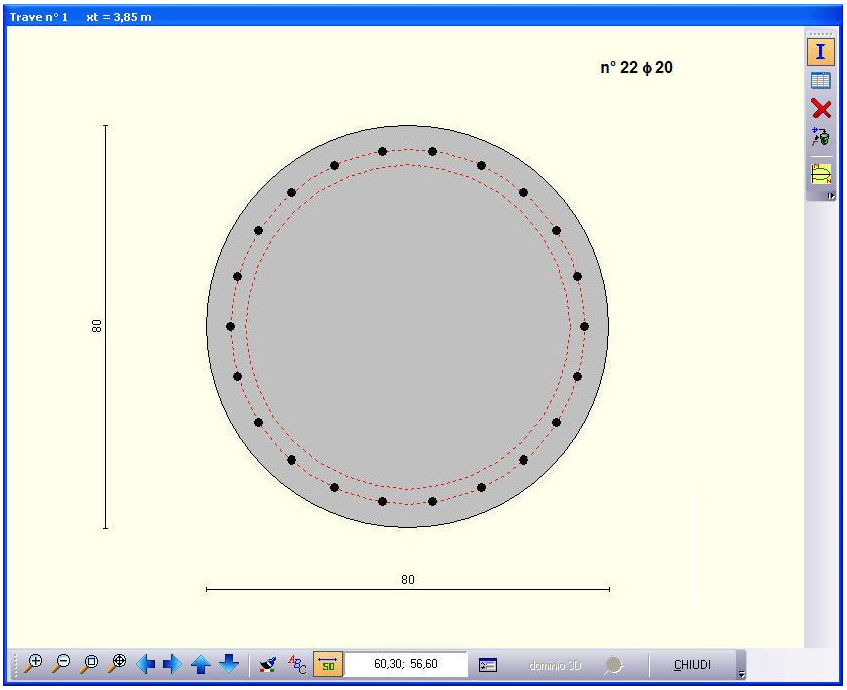
Per ogni sezione di calcolo viene eseguita la verifica.

Le armature progettate vengono disposte rispettando la lunghezza di ancoraggio indicata e i mimini impostati.

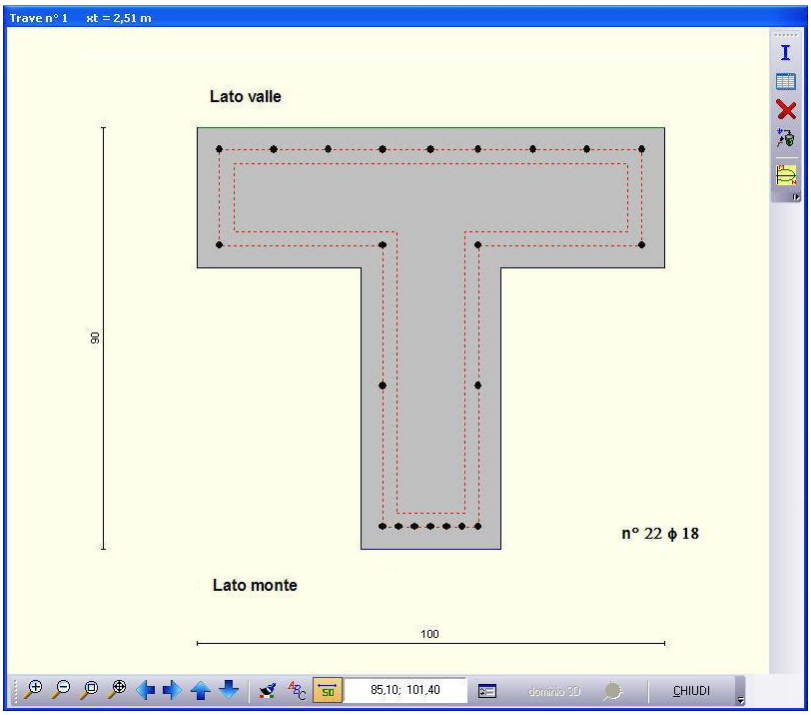
Il programma contempla anche la disposizione su più registri.

Esempi di disposizione armature

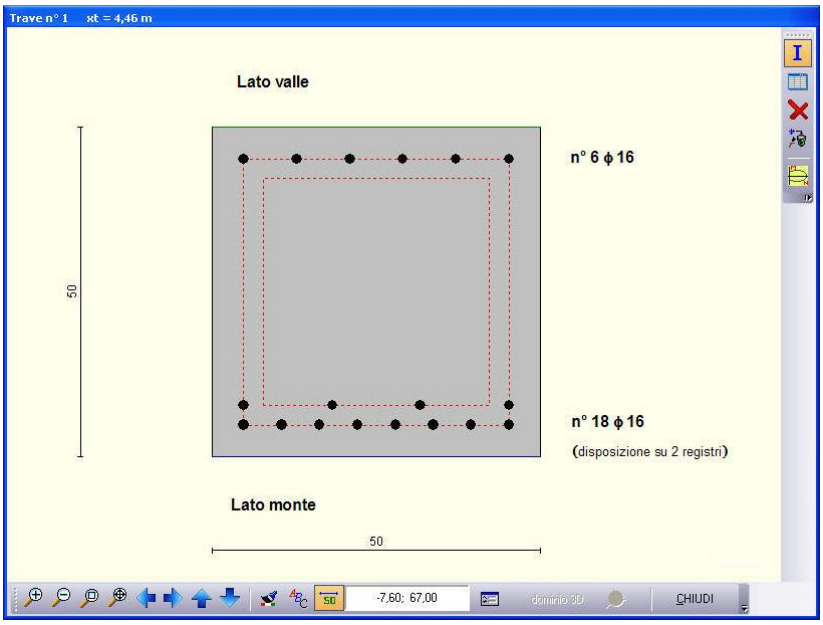
Disposizione armature su sezione circolare



Disposizione armature su sezione a T



Disposizione armature su sezione rettangolare

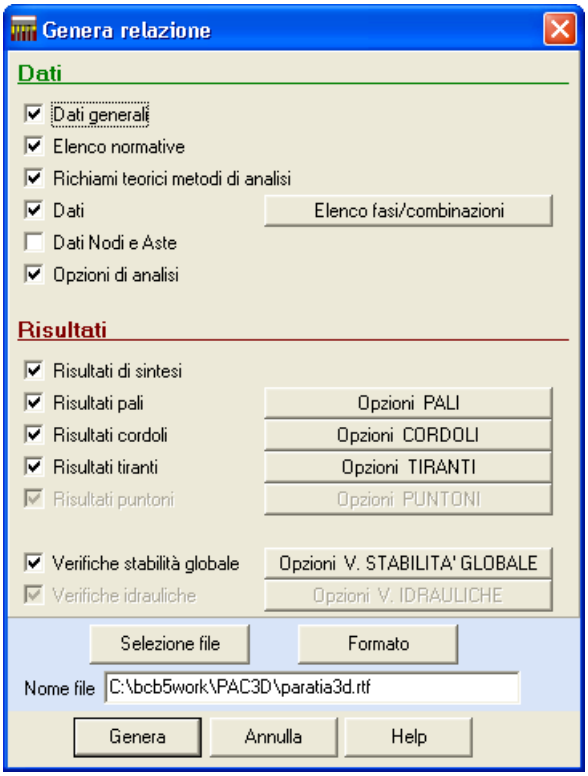


13 Menu relazione

Il menu attivato presenta le seguenti voci, le quali permettono di visualizzare/avviare la finestra di generazione della relazione.

13.1 Opzioni generazione relazione

La finestra **Genera relazione** può essere richiamata dall'omonima voce del menu Relazione o dal pulsante acceleratore presente sulla barra dei comandi. La finestra è suddivisa in due sezioni: dati e risultati. Nella sezione **dati** è possibile attivare la stampa di:



- **dati generali** (progetto, comune, ditta, progettista, direttore dei lavori e impresa esecutrice);
- **elenco normative** (riferimenti normativi sul calcolo eseguito);
- **richiami teorici metodi di analisi utilizzati nel calcolo**;
- **dati** (elenco sezioni, materiali, geometria dei pali, geometria dei cordoli, tipologie tiranti, condizioni e combinazioni di carico, elenco fasi di scavo, ecc.);
- **dati nodi e aste** (elenco dei nodi e degli elementi che costituiscono il modello strutturale analizzato, con posizione e natura degli elementi);
- **opzioni di analisi** (opzioni di calcolo, impostazioni di analisi sismica);

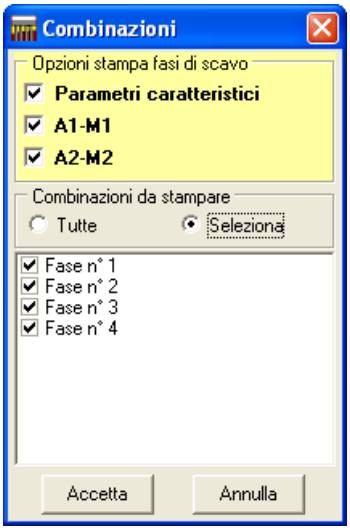
Nella sezione **risultati** è possibile attivare la stampa di:

- risultati di sintesi
- risultati pali (per poter scegliere quali dei risultati stampare e su quali sezioni bisogna accedere alla finestra **Opzioni relazione PALI** che può essere richiamata dal pulsante a fianco)
- risultati cordoli (per poter scegliere quali dei risultati stampare e per quali sezioni bisogna accedere alla finestra **Opzioni relazione CORDOLI** che può essere richiamata dal pulsante a fianco)
- risultati tiranti (per poter scegliere quali dei risultati stampare bisogna accedere alla finestra **Opzioni relazione TIRANTI** che può essere richiamata dal pulsante a fianco)
- risultati puntoni (per poter scegliere quali dei risultati stampare bisogna accedere alla finestra **Opzioni relazione PUNTONI** che può essere richiamata dal pulsante a fianco)
- verifiche stabilità globale (per poter scegliere quali dei risultati stampare bisogna accedere alla finestra **Opzioni Verifiche stabilità globale** che può essere richiamata dal pulsante a fianco)

– verifiche idrauliche (per poter scegliere quali dei risultati stampare bisogna accedere alla finestra **Opzioni Verifiche idrauliche** che può essere richiamata dal pulsante a fianco).

13.2 Opzioni relazione COMBINAZIONI

La finestra **Opzioni relazione combinazioni** può essere richiamata dal pulsante [**Elenco Fasi/Combinazioni**] della finestra **Genera relazione**.



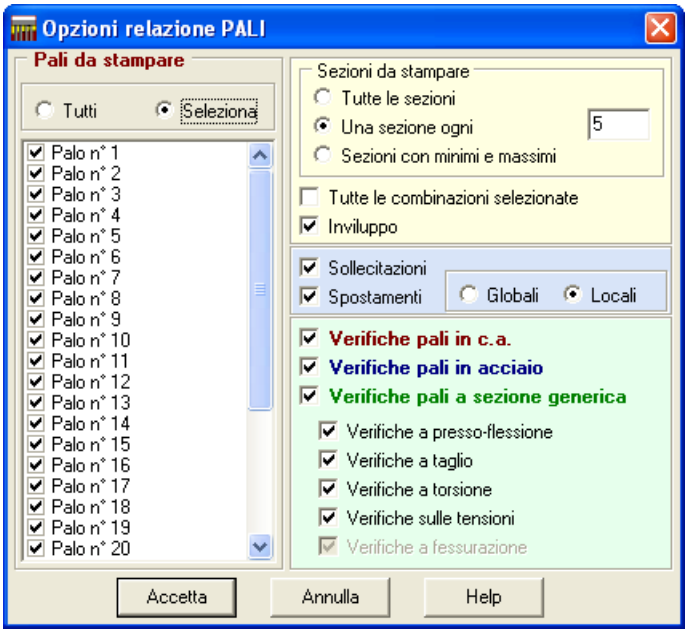
Nella finestra è possibile impostare, in funzione del tipo di calcolo (analisi per fasi di scavo o analisi per combinazioni di carico), alcuni parametri.

Se l'analisi è per fasi di scavo è possibile attivare la stampa dei risultati relativi ai possibili tipi di analisi eseguiti (analisi con parametri caratteristici, analisi con parametri A1-M1 o analisi con parametri A2-M2). Le opzioni attive sono relative alle sole analisi eseguite.

Se l'analisi è per fasi di scavo o per combinazioni di carico è possibile scegliere per quali fasi/combinazioni stampare i risultati (è possibile scegliere tra: tutte le fasi/combinazioni o, attivando il pulsante *Seleziona*, attivare solo quelle fasi/combinazioni che interessano).

13.3 Opzioni relazione PALI

La finestra **Opzioni relazione PALI** può essere richiamata dal pulsante [**Opzioni PALI**] della finestra **Genera relazione**.



Nella finestra è possibile impostare quali risultati e quali pali stampare.

Nel pannello *Pali da stampare* è possibile scegliere tra tutti i pali e seleziona (in questo caso si attivano i soli i pali per i quali si desiderano i risultati).

Nel pannello *Sezioni da stampare* è possibile scegliere per quali sezioni stampare sollecitazioni spostamenti e verifiche. E' possibile scegliere tra tutte le sezioni, una sezione ogni … e sezioni con massimi e minimi. Se il numero di sezioni del palo sono 100,

attivando *tutte le sezioni* verranno stampate tutte e 71, attivando una sezione ogni 10 verranno stampate le sezioni 1-11-21-31-41-51-61-71, attivando sezioni con massimi e minimi verranno stampate n sezioni (2 per sollecitazioni e spostamenti, 1 per verifiche allo SLU, ecc.).

I risultati che è possibile stampare per ogni palo sono:

- risultati Sollecitazioni (con sistema di riferimento locale al palo)
- risultati Spostamenti, gli spostamenti possono essere stampati con un sistema di riferimento globale o locale al tratto di appartenenza del palo
- risultati verifiche per i pali in c.a., acciaio e/o materiale generico (se presenti).

Nell'ambito delle verifiche è possibile stampare:

- le verifiche a presso flessione (combinazioni allo SLU)
- le verifiche a taglio (combinazioni allo SLU)
- le verifiche a torsione (combinazioni allo SLU)
- le verifiche sulle tensioni (combinazioni allo SLE)
- le verifiche sulla fessurazione (combinazioni allo SLE).

13.4 Opzioni relazione CORDOLI

La finestra **Opzioni relazione CORDOLI** può essere richiamata dal pulsante [**Opzioni CORDOLI**] della finestra **Genera relazione**.

Nella finestra è possibile impostare quali risultati e quali cordoli stampare.

Nel pannello *Cordoli da stampare* è possibile scegliere tra tutti i cordoli e seleziona (in questo caso si attivano i soli i cordoli per i quali si desiderano i risultati).

Nel pannello *Sezioni da stampare* è possibile scegliere per quali sezioni stampare sollecitazioni spostamenti e verifiche. E' possibile scegliere tra tutte le sezioni, una sezione ogni … e sezioni con massimi e minimi. Se il numero di sezioni del cordolo sono 100, attivando *tutte le sezioni* verranno stampate tutte e 71, attivando una sezione ogni 10 verranno stampate le sezioni 1-11-21-31-41-51-61-71, attivando sezioni con massimi e minimi verranno stampate n sezioni (2 per sollecitazioni e spostamenti, 1 per verifiche allo SLU, ecc.).

I risultati che è possibile stampare per ogni cordolo sono:

- risultati Sollecitazioni (con sistema di riferimento locale al cordolo)
- risultati Spostamenti, gli spostamenti possono essere stampati con un sistema di riferimento globale o locale al tratto di appartenenza del cordolo
- risultati verifiche per i cordoli in c.a., acciaio e/o materiale generico (se presenti).

Nell'ambito delle verifiche è possibile stampare:

- le verifiche a presso flessione (combinazioni allo SLU)
- le verifiche a taglio (combinazioni allo SLU)
- le verifiche a torsione (combinazioni allo SLU)
- le verifiche sulle tensioni (combinazioni allo SLE)
- le verifiche sulla fessurazione (combinazioni allo SLE).

13.5 Opzioni relazione TIRANTI

La finestra **Opzioni relazione TIRANTI** può essere richiamata dal pulsante [**Opzioni TIRANTI**] della finestra **Genera relazione**. Nella finestra è possibile impostare quali risultati e quali tiranti stampare.

Nel pannello *Tiranti da stampare* è possibile scegliere tra tutti i tiranti e seleziona (in questo caso si attivano i soli tiranti per i quali si desiderano i risultati).

I possibili risultati che è possibile stampare sono:

- le sintesi sui tiranti selezionati (in questo caso il programma stampa il tiro massimo che si esplica sul tirante, lo spostamento massimo, la tensione massima alla quale è sottoposta l'armatura del tirante e le grandezze geometriche: lunghezza libera, di fondazione e totale del tirante)
- i dettagli sui tiranti selezionati (con questa opzione il programma stampa il tiro, lo spostamento, la tensione nell'armatura del tirante e la lunghezza di fondazione necessaria per tutte le fasi/combinazioni selezionate).

13.6 Opzioni relazione PUNTONI

La finestra **Opzioni relazione PUNTONI** può essere richiamata dal pulsante [**Opzioni PUNTONI**] della finestra **Genera relazione**.

Nella finestra è possibile impostare quali risultati e quali puntoni stampare.

Nel pannello *Puntoni da stampare* è possibile scegliere tra tutti i puntoni e seleziona (in questo caso si attivano i soli puntoni per i quali si desiderano i risultati).

I possibili risultati che è possibile stampare sono:

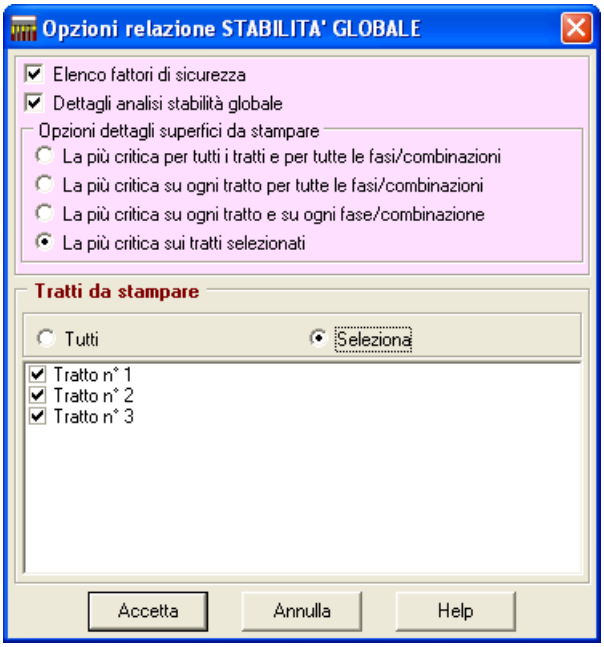
- le sintesi sui puntoni selezionati (in questo caso il programma stampa il carico che si esplica sul puntone, il carico critico, lo spostamento massimo, la tensione massima alla quale è sottoposta

l'armatura del puntoni)

- i dettagli sui puntoni selezionati (con questa opzione il programma stampa il carico che si esplica sul puntone, lo spostamento, la tensione nell'armatura del puntone).

13.7 Opzioni relazione Verifica a stabilità globale

La finestra **Opzioni relazione STABILITA' GLOBALE** può essere richiamata dal pulsante [**Opzioni V. STABILITA' GLOBALE**] della finestra **Genera relazione**.



Nella finestra è possibile impostare quali risultati e per quali tratti stampare la verifica a stabilità globale.

I possibili risultati che è possibile stampare sono:

- elenco fattori di sicurezza (viene riportato un elenco con l'indice del tratto interessato alla verifica, il raggio della superficie di scorrimento, i punti di intersezione della superficie di scorrimento con il profilo di monte e di valle e il fattore di sicurezza)
- dettagli analisi stabilità globale, permette di stampare i particolari su ogni singola striscia che costituisce la superficie di scorrimento. Se si attiva questa opzione si può scegliere anche per quale fase/combinazione e/o tratto stampare i dettagli. E' possibile scegliere di stampare la più critica tra tutti i tratti e per tutte le fasi/combinazioni selezionate/analizzate, la più critica su ogni tratto per tutte le fasi/combinazioni selezionate/analizzate, la più critica su ogni tratto e su ogni fase/combinazione selezionata/analizzata e la più critica sui tratti selezionati. In questo ultimo caso il programma attiva il selettore dei tratti che costituiscono la paratia. Nel pannello *Tratti da stampare* è possibile scegliere tra tutti i tratti e seleziona (in questo caso si attivano i soli tratti per i quali si desiderano i risultati).

13.8 Opzioni relazione Verifiche idrauliche

La finestra **Opzioni relazione VERIFICHE IDRAULICHE** può essere richiamata dal pulsante [**Opzioni VERIFICHE IDRAULICHE**] della finestra **Genera relazione**.

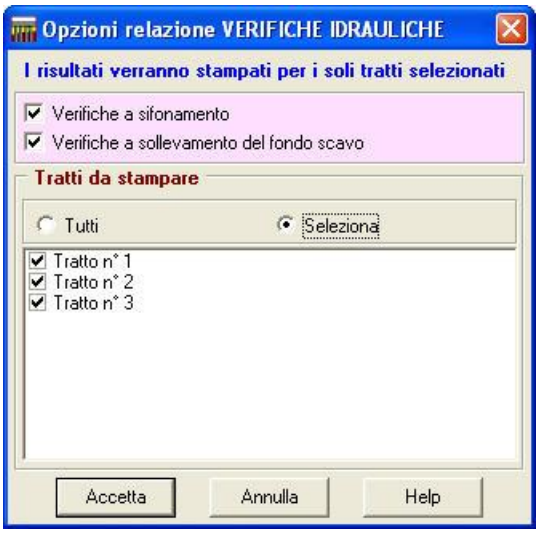
Nella finestra è possibile impostare quali risultati e per quali tratti stampare la verifiche idrauliche.

Nel pannello *Tratti da stampare* è possibile scegliere tra tutti i tratti e seleziona (in questo caso si attivano i soli tratti per i quali si desiderano i risultati).

I possibili risultati che è possibile stampare sono:

- le verifiche a sifonamento
- le verifiche a sollevamento del fondo scavo.

Per ognuna delle verifiche vengono riportati tutti i dettagli della verifica eseguita con associati i fattori di sicurezza ottenuti.



14 Richiami teorici

14.1 PAC 3D. Il modello di calcolo

Il modello di calcolo implementato in **PAC 3D** rientra nella categoria dei metodi a molle ampiamente utilizzati nell'analisi di paratie in deformazione piana. L'interazione terreno-struttura viene simulata mediante una serie di molle a comportamento non lineare. Trattandosi di un problema spaziale, le tipologie di molle adottate nel software sono diverse rispetto ad un'analisi in deformazione piana, dove la direzione di sollecitazione e di rottura delle molle stesse è univocamente determinata.

PAC 3D simula la paratia con un modello di calcolo a telaio tridimensionale parzialmente immerso nel terreno. La paratia viene quindi suddivisa in una serie di elementi trave, per modellare il comportamento dei pali, dei cordoli, dei tiranti e puntoni nonché di qualsiasi altro elemento strutturale inserito nello schema a telaio.
E' possibile impostare sia l'elemento trave classico (Bernoulli - Eulero) sia l'elemento trave con deformabilità tagliante (Timoshenko). Vedremo più avanti i dettagli di tali elementi.

In un'analisi a deformazione piana la paratia viene simulata con una serie di elementi trave di lunghezza pari ad un metro. Pertanto tutte le grandezze in gioco vanno rapportate in termini di rigidezza ad un metro di "larghezza".
Sia la rigidezza dei pali, che quelle dei tiranti vengono "scalate" opportunamente. Lo stesso dicasi per i carichi che si intendono avere una estensione indefinita nella direzione ortogonale al piano di lavoro.

Il modello proposto da **PAC 3D** supera tali limitazioni. Ogni elemento strutturale viene considerato con le sue effettive dimensioni e nella sua reale posizione.
Possono pertanto essere analizzate paratie aventi diametro di pali differenti, sia come forma della sezione che come dimensione delle sezioni stesse. E' inoltre possibile tener conto di materiali differenti.
Per quanto riguarda i tiranti non siamo più vincolati a disporli con uguale interasse, perché venendo a mancare la necessità del cordolo infinitamente rigido si riesce ad analizzare lo stato deformativo dell'opera in modo completo.
La semplificazione più importante nel modello sicuramente riguarda il calcolo della spinta. Non essendo disponibili in letteratura procedure di calcolo della spinta in stato tridimensionale, si ricorre ad una semplificazione che comunque risulta a vantaggio della sicurezza, e che permette di risolvere in tempi tecnicamente accettabili per il progettista problemi anche di dimensioni notevoli.
La semplificazione adottata è quella di calcolare la spinta con l'ipotesi di deformazione piana (Coulomb) in corrispondenza di ogni palo della paratia. Pur trattandosi di una ipotesi semplificativa consente di tener conto della variabilità di altezza dell'opera e dell'interasse variabile dei pali.
Per tale ragione abbiamo denominato il modello di **PAC 3D** come modello "pseudo-

tridimensionale".

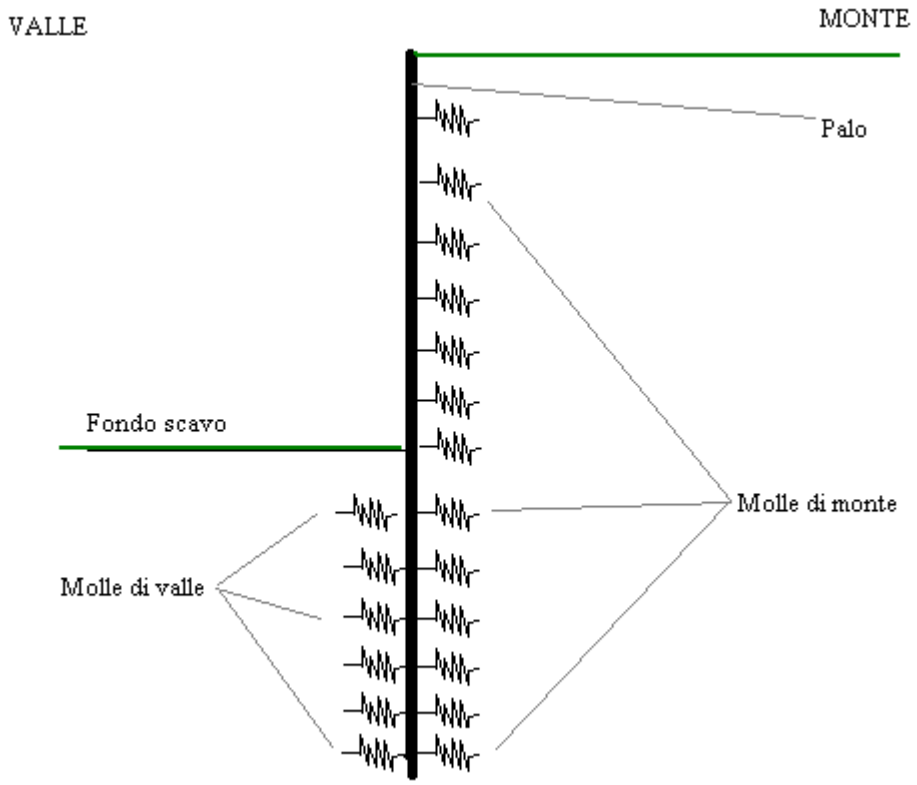
L'alternativa a questa semplificazione sarebbe un calcolo ad Elementi Finiti tridimensionale che pur fornendo delle risposte sicuramente più attendibili ed accurate richiede tempi di calcolo tecnicamente non praticabili (ore, se non giorni, per l'analisi di una paratia di medie-grandi dimensioni).

Nei paragrafi seguenti verranno esposti i dettagli del modello adottato.

14.2 La schematizzazione del terreno

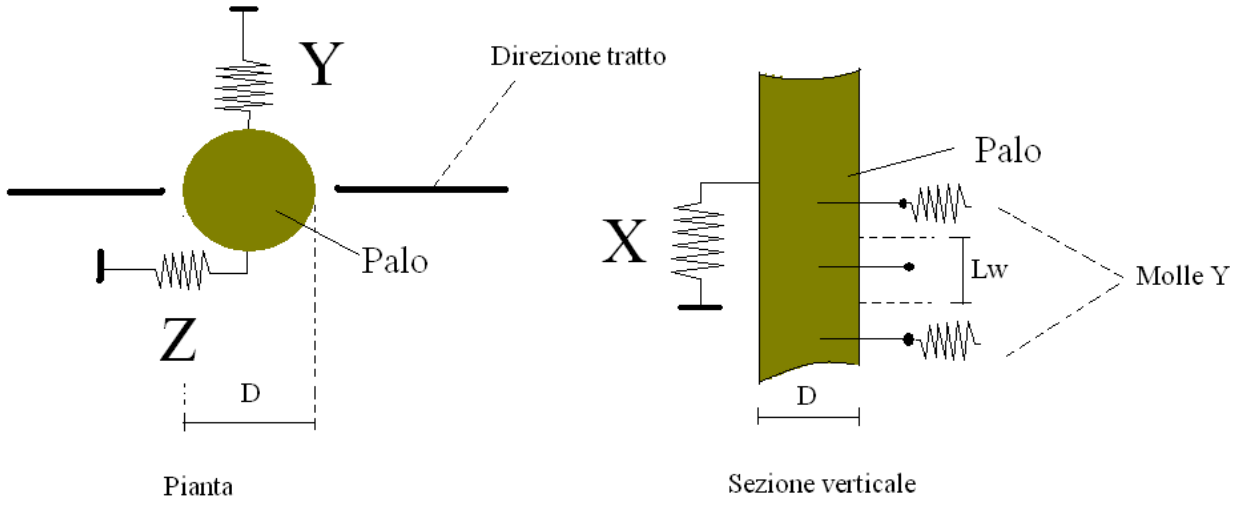
Abbiamo già accennato precedentemente che il modello di **PAC 3D** rientra nella famiglia dei metodi a molle, diffusamente utilizzati nei software di calcolo per studiare l'interazione terreno-struttura (si pensi al caso più semplice di sottosuolo alla Winkler per la modellazione delle fondazioni).

Il modello di molle di **PAC 3D** è più simile a quelli che in letteratura sono noti come NLWF (Non Linear Winkler Foundation). Ogni palo viene suddiviso in un numero **n** di elementi trave. Il numero di elementi **n** è abbastanza elevato per poter cogliere al meglio l'interazione terreno-struttura. In ogni nodo del modello vengono inserite 3 molle:



Nota la direzione del tratto cui il palo appartiene,viene inserita la molla "principale" Y ortogonale al tratto stesso. Questa è una molla di tipo "normale" nel senso che lavora per spostamenti ortogonali al tratto. Ad essa viene attribuita una rigidezza $K_M = K\ L_W\ D$ (Kg/cm) dove K è la costante di Winkler del terreno in corrispondenza della molla espressa in Kg/cm^2/cm, L_W è la lunghezza di competenza

e D rappresenta l'area di impronta del palo sul terreno. Per default il parametro D viene assunto pari al diametro del palo ma è comunque modificabile dall'Utente (per tener conto ad esempio se si vuole mettere in conto l'effetto arco).



Il parametro di rigidezza *K* può essere impostato dall'Utente strato per strato o definito mediante una legge del tipo:

$$K = A + Bz^n$$

dove *z* è espresso in metri rispetto alla testa della paratia (molle a monte) o rispetto alla linea di fondo scavo (molle a valle).

Ad esempio ponendo n = 1 si ottiene una rigidezza variabile linearmente con la profondità. Valori utilizzati in letteratura sono n = 1 (lineare) oppure n = !/2 (variabile con la radice quadrata della profondità).

E possibile fare stimare il valore di *K* al programma mediante la relazione:

$$K = R_P/d$$

Dove R_P è la resistenza passiva alla profondità della molla e *d* rappresenta uno spostamento convenzionale (in letteratura il valore *d*=1 pollice è un valore suggerito da diversi Autori).

Tale metodologia viene suggerita sia da Bowles che dal Cestelli-Guidi (vedi bibliografia).

La molla principale Y può avere rigidezza differente per spostamenti verso monte e spostamenti verso valle. Il comportamento della molla è di tipo non lineare. La pressione limite è data dal valore della pressione passiva P_P , in corrispondenza della quota della molla stessa. Il valore della pressione limite è differente per la molla di monte e quella di valle. La molla lavora sempre a compressione.

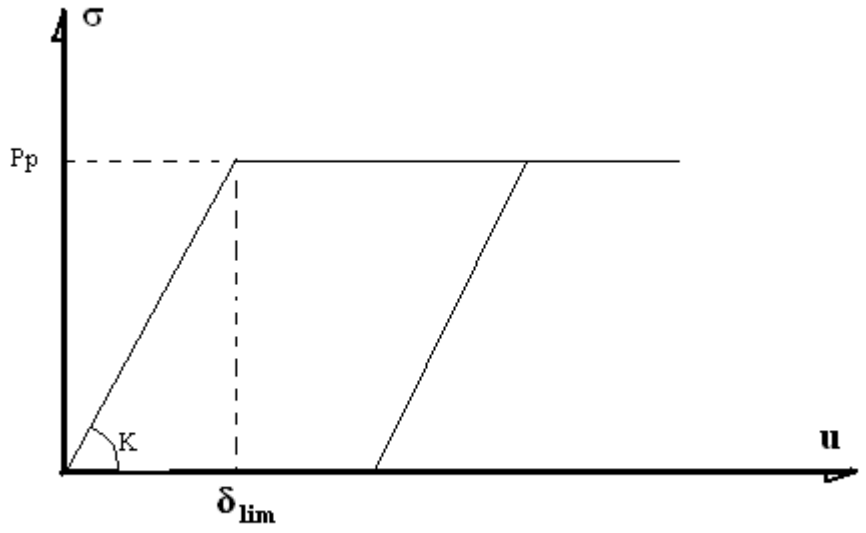


Diagramma sforzo-spostamento della molla

Durante il processo di analisi (incrementale-iterativo con recupero del residuo) può lavorare la molla verso monte o quella verso valle, Le molle fuori terra (al di sopra del fondo scavo) hanno rigidezza per spostamenti verso monte mentre hanno rigidezza nulla per spostamenti verso valle.

Nota la rigidezza della molla i-esima il valore dello spostamento per il quale si attinge la plasticizzazione è dato da:

$$\delta_{LIM} = P_P(z) / K_M(z)$$

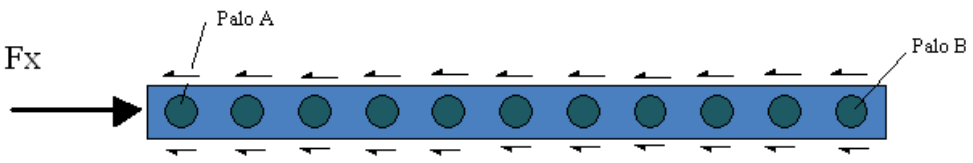
dove P_P (z) e K_M (z) rappresentano il valore della pressione passiva e della rigidezza della molla alla quota *z*. Per la rigidezza in fase di scarico assumiamo la stessa pendenza del tratto iniziale $K_{MU} = K_M$.

Le molle a trazione non offrono resistenza allo spostamento. Ad esempio, una molla posta fuori terra (al di sopra della linea di fondo scavo) non offrirà nessuna resistenza allo spostamento verso valle. Viceversa essa sarà in grado di reagire ad uno spostamento verso monte sempre fino al limite della pressione passiva.

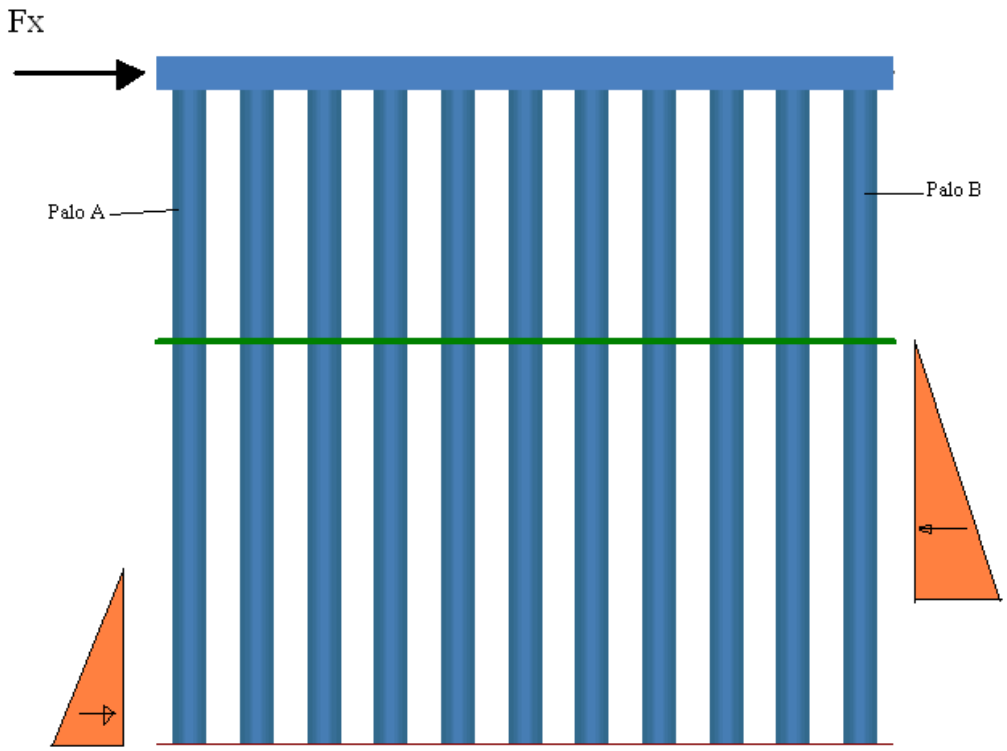
<u>Molle “tangenziali” al tratto di paratia.</u>

Abbiamo visto come lavorano le molle principali della paratia. Illustreremo adesso il sistema delle molle tangenziali al tratto.

Consideriamo un tratto di paratia caricata con un sistema di forze parallele al tratto stesso. Il meccanismo di resistenza in questo caso è costituito da due contributi.



Sforzi tangenziali lungo il tratto di paratia per effetto di un carico parallelo al tratto

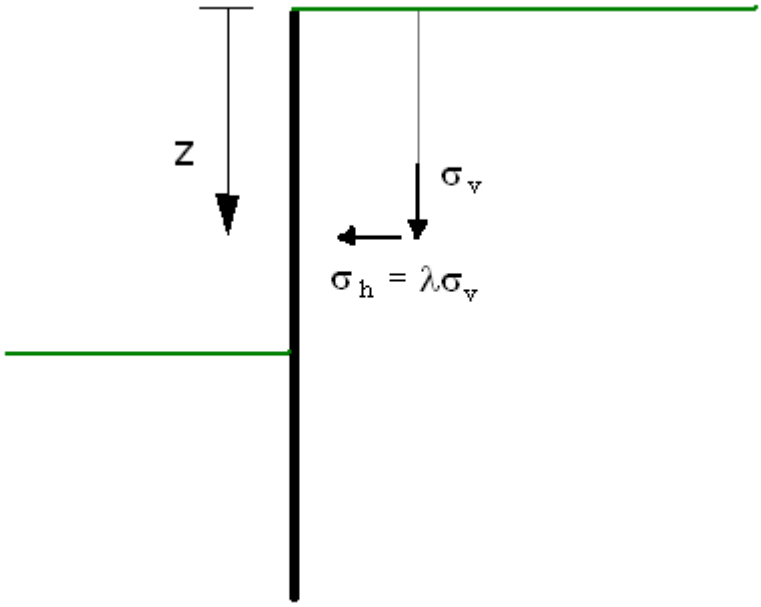


Reazioni sui pali di estremità per effetto di un carico parallelo al tratto

Il primo contributo è dato dalla resistenza tangenziale offerta lungo la superficie laterale (τ_L) del tratto. Tale contributo è chiaramente di tipo attritivo. La pressione limite che la molla potrà sopportare può essere espressa pertanto mediante la relazione di Mohr-Coulomb:

$$\tau_{LIM} = c + \lambda\, \sigma_V\, tg\, \varphi = c + \sigma_h\, tg\, \varphi$$

dove τ_{LIM} è la tensione tangenziale limite del terreno, c e φ rappresentano coesione ed angolo di attrito del terreno in corrispondenza della molla, e σ_V rappresenta la tensione geostatica alla profondità considerata, e λ rappresenta il coefficiente di spinta (operatore che trasforma la pressione verticale in pressione orizzontale).



Il diagramma sforzo-deformazione di tale molla è sempre di tipo bilineare (Elastoplastico perfetto):

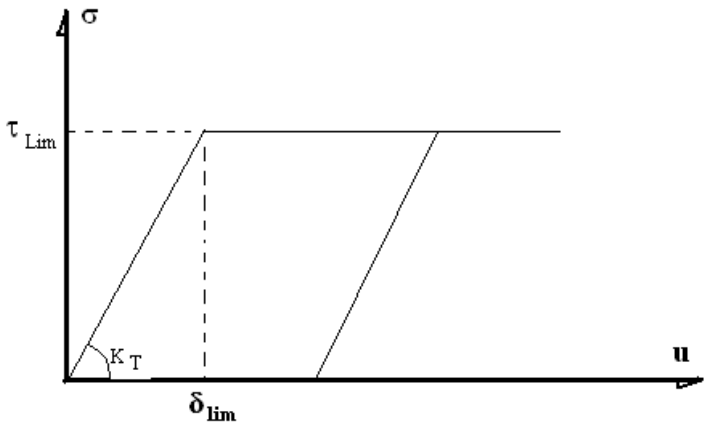


Diagramma sforzo-spostamento della molla

L'altro contributo di resistenza lungo il tratto è offerto dai pali di estremità del tratto stesso. Si tratta di un contributo di tipo "normale" sia sul palo "A" (contributo tipo controspinta) sia sul palo "B" (contributo tipo spinta passiva).

Sui pali di estremità vengono disposte delle molle che hanno un comportamento simile alle molle principali (indicate con Y).
Anche per queste molle la rottura dipende da un meccanismo di tipo passivo.
Teniamo a precisare che sia le molle tangenziali che quelle normali sui pali di estremità vengono disposte solo sulla parte infissa della paratia.
La stessa famiglia di molle (o molle X) è costituita da molle dirette lungo il fusto del palo ed anch'esse hanno un comportamento "tangenziale". Queste molle, nel caso di paratia verticale, contribuiscono all'equilibrio per carichi verticali.

Il diagramma carico-spostamento è identico a quello delle molle tangenziali al tratto mentre l'area di competenza della molla viene legata al diametro del palo. Alla base del palo viene inoltre disposta una molla verticale per simulare la portanza di punta.
La rigidezza delle molle tangenziali (sia la famiglia "z" che la famiglia "x") viene correlata con la rigidezza delle molle normali mediante un fattore che è possibile impostare in *Opzioni Analisi Paratia.*

Il valore impostato per default è pari a

$$F_{RM} = E/G = E/E/2(1+v) = 2(1+ v) = K_M/K_T.$$

Dove *E* è il **Modulo di Young** e *G* è il **Modulo di Elasticità** tangenziale del terreno.
Avendo supposto $v = 0.3$, tale fattore è risultato pari a $F_R = 2.6$.
Comunque l'impostazione di tale fattore, come delle rigidezze, è a carico dell'Utente.

14.3 Calcolo delle Spinte

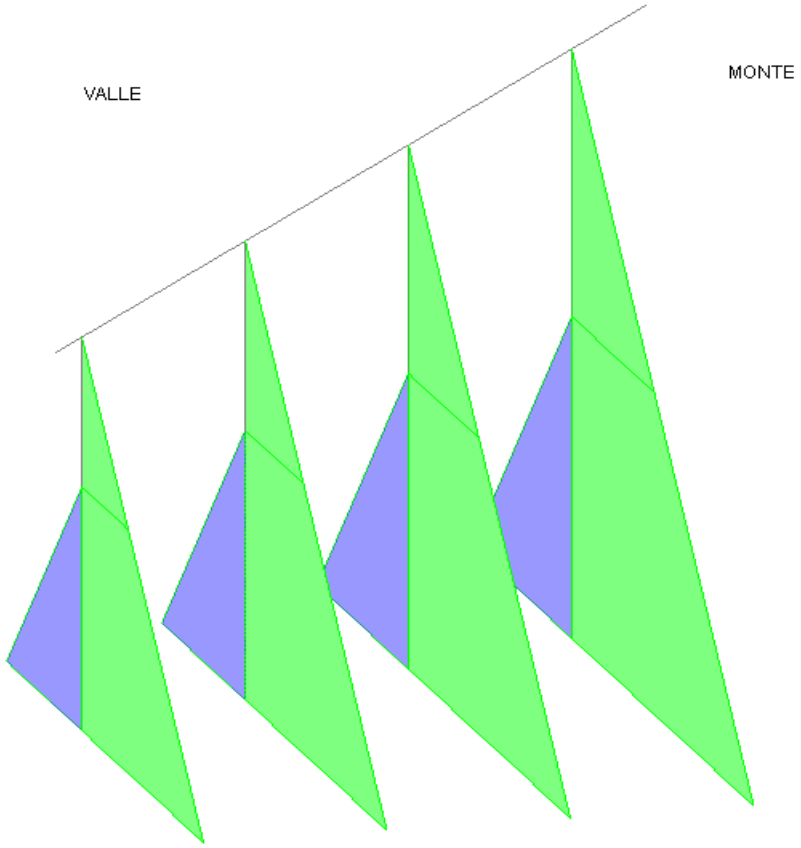
Come abbiamo accennato precedentemente il calcolo sia della spinta attiva che della resistenza passiva viene eseguito in modo approssimato secondo il metodo di **Coulomb**. Sulla verticale, in corrispondenza di ogni palo, vengono calcolati i seguenti diagrammi:

- $S_{AM} = S_{AM}$ (x,y,t) Spinta attiva da monte
- $R_{PM} = R_{PM}$ (x,y,t) Resistenza passiva da monte
- $S_{AV} = S_{AV}$ (x,y,t) Spinta attiva da valle al di sotto del fondo scavo
- $R_{PV} = R_{PV}$ (x,y,t) Resistenza passiva da valle al di sotto del fondo scavo

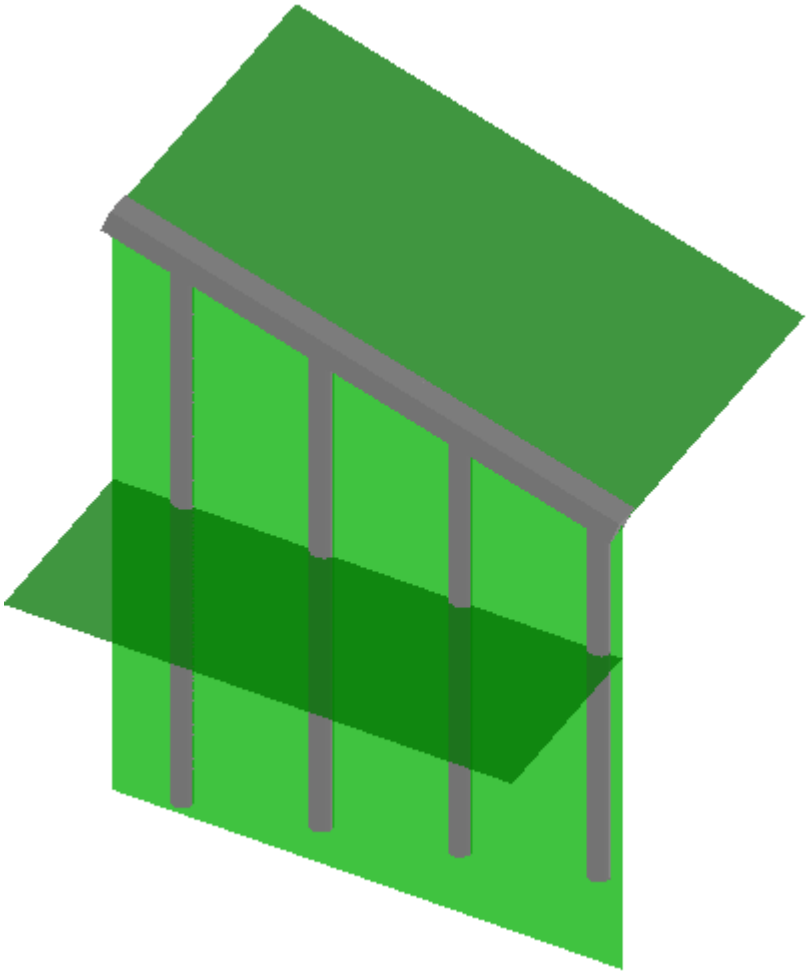
t è un parametro temporale in quanto i diagrammi calcolati dipendono dalla fase di scavo analizzata, mentre *x* e *y* individuano la posizione in pianta di ogni singolo palo.

La dipendenza della fase è legata sia alla variazione della quota di scavo, sia all'eventuale variazione delle caratteristiche fisico-meccaniche del terreno.

La variazione in pianta dipende dalla geometria di ogni singolo palo e dalla stratigrafia del singolo tratto di paratia. Ricordiamo che la stratigrafia viene definita in modo indipendente per ogni tratto. Detta variazione dipende anche dalla linea di fondo scavo del singolo tratto, che può avere andamento lineare.



Diagrammi delle spinte attive su 4 pali aventi altezza fuori terra ed interrate variabili



In presenza di falda la spinta viene calcolata con il peso di volume di galleggiamento ($\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$) a cui viene sommato il diagramma di spinta dell'acqua (idrostatico). Abbiamo già detto che la spinta e la resistenza vengono calcolate con il metodo di **Coulomb** (variante di **Muller-Breslau**):

$$K_a = \frac{\sin^2(\alpha+\phi)}{\sin^2\alpha \times \sin(\alpha-\delta) \times \left[1+\frac{\sqrt{\sin(\phi+\delta)\sin(\phi-\beta)}}{\sqrt{\sin(\alpha-\delta)\sin(\alpha+\beta)}}\right]^2}$$

dove ϕ è l'angolo d'attrito del terreno, α rappresenta l'angolo che la parete forma con l'orizzontale (α=*90°* per parete verticale), δ è l'angolo d'attrito terreno-parete, β è l'inclinazione del terrapieno rispetto all'orizzontale.

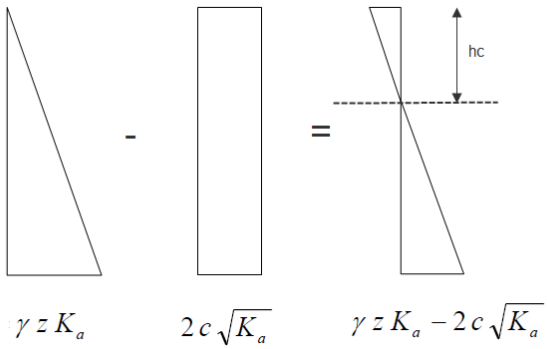
La spinta risulta inclinata dell'angolo d'attrito terreno/parete δ rispetto alla normale alla parete.
Nel caso di terreno dotato di coesione *c* l'espressione della pressione esercitata sulla parete, alla generica profondità **z**, diventa:

$$\sigma_a = \gamma\ zK_a - 2c\sqrt{K_a}$$

essendo γ il peso di volume del terreno. Al diagramma triangolare, espresso dal termine $\gamma z K_a$,si sottrae il diagramma rettangolare legato al termine con la coesione. La pressione σ_a risulta negativa per valori di **z** minori di:

$$h_c = \frac{2c}{\gamma \sqrt{K_a}}$$

La grandezza $\boldsymbol{h_c}$ è detta altezza critica e rappresenta la profondità di potenziale frattura del terreno. É chiaro che se l'altezza della parete è inferiore ad $\boldsymbol{h_c}$ non abbiamo nessuna spinta sulla parete.
Nel caso di terreno dotato di coesione il programma elimina (a vantaggio di sicurezza) la parte di diagramma con pressione negativa. Quindi viene eliminato il diagramma che si estende dalla sommità della parete fino alla profondità $z = h_c$.



Anche la spinta passiva (resistenza) viene determinata col metodo di **Coulomb** con la stessa ipotesi di base (equilibrio del cuneo supposto rigido).
L'espressione della resistenza passiva esercitata dal terrapieno contro una parete che tende a spostarsi contro il terrapieno stesso, risulta, secondo la teoria di **Coulomb**

$$S = \frac{1}{2}\gamma H^2 K_p$$

dove

- **γ**, rappresenta il peso di volume del terreno;
- **H**, rappresenta l'altezza della parete;
- $\mathbf{K_p}$, è il coefficiente di spinta passiva di **Coulomb** nella versione riveduta da **Muller-Breslau**, espresso come

$$K_p = \frac{\sin^2(\alpha - \varphi)}{\sin^2 \alpha \times \sin(\alpha + \delta)\left[1 - \frac{\sqrt{\sin(\varphi + \delta)\sin(\varphi + \beta)}}{\sqrt{\sin(\alpha + \delta)\sin(\alpha + \beta)}}\right]^2}$$

dove

- φ è l'angolo di attrito del terreno;
- α è l'angolo che la parete forma con l'orizzontale (**α=90°** per parete verticale);
- δ è l'angolo d'attrito terreno-parete;

– β è l'inclinazione del terrapieno rispetto all'orizzontale.

La spinta risulta inclinata dell'angolo d'attrito terreno-parete δ rispetto alla normale alla parete.
Il diagramma delle pressioni del terreno sulla parete risulta triangolare con il vertice in alto. Il punto di applicazione della spinta si trova in corrispondenza del baricentro del diagramma delle pressioni (H/3 rispetto alla base della parete).
Nel caso di terreno dotato di coesione **c** l'espressione della resistenza esercitata dalla parete, alla generica profondità **z**, diventa

$$\sigma_p = \gamma\, z\, K_p + 2\, c\sqrt{K_p}$$

Al diagramma triangolare espresso dal termine $\gamma\, z\, K_p$, si somma il diagramma rettangolare legato al termine con la coesione.

Particolare attenzione bisogna prestare al parametro di interazione δ (angolo di attrito palo-terreno).
E' noto che l'influenza del *δ* nel calcolo della spinta passiva col metodo di **Coulomb** (ipotesi di superficie di rottura piana) conduce ad errori considerevoli e non a vantaggio della sicurezza. Questo risultato si presenta soprattutto nel caso si assuma un valore di *δ > φ/2* (angolo di attrito del terreno). In **PAC 3D** è possibile agire su tale parametro dalla finestra "Opzioni di spinta " (Menu Analisi). Ad esempio si può escludere il *δ* nel calcolo della resistenza passiva e considerarlo solo nel calcolo della spinta attiva. Anche nel calcolo della spinta attiva il valore di *δ* deve comunque essere limitato (valori di *δ = φ/2* risultano in genere accettabili).

14.4 Spinta in presenza di sisma

Per tener conto dell'incremento di spinta dovuta al sisma si fa riferimento al metodo di **Mononobe-Okabe** (cui fa riferimento la Normativa Italiana).
La Normativa Italiana suggerisce di tener conto di un incremento di spinta dovuto al sisma nel modo seguente.
Detta ε l'inclinazione del terrapieno rispetto all'orizzontale e β l'inclinazione della parete rispetto alla verticale, si calcola la spinta *S'* considerando una inclinazione del terrapieno e della parete pari a:

$$\varepsilon' = \varepsilon + \theta$$

$$\beta' = \beta + \theta$$

dove θ = *arctg (Kh)* essendo *Kh* il *coefficiente di intensità sismica*

Ricordiamo che *Kh* viene calcolato in funzione dell'accelerazione sismica su suolo di tipo rigido fornita dalle Norme, dal tipo di sottosuolo su cui l'opera viene realizzata (fattore *Ss*), dalle condizioni topografiche (fattore *St*) dallo spostamento ammissibile dell'opera.

L'incremento di spinta sismica sarà dato da $\Delta S = S' - S$ dove *S* è la spinta calcolata staticamente.

Il diagramma dell'incremento sismico può avere forma rettangolare (*DS* applicato ad *H/2*) oppure può avere la stessa forma del diagramma di spinta statico (triangolare con vertice in alto).
Si può tener conto della spinta nella resistenza passiva in modo analogo, utilizzando per la pendenza del terrapieno e la pendenza della parete i valori ridotti

$$\varepsilon' = \varepsilon - \theta$$

$$\beta' = \beta - \theta$$

Una volta determinati di diagrammi di spinta per ogni palo è possibile impostare i valori di resistenza limite delle molle disposte lungo il fusto del palo. E' inoltre possibile ricavare i diagrammi di carico agenti sulla parte fuori terra "Metodo tradizionale". **PAC 3D** oltre a consentire l'analisi mediante questa metodologia consente di eseguire l'analisi con il *metodo* K_0 (Metodo della spinta a riposo iniziale). Adottando questa metodologia il programma calcola , oltre ai diagrammi suddetti (spinte attive e resistenze passive) il diagramma di spinta a riposo.

$$S_0^M = S_0^M(x,y,t)$$

$$S_0^V = S_0^V(x,y,t)$$

Nel metodo della spinta a riposo si assume che il terreno a monte ed a valle dell'opera sia soggetto ad un sistema di tensioni iniziali:

$$\sigma_{h0} = K_0\, \sigma_{v0}$$

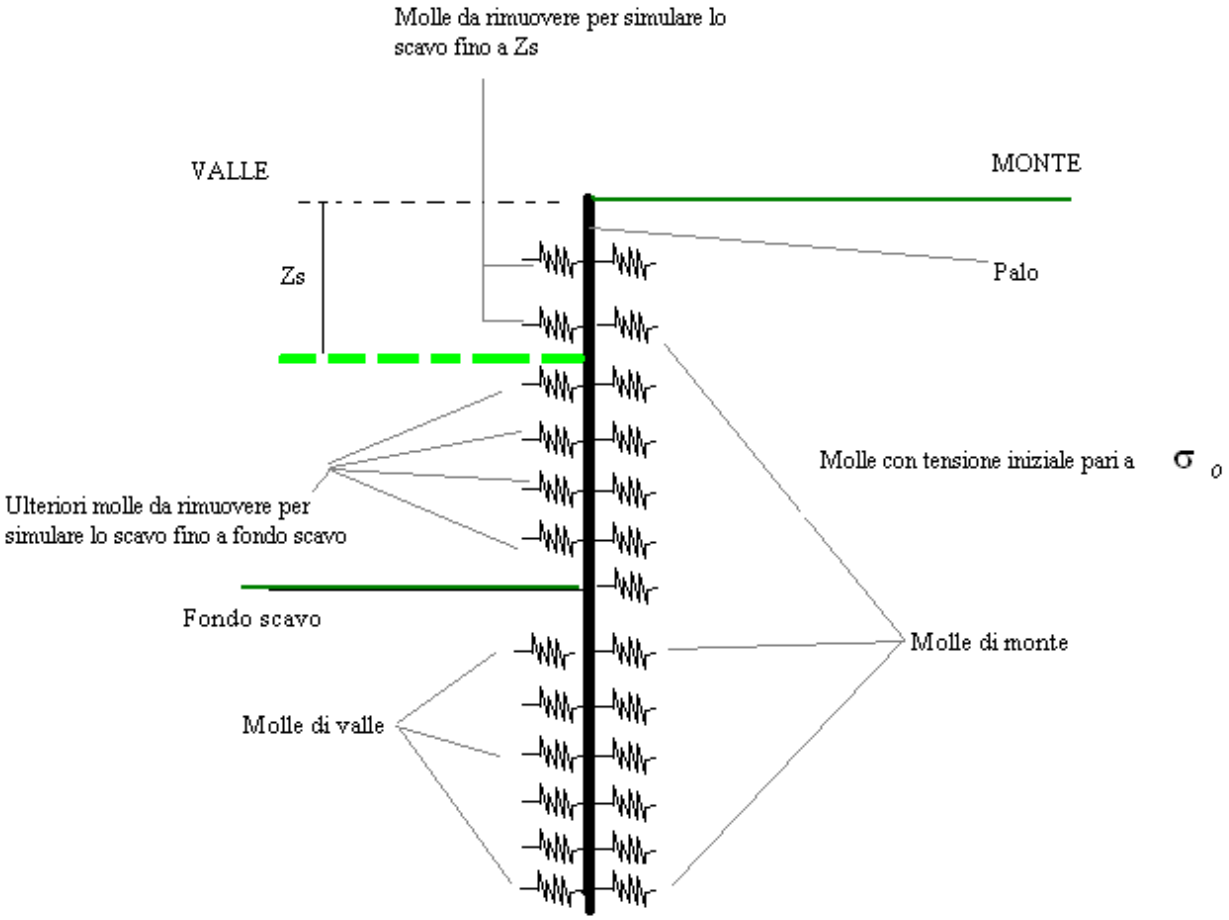
dove σ_{h0} è la pressione orizzontale agente in direzione orizzontale legata alla pressione in situ verticale $\sigma_{v0,}$ dal coefficiente di spinta a riposo $K_{0.}$ Il coefficiente di spinta a riposo per terreni normalmente consolidati si può esprimere come:

$$K_0 = 1 - sen\ \varphi$$

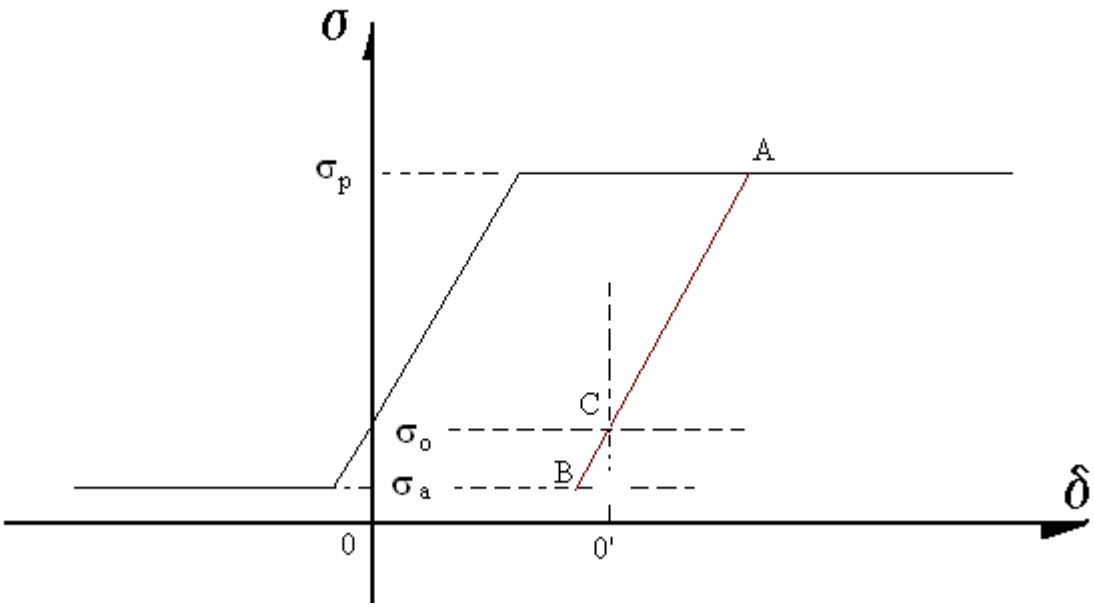
Mentre per terreni sovraconsolidati può essere espresso come:

$$K_0 = (1 - sen\ \varphi)^{OCR}$$

Dove *OCR* è il grado di sovraconsolidazione misurato su provino mediante prove di laboratorio (ad esempio edometriche). La rimozione delle molle a valle della paratia (scavo) produce uno squilibrio del sistema paratia-terreno che "innesca il processo di analisi.



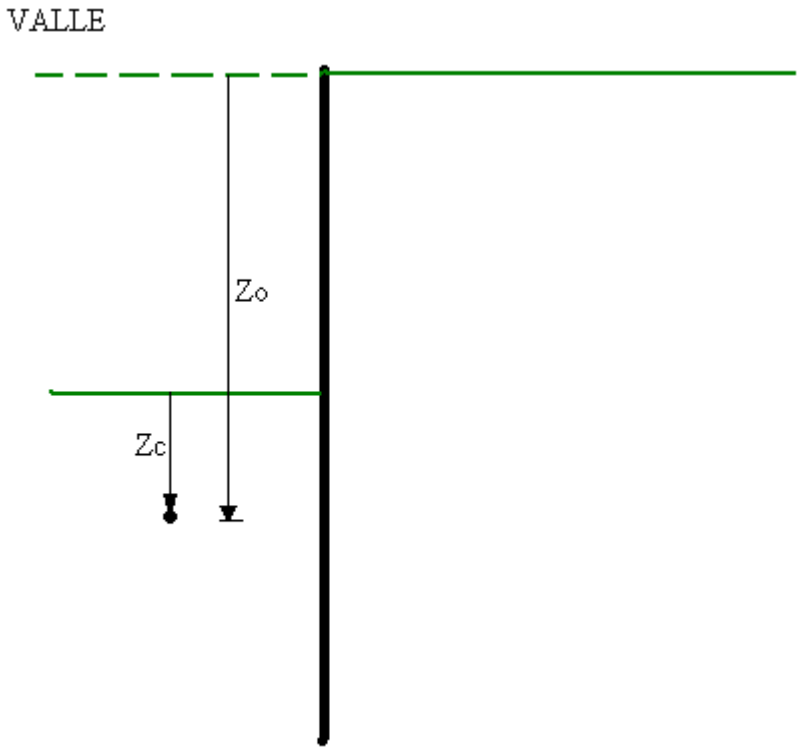
Tale squilibrio deve infatti essere riequilibrato mediante una ridistribuzione delle pressioni all'interno del terreno stesso. A seguito di tale operazione di scavo la paratia si sposterà verso valle provocando una decompressione nelle molle di monte al di sopra della linea di fondo scavo, ed un aumento di compressione nel terreno a valle dell'opera. E' chiaro dunque che il valore di decompressione e quella di compressione non possono essere illimitati ma possono al più raggiungere i valori della pressione attiva e della pressione passiva rispettivamente.



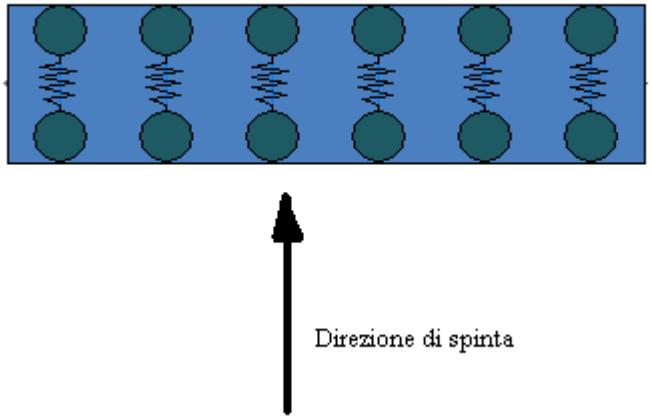
Il diagramma $\sigma - \delta$ riportato in figura illustra il comportamento della generica molla in funzione dello spostamento subito dalla paratia. Quando lo spostamento aumenta a partire dal valore $\delta = 0$ (paratia nella posizione iniziale) cui corrisponde la pressione σ_0 (pressione a riposo) la pressione nella molla aumenta seguendo il ramo inclinato della curva. Raggiunto il valore σ_P (pressione passiva) la pressione non può più crescere, ed all'aumentare dello spostamento il valore di pressione si mantiene costante e pari a σ_P (comportamento elastoplastico perfetto). Se in corrispondenza dello spostamento A la molla viene scaricata, verrà seguito il tratto (parallelo al tratto iniziale avendo supposto stesso modulo in fase di carico e scarico) A–B. Allo spostamento B corrisponde la pressione σ_a che rappresenta la pressione limite inferiore (pressione attiva).

Un ulteriore fase di carico seguirà il tratto B–A (in senso inverso al percorso seguito allo scarico). Viceversa un ulteriore decremento di spostamento costringerà il punto a muoversi lungo il tratto di ordinaria σ_a. Da notare che il punto corrispondente alla pressione σ_0 si sposterà lungo l'asse degli spostamenti in funzione della storia di carico e scarico seguita nel processo di carico – scarico.

In questo metodo di analisi della paratia si pone il problema di come calcolare la pressione a riposo nella zona a valle della paratia. Una prima soluzione è quella di considerare la pressione a riposo considerando la configurazione iniziale (quota *Zo* in figura). Un'altra soluzione prevede il calcolo della pressione a riposo a valle con riferimento alla configurazione attuale dello scavo (quota *Zc*).



La prima soluzione sembra essere più adatta per terreni sovraconsolidati nei quali la rimozione del terreno non altera in modo sostanziale lo stato tensionale iniziale, mentre la seconda è più valida per terreni normalmente consolidati. I due modelli presentati per il calcolo delle azioni agenti sulla paratia sono concettualmente diversi tra di loro. Nel primo modello la spinta è un carico che non dipende dagli spostamenti dell'opera. Sotto questo aspetto si ricalca da vicino il metodo dell'equilibrio limite utilizzato da sempre nel calcolo tradizionale delle paratie. Nel secondo modello,viceversa, le azioni sulla paratia dipendono dagli spostamenti dell'opera e questo sembrerebbe un modello più aderente alla realtà. Nel caso di una paratia a mensola i risultati osservati fra i due modelli non sono molto distanti tra di loro. Nel caso di paratie vincolate o tirantate le differenze sono maggiori ma, volendo usare il primo modello si può impostare come coefficiente di spinta attiva a monte dell'opera il valore K_0. In tal modo le differenze risultano minime. Oltre alle famiglie di molle fin qui considerate occorre considerare un'altra serie di molle che vengono inserite nel caso di paratia su 1 o più file di pali. Consideriamo la paratia a doppia fila di pali "allineati" come in figura:



In una situazione siffatta è evidente che il palo di monte e quello di valle non sono liberi di avvicinarsi in modo indefinito, a causa del terreno intercluso fra i pali stessi. Tale terreno viene messo in conto mediante l'introduzione di molle che collegano il palo di monte con quello di valle. Queste molle vengono inserite nella parte interrata dei pali, ma non nel tratto fuori terra. L'inserimento di queste molle viene deciso dall'Utente, nella tabella "*Opzioni Analisi Paratia*", mediante l'impostazione della distanza di interferenza fra i pali. Le molle di connessione fra i pali vengono disposte anche nel caso di configurazioni più complesse.

14.5 Influenza dei carichi applicati sul terreno.

PAC 3D consente di inserire carichi applicati sul profilo del terreno a monte ed a valle della paratia. L'effetto di tali carichi sulla paratia viene messo in conto mediante la **Teoria di Boussinesq**. Tale teoria restituisce le tensioni in qualsiasi punto di un semispazio elastico omogeneo, per effetto di un carico applicato sulla superficie del semispazio stesso.

Tale teoria pertanto poco si adatterebbe in un problema di spinta (l'ipotesi di semispazio elastico è assolutamente non realistica). D'altronde non esistendo altri strumenti utili allo scopo, utilizziamo questa teoria, peraltro largamente utilizzata in contesti sia di calcolo della spinta che di calcolo delle tensioni indotte nel sottosuolo da una struttura di fondazione.

Qualora l'Utente decidesse di utilizzare altre metodologie, può inserire direttamente dei carichi sulle aste del telaio.

Nella **Formula di Boussinesq** le tensioni indotte nel sottosuolo per effetto di un carico concentrato *P*, sono espresse dalle seguenti relazioni :

$$\sigma_{rr}=-\frac{P}{2\pi}\left[\frac{1\text{-}2\nu}{R(R+z)}-\frac{3r^2z}{R^5}\right]$$

$$\sigma_{\theta\theta}=-\frac{P(1\text{-}2\nu)}{2\pi}\left[\frac{z}{R^3}-\frac{1}{R(R+z)}\right]$$

$$\sigma_{zz}=\frac{P}{2\pi}\left[\frac{3z^3}{R^5}\right]$$

$$\sigma_{rz}=\frac{P}{2\pi}\left[\frac{3rz^2}{R^5}\right]=\sigma_{zr}$$

$$\sigma_{r\theta}=\sigma_{\theta r}=\sigma_{\theta z}=\sigma_{z\theta}=0$$

P: rappresenta il carico verticale applicato sulla superficie del piano campagna (coordinata 0,0,0)

Z: ordinata del punto in cui si desidera calcolare la tensione indotta dal carico

R: distanza (sul piano orizzontale) fra il punto di applicazione di *P* ed il punto di calcolo

R: è la distanza cartesiana fra il punto di applicazione di *P* ed il punto di calcolo

ν: è il **coefficiente di Poisson** del terreno

Nel caso di un carico distribuito su una linea oppure su un'impronta poligonale, è possibile integrare tali espressioni per ottenere l'influenza del carico nel punto del semispazio desiderato.

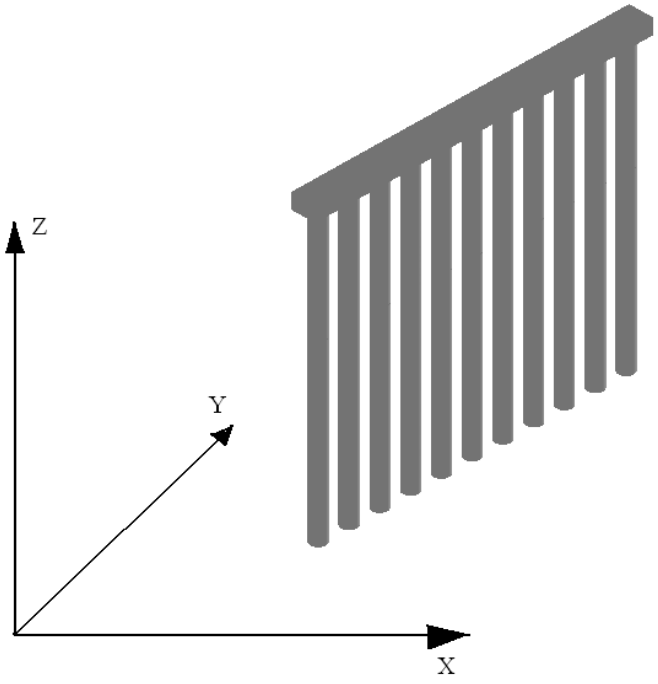
In letteratura sono riportate le espressioni in forma chiusa per casi di carico semplici. **PAC 3D** consente l'introduzione di carichi con andamento lineare su un poligono generico. Pertanto si preferisce integrare numericamente su tale area per determinare l'influenza del sovraccarico sui pali. Tale diagramma può essere visualizzato nella finestra grafica una volta eseguita l'analisi.

14.6 Modellazione strutturale della paratia.

Abbiamo visto nei capitoli precedenti come la paratia viene definita mediante una serie di macroelementi quali pali, cordoli di testata, cordoli intermedi, tiranti attivi, tiranti passivi, puntoni. Contestualmente **PAC 3D** traduce i macroelementi in un modello telaio tridimensionale. Descriveremo in questo capitolo il modello telaio generato da **PAC 3D**. Precisiamo che il modello telaio è un modello intermedio da cui verrà generato il modello ad elementi finiti (insieme al terreno) per l'analisi della struttura.

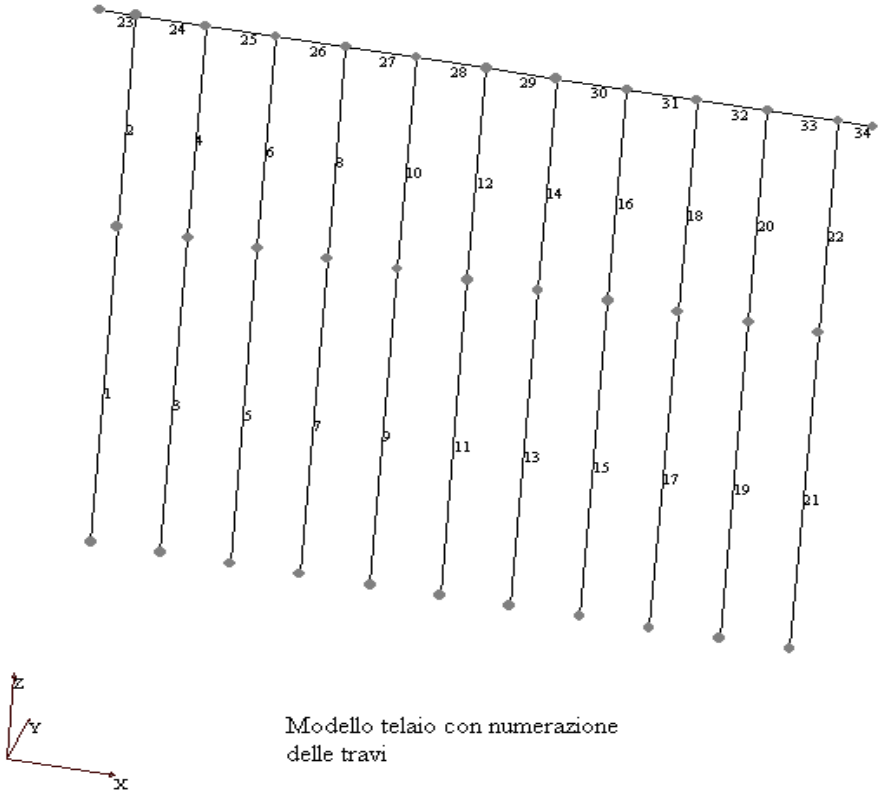
Sistema di riferimento

Il sistema di riferimento globale utilizzato è l'usuale terna *XYZ* con gli assi *X* ed *Y* che giacciono nel piano orizzontale e l'asse *Z* in direzione verticale, positivo verso l'alto.



L'oggetto trave

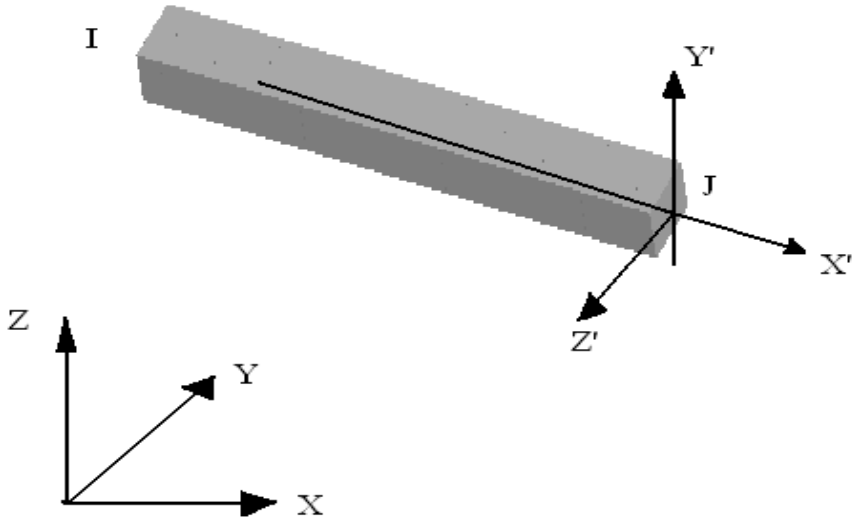
Tutti gli elementi del macromodello paratia vengono trasformati in oggetti trave. Tiranti e puntoni vengono trasformati in oggetti aste (elementi non resistenti a flessione ma solo a sforzo assiale).



Modello telaio con numerazione delle travi

Occorre definire il sistema di riferimento della trave (sistema locale). Il sistema locale della trave viene definito nel modo seguente:

- l'asse *x'* coincidente con l'asse longitudinale della trave dal nodo iniziale I al nodo finale *J*
- l'asse *y'* è contenuto nel piano verticale che contiene l'asse *x'*
- l'asse *z'* risulta ortogonale agli assi *x'* ed *y'* in modo da formare una terna levogira.



Nel caso in cui la trave risulta verticale questo modo di procedere non è più applicabile (i piani verticali contenenti l'asse *X'* sono infiniti) e pertanto occorre specificare in modo diverso la terna locale.

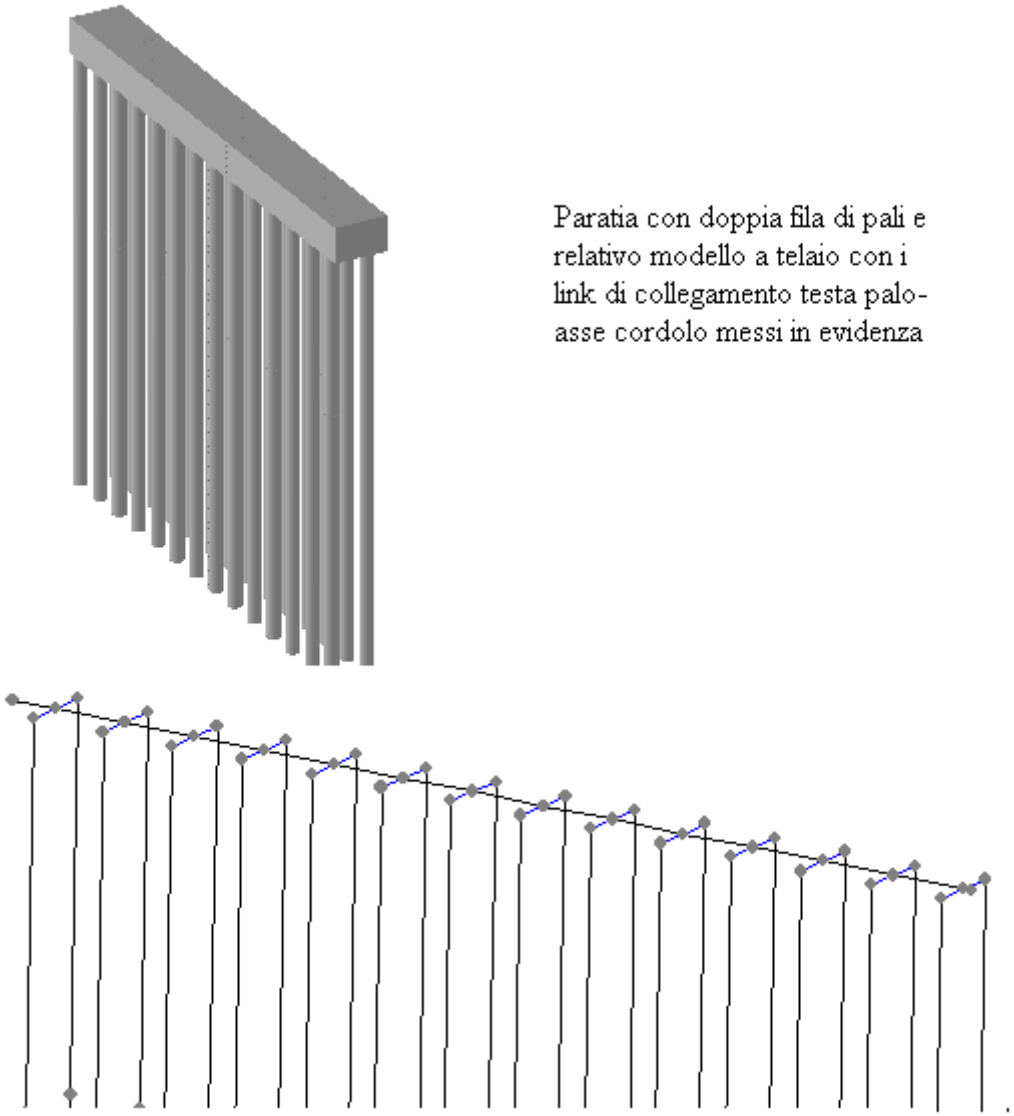
Se si tratta di un palo si assume:

- l'asse *x'* coincidente con l'asse longitudinale della trave dal nodo iniziale al nodo finale *J*
- l'asse *y'* è ortogonale al tratto di paratia cui il palo è inserito (positivo verso valle)
- l'asse *z'* risulta ortogonale agli assi *x'* ed *y'* in modo da formare una terna levogira.

Nel caso di una generica trave non afferente ad un tratto specifico di paratia:

- l'asse *x'* coincidente con l'asse longitudinale della trave dal nodo iniziale al nodo finale *J*
- l'asse *y'* si assume in direzione *Y* globale con segno positivo o negativo in dipendenza del verso di *x'*
- L'asse *z'* risulta ortogonale agli assi *x'* ed *y'* in modo da formare una terna levogira.

In **PAC 3D** le travi sono prismatiche o cilindriche a sezione costante. La sezione trasversale può avere forma qualsiasi, sia per i pali che per i cordoli. Elementi particolari inseriti automaticamente dal programma nel telaio sono i link., che sono elementi trave rigidi che servono a collegare pali fuori asse rispetto all'asse del cordolo.

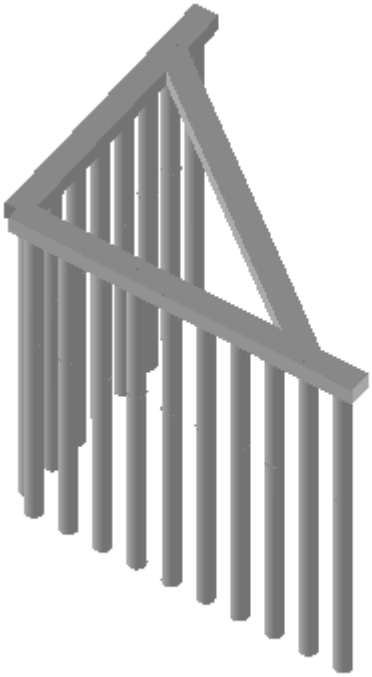


Paratia con doppia fila di pali e relativo modello a telaio con i link di collegamento testa palo-asse cordolo messi in evidenza

Le aste che simulano i tiranti sono aste reagenti a trazione ma non a compressione. Le aste che simulano i puntoni reagiscono a compressione e a trazione. L'Utente può intervenire liberamente sul modello telaio modificando aste, cambiando caratteristiche della sezione, i materiali e le condizioni di vincolo. E' possibile, inoltre, eliminare travi o inserirne di nuove, anche al di fuori della struttura paratia. Altro aspetto fondamentale è che nel telaio possono essere inseriti carichi concentrati (sui nodi e sulle travi), carichi distribuiti e carichi termici sulle travi. Inoltre è possibile intervenire sul telaio fase per fase, inserendo o eliminando elementi strutturali e vincoli.

I vincoli possono essere inseriti solo in corrispondenza dei nodi del telaio.

I carichi concentrati possono essere inseriti o in corrispondenza di un nodo oppure lungo l'asse di una trave. Il programma provvederà in modo automatico all'inserimento di un opportuno nodo di calcolo nel modello FEM.



Paratia con trave di contratto fra due tratti

14.7 PAC 3D. Il Modello ad Elementi Finiti

MESH

Definito l'input della struttura, del terreno e dei carichi, **PAC 3D** genera, a partire dal telaio e dalla stratigrafia il modello ad elementi finiti.
Vedremo in questo capitolo i dettagli implementati in PAC 3D.
Nella generazione del modello, **PAC 3D** provvede a suddividere le travi del telaio in un certo numero di elementi trave inserendo i nodi. Il numero di elementi da utilizzare può essere impostato dall'Utente quando si avvia la procedura di generazione. Si può impostare il numero di punti per ogni trave oppure la lunghezza desiderata del singolo elemento. Il secondo modo è più obbiettivo in quanto, a prescindere dalla lunghezza della singola trave, tende a generare elementi di uguale lunghezza. Dal punto di vista del calcolo, tale situazione è auspicabile in quanto tende a diminuire gli errori di arrotondamento (round-off) a livello di assemblaggio, e soluzione del sistema di equazioni risolventi.
Il generatore di modello provvede a creare gli elementi trave distinguendo se si tratta di travi afferenti ad un palo o di travi non afferenti ai pali. La differenza è sostanziale perché la suddivisione delle travi-palo viene automaticamente infittita; questo per poter analizzare in modo accurato il fenomeno di interazione palo-terreno.
Ad esempio inserendo una lunghezza di un elemento desiderato pari ad 1 m (valore di defoult) lungo il fusto del palo verranno inseriti elementi di lunghezza pari a 20 cm. Viceversa i cordoli e le travi non facenti parte della struttura paratia verranno suddivise in elementi di lunghezza pari a 1 m (circa).

La necessità di discretizzazione così fitta dipende dal fatto che la deformata dell'elemento trave (**Bernoulli**) è una funzione di tipo cubico, mentre la deformazione di una trave su molle alla Winkler dovrebbe essere una funzione esponenziale e trigonometrica. Se pertanto adottassimo pochi elementi di lunghezza maggiore, non si riuscirebbe a cogliere la deformata (e quindi lo stato di sollecitazione) in modo corretto.
Viceversa adottando tanti elementi di lunghezza minore, tale soluzione viene colta in modo abbastanza accurato.

Descriveremo nei paragrafi seguenti i vari elementi del modello ad elementi finiti.

14.8 L'elemento molla.

La matrice di rigidezza della terna di molle afferenti nel nodo i-esimo del modello si esprime, nel riferimento locale della molla, come

$$\overline{K}_M = \begin{bmatrix} kx & 0 & 0 \\ 0 & ky & 0 \\ 0 & 0 & kz \end{bmatrix}$$

Dove *kx, ky, kz* rappresentano le rigidezze nelle tre direzioni considerate espresse in Kg/cm.

Tale matrice va riportata nel sistema di riferimento globale XYZ mediante opportuna matrice di rotazione che trasforma gli spostamenti e le forze dal sistema locale al sistema globale.

La matrice di rotazione Λ si ottiene come prodotto scalare dei versori del sistema locale con quelli del sistema globale. Indicando con e_1', e_2', e_3' i versori del sistema locale (espressi nel riferimento globale) e con e_1, e_2, e_3 i versori del sistema globale la matrice Λ assume la seguente espressione:

$$\Lambda = \begin{bmatrix} e_1' e_1 & e_1' e_2 & e_1' e_3 \\ e_2' e_1 & e_2' e_2 & e_2' e_3 \\ e_3' e_1 & e_3' e_2 & e_3' e_3 \end{bmatrix}$$

La matrice dell'elemento molla nel sistema di riferimento globale sarà data da

$$K_M = \Lambda^T \overline{K}_M \Lambda$$

dove il simbolo ^{T} indica l'operatore trasposta della matrice.

Ottenuta la matrice K_M essa viene 'assemblata' nella matrice globale del sistema, K_G, in corrispondenza dei gradi di liberta traslazionali del nodo su cui la molla è inserita. (ricordiamo che in ogni nodo abbiamo 6 gradi di libertà : 3 traslazioni lungo gli assi coordinati e 3 rotazioni intorno agli assi stessi).

14.9 Molle di connessione fra i pali

Abbiamo detto nei paragrafi precedenti che **PAC 3D**, nel caso di paratia con doppia fila di pali, inserisce delle molle di connessione fra i pali corrispondenti una volta che sono rispettate determinate condizioni sulla distanza fra i pali e sulla 'copertura' reciproca fra i pali stessi.
Queste molle di connessione, contrariamente alle molle descritte al paragrafo precedente, fanno lavoro sugli spostamenti relativi dei nodi cui esse sono connesse. La matrice di rigidezza avrà pertanto un'espressione diversa rispetto al caso precedente.

Indicando con *kc* la rigidezza della molla di connessione la matrice di rigidezza nel sistema locale della molla sarà data da

$$\overline{K}_M^C = \begin{bmatrix} kc & 0 & 0 & -kc & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -kc & 0 & 0 & kc & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

La matrice di trasformazione dal sistema locale a quello globale si esprime come

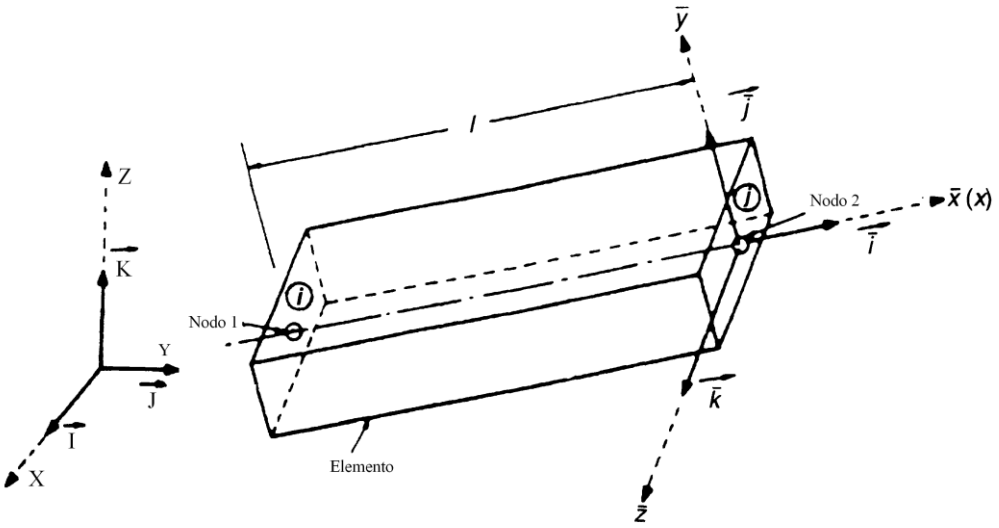
$$T = \begin{bmatrix} \Lambda & \underline{0} \\ \underline{0} & \Lambda \end{bmatrix}$$

dove Λ è la matrice definita nel paragrafo precedente (dimensione 3x3) e $\underline{0}$ rappresenta la matrice nulla di dimensione 3x3.
La matrice nel sistema globale sarà espressa dalla seguente relazione

$$K_M^C = T^T \overline{K}_M^C T$$

Essa verrà assemblata nella matrice globale $\boldsymbol{K_G}$ in corrispondenza dei gradi di liberta traslazionali dei nodi *i* e *j* su cui la molla è connessa.

14.10 L'elemento trave



Il solutore di **PAC 3D** implementa l'elemento trave spaziale a 2 nodi con 12 gradi di libertà complessivi. Per ogni nodo abbiamo infatti abbiamo 6 componenti di spostamenti :

traslazioni *u, v, w* secondo le direzioni degli assi *X, Y, Z*

rotazioni θx, θy, θz intorno agli assi *X Y Z*.

Gli spostamenti trasversali dell'asse longitudinale della trave sono pertanto rappresentati da *v* e *w*.

Le caratteristiche di deformazione dell'elemento sono:

- deformazione assiale (asse locale x) ε_x
- curvatura intorno all'asse locale y(flessionale) X_y
- curvatura intorno all'asse locale z(flessionale) X_z
- curvatura intorno all'asse locale x(torsionale) X_x

Le seguenti equazioni legano le deformazioni agli spostamenti:

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} \qquad X_x = \frac{\partial \theta_x}{\partial x} \qquad X_y = \frac{\partial \theta_y}{\partial x} \qquad X_z = \frac{\partial \theta_z}{\partial x} \qquad [A]$$

In **PAC 3D** è possibile utilizzare sia l'elemento trave di **Bernoulli-Eulero** (senza deformabilità tagliante) che l'elemento trave di **Timoshenko** (con deformabilità tagliante).

In entrambe le teorie la sezione trasversale della trave rimane piana a deformazione avvenuta; ma mentre nella trave di **Bernoulli** essa rimane ortogonale all'asse della trave anche a deformazione avvenuta, nella trave di **Timoshenko** tale ortogonalità si perde a causa dello scorrimento angolare legato al taglio.

Come è noto nella trave di **Bernoulli** le rotazioni θ non sono variabili indipendenti ma sono ricavate come derivata dello spostamento trasversale *w*

$$\theta_y = -\frac{\partial w}{\partial x} \qquad \theta_z = \frac{\partial v}{\partial x} \qquad \text{[B]}$$

dove *x* è l'ascissa lungo l'asse della trave. Nella trave di **Timoshenko** invece le rotazioni sono variabili indipendenti ma legate allo spostamento trasversale mediante la seguente relazione

$$\frac{\partial w}{\partial x} + \theta_y = \gamma_z \qquad \frac{\partial v}{\partial x} - \theta_z = \gamma_y \qquad \text{[C]}$$

dove γ_y e γ_z rappresentano lo scorrimento angolare (deformabilità tagliante) nelle direzioni *y* e *z* locale.

Le relazioni [C] degenerano nelle relazioni [B] quando le deformabilità taglianti sono trascurabili ($\gamma y = \gamma z \approx 0$) il che accade per travi snelle (rapporto luce/altezza sezione > 5).

Per la trave di **Bernoulli** quindi dalle A e dalle B, si ricava l'espressione delle curvature in funzione degli spostamenti trasversali della linea d'asse:

$$\mathrm{X}_y = -\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \qquad \mathrm{X}_z = \frac{\partial^2 v}{\partial x^2}$$

Le relazioni sforzo-deformazioni sono invece le seguenti:

Sforzo assiale	$N = EA\varepsilon_x$
Momento torcente	$M_t = GJ_tX_x$
Momento flettente intorno asse y	$M_y = EI_yX_y$
Momento flettente intorno asse z	$M_z = EI_zX_z$

Dove i simboli assumono i seguenti significati

E: modulo elastico del materiale costituente la trave (**modulo di Young**)
G: modulo elastico tangenziale del materiale costituente la trave $G=E/2(1+\nu)$
Iy ed *Iz*: momenti d'inerzia della sezione trasversale della trave *intorno* agli assi *x* ed *y* locali,
A: area della sezione trasversale
Jt: è il momento d'inerzia polare della sezione trasversale

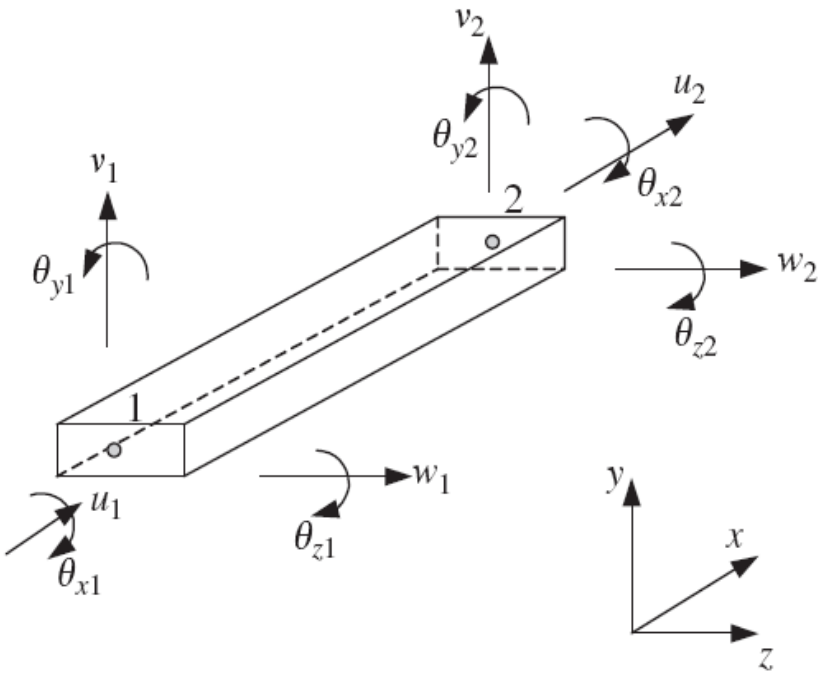
Per la trave di **Timoshenko** valgono le seguenti relazioni per i tagli *Ty* e *Tz*

$$T_y = GA\ \gamma_y/k_y$$

$$T_z = GA\ \gamma_z/k_z$$

dove k_y e k_z sono I fattori di taglio della sezione (5/6 per la sezione rettangolare).
Nella trave di **Bernoulli** i tagli si ricavano dai momenti associati mediante equazioni di equilibrio.

14.11 Matrice di rigidezza - Trave di Bernoulli



Gradi di libertà dell'elemento trave (sistema locale)

Per la trave di **Bernoulli** si assumono funzioni di interpolazioni cubiche per gli spostamenti (interpolazione di **Hermite**) trasversali *v, w*.

Indichiamo con u_1, v_1, w_1, θ_{1x}, θ_{1y}, θ_{1z} gli spostamenti nodali in corrispondenza del primo nodo della trave (sistema locale) e con u_2, v_2, w_2, θ_{2x}, θ_{2y}, θ_{2z} gli spostamenti in corrispondenza del secondo nodo della trave.

Assumendo un sistema di coordinate isoparametrico con origine nel punto medio dell'elemento trave (L_e lunghezza elemento, x_2 ed x_1 ascisse locali dei nodi estremi)

$$\xi = (x_2-x_1)/L_e/2 \qquad -1 \leq \xi \leq 1$$

Le funzioni di forma dello spostamento w possono essere scritte come:

$$N_{w1} = \frac{1}{4}(2 - 3\xi + \xi^3)$$
$$N_{w2} = \frac{1}{4}(2 + 3\xi - \xi^3)$$
$$N_{\theta 1} = \frac{L_e}{8}(1 - \xi - \xi^2 + \xi^3)$$
$$N_{\theta 2} = \frac{L_e}{8}(-1 - \xi + \xi^2 + \xi^3)$$

Dove N_w sono le funzioni di forma relativi agli spostamenti nodali e N_θ sono le funzioni di forma relative alle rotazioni nodali.

Lo spostamento trasversale *w* alla generica ascissa ξ sarà pertanto espresso da:

$$w(\xi) = N_{w1}w1+N_{w2}w2+N_{\theta 1}\theta_{y1}+N_{\theta 2}\theta_{y2}$$

Espressione analoga abbiamo per lo spostamento trasversale *v* (a meno di alcuni segni sulle funzioni N_θ)

$$v(\xi) = N_{v1}v1+N_{v2}v2+N_{\theta 1}\theta_{z1}+N_{\theta 2}\theta_{z2}$$

Le rotazioni alla generica ascissa ξ si ricavano per derivazione della funzioni $v(\xi)$ e $w(\xi)$, e da queste per ulteriore derivazioni si ricavano le curvature. Pertanto le rotazioni risultano funzioni

quadratiche di ξ e le curvature funzioni lineari di ξ.

Gli spostamenti assiali e la rotazione intorno all'asse *x* sono interpolati in funzione dei valori nodali, mediante funzioni lineari della variabile ξ.

$$u(\xi)=1/2(1-\xi)\ u_1+1/2(1+\xi)\ u_2$$

$$\theta_x(\xi)=1/2(1-\xi)\ \theta_{x1}+1/2(1+\xi)\ \theta_{x2}$$

Note le funzioni di interpolazioni degli spostamenti si ricavano per derivazione le relazioni che legano le deformazioni agli spostamenti nodali (matrice **B**). Definita la matrice elastica della sezione :

$$D=\begin{bmatrix} EA & 0 & 0 \\ 0 & EIy & 0 \\ 0 & 0 & EIz \end{bmatrix}$$

La matrice di rigidezza si ottiene dalla seguente integrazione:

$$K_E=\int_V B^T DBdV$$

Dove *V* rappresenta il volume dell'elemento ($V=A*L_e$)

La matrice di rigidezza dell'elemento di **Bernoulli** viene riportata di seguito:

$$
\begin{bmatrix}
\frac{EA}{l} & & & & & & & & & & & \\
0 & \frac{12EI_z}{l^3} & & & \text{Simmetrica} & & & & & & & \\
0 & 0 & \frac{12EI_y}{l^3} & & & & & & & & & \\
0 & 0 & 0 & \frac{GJ}{l} & & & & & & & & \\
0 & 0 & \frac{-6EI_y}{l^2} & 0 & \frac{4EI_y}{l} & & & & & & & \\
0 & \frac{6EI_z}{l^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_{zz}}{l} & & & & & & \\
-\frac{EA}{l} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{EA}{l} & & & & & \\
0 & \frac{-12EI_z}{l^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{-6EI_z}{l^2} & 0 & \frac{12EI_z}{l^3} & & & & \\
0 & 0 & \frac{-12EI_y}{l^3} & 0 & \frac{6EI_y}{l^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{12EI_y}{l^3} & & & \\
0 & 0 & 0 & \frac{-GJ}{l} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{GJ}{l} & & \\
0 & 0 & \frac{-6EI_y}{l^2} & 0 & \frac{2EI_y}{l} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_y}{l^2} & 0 & \frac{4EI_y}{l} & \\
0 & \frac{6EI_z}{l^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{2EI_z}{l} & 0 & \frac{-6EI_z}{l^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_z}{l}
\end{bmatrix}
$$

Riportiamo per comodità gli spostamenti nodali dell'elemento correlati alla matrice *Ke*

$u_1,\ v_1,\ w_1,\ \theta_{x1},\ \theta_{y1},\ \theta_{z1} \qquad u_2,\ v_2,\ w_2,\ \theta_{x2},\ \theta_{y2},\ \theta_{z2}$

Il corrispondente vettore dei carichi nodali, equivalenti ad un carico uniformemente distribuito *q*, viene costruito mediante la seguente integrazione

$$p_e = \int_{Le} Nqdx$$

Avendo indicato con *N* il vettore contenente le funzioni di forma degli spostamenti dell'elemento.
Una volta determinati la matrice di rigidezza ed il vettore dei carichi nodali del singolo elemento, questi vanno assemblati nella matrice globale K_G e nel vettore dei carichi nodali globali *p*. Pertanto sia la matrice K_e che il vettore p_e devono essere riportati nel sistema di riferimento globale.
La matrice di rotazione *T* (12x12) è definita dalla seguente espressione

$$T = \begin{bmatrix} \Lambda & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \Lambda & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \Lambda & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \Lambda \end{bmatrix}$$

Essendo Λ la matrice ottenuta dal prodotto dei coseni direttori degli assi locali e globali

$$\Lambda = \begin{bmatrix} e_1^{'}e_1 & e_1^{'}e_2 & e_1^{'}e_3 \\ e_2^{'}e_1 & e_2^{'}e_2 & e_2^{'}e_3 \\ e_3^{'}e_1 & e_3^{'}e_2 & e_3^{'}e_3 \end{bmatrix}$$

ed i termini *0* della matrice *T* rappresentano sottomatrici nulle di ordine 3x3.
Pertanto la matrice di rigidezza ed il vettore dei carichi nel sistema globale saranno espressi come

$$K_E = T^T K_e T$$
$$p_E = T^T p_e$$

Mediante il processo di assemblaggio esteso a tutti gli elementi del modello si ricavano dunque la matrice di rigidezza globale del sistema K_G ed il vettore dei carichi nodali *p*.

La risoluzione del sistema dove *u* è il vettore di tutti gli spostamenti nodali:

$$K_G u = p$$

Verrà discussa nei paragrafi seguenti.

14.12 L'elemento trave di Timoshenko

Descriveremo adesso l'elemento trave di **Timoshenko** con deformabilità tagliante.
Abbiamo già detto precedentemente che in questo elemento le rotazioni sono interpolate indipendentemente dagli spostamenti (non sono ottenute come per derivazione del campo di spostamenti). Occorre pertanto definire delle funzioni di forma sia per gli spostamenti che per le rotazioni.

La modellazione adottata in **PAC 3D** assume delle funzioni di forma cubica per gli spostamenti e quadratiche per le rotazioni.

Per le rotazioni si assume:

$$\theta_y = \frac{1}{2}(\xi^2 - \xi)\theta_{y1} + \frac{1}{2}(\xi^2 + \xi)\theta_{y2} + (1-\xi^2)\theta_{y3}$$

La rotazione θ_{y3} è la rotazione in corrispondenza del punto medio dell'elemento.

Si assume per *w* la seguente espressione

$$w(\xi) = \frac{1}{2}(1-\xi)w_1 + \frac{1}{2}(1+\xi)w_2 - L_e(1-\xi^2)\left[\left(\frac{1}{8} - \frac{1}{12}\xi\right)\theta_{y1} - \left(\frac{1}{8} + \frac{1}{12}\xi\right)\theta_{y2} + \frac{1}{6}\xi\theta_{y3}\right]$$

Come si vede da questa espressione lo spostamento trasversale w non dipende solo dagli spostamenti nodali *w* ma anche dalle rotazioni nodali θ. Questa tecnica ampiamente utilizzata nello sviluppo di elementi piastra è nota in letteratura come *linked interpolation*.
Pertanto la cinematica dell'elemento è caratterizzata oltre che dagli spostamenti dei nodi di estremità anche dalla rotazioni interne (in pratica è stato aggiunto un nodo al centro dell'elemento di cui si considera solo la rotazione).
Conviene però esprimere questo grado di libertà aggiuntivo in forma gerarchica (incremento rispetto alla rotazione media):

$$\theta_{y3} = \Delta\theta_{y3} + \frac{1}{2}(\theta_{y1} + \theta_{y2})$$

Sostituendo nell'espressione di $\theta(\xi)$ e $w(\xi)$ otteniamo le espressioni:

$$\theta_y(\xi) = \frac{1}{2}(1-\xi)\theta_{y1} + \frac{1}{2}(1+\xi)\theta_{y2} + (1-\xi^2)\Delta\theta_{y3}$$

$$w(\xi) = \frac{1}{2}(1-\xi)w_1 + \frac{1}{2}(1+\xi)w_2 - L_e(1-\xi^2)\left[\frac{1}{8}\left(\theta_{y1} - \theta_{y2}\right) + \frac{1}{6}\xi\Delta\theta_{y3}\right]$$

Le espressioni che riguardano lo spostamento $v(\xi)$ e le rotazioni $\theta_z(\xi)$ si ricavano in modo analogo ottenendo:

$$\theta_z(\xi) = \frac{1}{2}(1-\xi)\theta_{z1} + \frac{1}{2}(1+\xi)\theta_{z2} + (1-\xi^2)\Delta\theta_{z3}$$

$$v(\xi) = \frac{1}{2}(1-\xi)v_1 + \frac{1}{2}(1+\xi)v_2 + L_e(1-\xi^2)\left[\frac{1}{8}\left(\theta_{z1} - \theta_{z2}\right) + \frac{1}{6}\xi\Delta\theta_{z3}\right]$$

Da queste espressioni si ricavano le deformazioni (curvature e scorrimenti) in funzione dei parametri nodali dell'elemento

$$\chi_y = \frac{\partial\theta_y}{\partial x} = \left[\frac{-1}{2}\theta_{y1} + \frac{1}{2}\theta_{y2} - 2\xi\Delta\theta_{y3}\right] \times \frac{2}{L}$$

$$\chi_z = \frac{\partial\theta_z}{\partial x} = \left[\frac{-1}{2}\theta_{z1} + \frac{1}{2}\theta_{z2} - 2\xi\Delta\theta_{z3}\right] \times \frac{2}{L}$$

$$\gamma_y = \frac{\partial v}{\partial x} - \theta_z = \frac{v_2 - v_1}{L} - \frac{1}{2}(\theta_{z1} + \theta_{z2}) - \frac{2}{3}\Delta\theta_{z3}$$

$$\gamma_z = \frac{\partial w}{\partial x} - \theta_y = \frac{w_2 - w_1}{L} + \frac{1}{2}(\theta_{y1} + \theta_{y2}) + \frac{2}{3}\Delta\theta_{y3}$$

Dalle precedenti espressioni è immediato ricavare la matrice di deformazione B ed ottenere la matrice di rigidezza

$$K_E = \int_V B^T DBdV$$

Dove *V* rappresenta il volume dell'elemento ($V=A*L_e$)

L'integrale può essere svolto numericamente (mediante integrazione alla Gauss) o analiticamente.

La matrice di rigidezza così ottenuta ha dimensioni (14x14) in quanto oltre ai gradi di libertà dei nodi estremi dell'elemento sono stati introdotti i gradi di libertà $\Delta\theta_{y3}$, $\Delta\theta_{z3}$ nel punto medio dell'elemento. Essendo queste variabili interne all'elemento stesso possono essere eliminate mediante condensazione statiche, per ottenere la matrice di rigidezza di dimensioni 12x12 che coinvolge solo i gradi di libertà esterni dell'elemento.

L'elemento così formulato si comporta in modo corretto sia per travi tozze che per travi snelle ed è esente quindi dal problema del *locking*, che è invece presente in altri tipi di formulazioni. Con tale matrice è possibile simulare sia la trave di **Timoshenko** (attivando la deformabilità tagliante) che la trave di **Bernoulli** disattivando il contributo della deformabilità tagliante.

14.13 Soluzione

Premessa

Lo studio del comportamento dell'insieme paratia-terreno, viene condotto mediante metodi di calcolo non lineari data la marcata legge non lineare della curva tensioni-deformazioni dei materiali utilizzati nella modellazione del problema. Infatti il terreno anche per bassi livelli tensionali subisce deformazioni plastiche irreversibili.

In **PAC 3D**, il comportamento del terreno è sempre di tipo non lineare (elasto-plastico perfetto). Viceversa per il materiale costituente la paratia l'Utente può scegliere fra comportamento lineare oppure non lineare. Vedremo in seguito la differenza fra questi due modi di procedere.

Le sorgenti di non linearità nell'analisi di una paratia sono diverse: oltre alla non linearità del terreno, si può mettere in conto la non linearità del materiale costituente la struttura. L'inserimento o la rimozione di elementi strutturali e vincoli introducono ulteriori non linearità. Pertanto la necessità dell'analisi non lineare risulta evidente.

Di seguito verranno descritti i metodi risolutivi implementati per la risoluzione del sistema di equazioni generato dalla modellazione effettuata:

Soluzione nel caso di analisi condotta con ipotesi di comportamento lineare dei materiali (struttura e terreno:

- Metodo di **Newton-Raphson** (NR) – analisi condotta in ambito non lineare
- Metodo di **Newton-Raphson Modificato** (NRM) – analisi condotta in ambito non lineare
- **Arc Lenght Method** (ALM) – metodo dell'arco di curva utilizzato in ambito di analisi non lineare.

14.13.1 Analisi condotta con ipotesi di comportamento elastico dei materiali

La modellazione del problema in ambito lineare, ovvero sotto l'ipotesi di comportamento lineare indefinitamente elastico dei materiali, porta alla generazione di un sistema di equazioni lineari del tipo:

$$K \cdot u = p$$

dove *K* rappresenta la matrice di rigidezza, *u* è il vettore degli spostamenti incogniti e *p* è il vettore dei carichi.

La soluzione del sistema è la seguente:

$$u = K^{-1} \cdot p$$

Noto il vettore degli spostamenti *u*, è possibile determinare le sollecitazioni sia negli elementi strutturali che nel terreno.

14.13.2 Metodo di Newton-Raphson (NR)

La modellazione effettuata considerando la legge lineare tensioni-deformazioni dei materiali, soprattutto per il terreno, fornisce risultati che non colgono il reale comportamento dell'insieme terreno-paratia.

In **PAC 3D** è stata data una notevole importanza allo sviluppo di algoritmi di risoluzione di sistemi non lineari, cercando di ottenere la massima efficienza, legata ad una notevole velocità di calcolo.

L'ipotesi di comportamento non lineare dei materiali genera un sistema di equazioni non lineari che viene risolto mediante una tecnica incrementale-iterativa. Il sistema di equazioni generato è il seguente:

$$K(u) \cdot u = p$$

Il sistema presenta la matrice *K* funzione dello stato tensionale e di conseguenza del vettore degli spostamenti. La stato tensionale è funzione della storia di carico, per cui è necessario effettuare l'analisi procedendo per incrementi di carico. Il carico *p* viene applicato attraverso un moltiplicatore λ che aumenta ad ogni incremento di un valore pari a $\Delta\lambda$. Tale valore può essere impostato dalla finestra di *Opzioni Analisi* presente in **PAC 3D**.

L'analisi incrementale condotta porta alla determinazione di una successione sufficientemente fitta di punti di equilibrio $\{u_k, p_k\}$ che permette una ricostruzione con buona approssimazione della curva di interpolazione.

Assegnato un processo di carico $p[\lambda]$ i punti di equilibrio possono essere rappresentati dalla successione $\{u_k, \lambda_k\}$.

Il problema può così essere rappresentato:

- note le condizioni di inizio passo e fissato lo spostamento di fine passo, si determina il vettore *S[u]* delle forze nodali interne, tale vettore è comunemente chiamo risposta
- assegnato il vettore *P* di fine passo determinare u in modo da soddisfare le condizioni di

equilibrio $S[u] = P$

Il metodo di **Newton-Raphson**, detto metodo delle tangenti, dovuto ad **Isaac Newton** e **Joseph Raphson** può essere cosi schematizzato:

$$r_j = p - s[u]$$

$$u_{j+1} = u_j + K^{-1} \cdot r_j$$

dove r_j rappresenta il residuo o squilibrio fra i carichi applicati e la risposta del complesso terreno-paratia.

Il vettore *S* delle forze interne dipende dallo stato tensionale agente e quindi dagli spostamenti. Raggiunta la convergenza a fine passo verrà aggiornato lo stato tensionale:

$$\sigma_{k+1} = \sigma_k + \Delta\sigma,$$

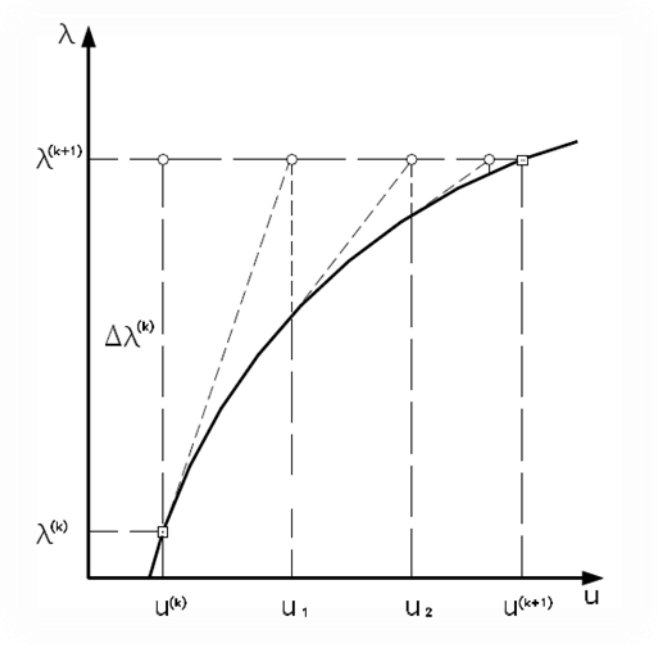
che rappresenterà lo stato di partenza per il passo di carico successivo ($\Delta\sigma$ rappresenta l'incremento di tensione dovuto al passo di carico corrente).

Il processo si arresta quando la norma in energia scende al di sotto di una certa soglia. In particolare viene determinata la norma al primo *step* del singolo passo di carico, e all'interno dello stesso, tale norma viene moltiplicata per una tolleranza imposta. **PAC 3D** permette all'utente la personalizzazione della tolleranza dalla finestra Opzioni Analisi.

La norma in energia è determinata dalla seguente relazione:

$$norma_e = r_j^T \cdot K^{-1} \cdot r_j$$

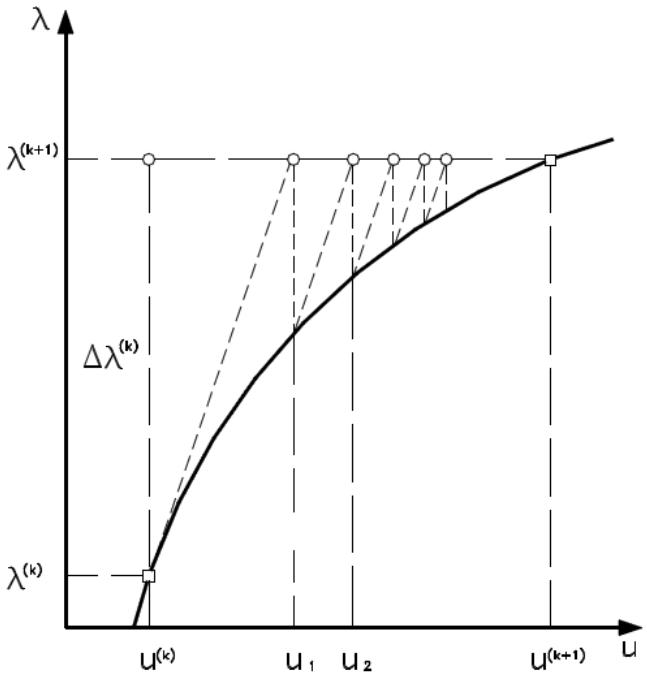
Il metodo di **Newton-Raphson** (NR) è stato implementato riassemblando la matrice di rigidezza, usata come matrice di iterazione, in ogni *loop* all'interno del passo di carico, come mostrato nella figura di seguito riportata.



14.13.3 Metodo di Newton-Raphson modificato

Il metodo di **Newton-Raphson** modificato differisce, da quello descritto nel precedente paragrafo, per il fatto che la matrice di iterazione non viene assemblata forzatamente all'interno della singola iterazione, ma il riassemblaggio viene effettuato solo al termine del singolo passo di carico. In **PAC 3D** sono state implementate due varianti di questo metodo risolutivo. La prima implementazione considera un riassemblaggio della matrice di rigidezza, anch'essa funzione dello stato tensionale e della storia di carico, ogni fine passo di carico. In questa prima versione implementativa l'algoritmo

risolutore potrebbe, all'interno di un determinato passo di carico, decidere di riassemblare la matrice se i *loop* richiesti per la convergenza superano una certa soglia. Nella seconda implementazione, detta *Metodo di Newton-Raphson modificato con riassemblaggio controllato*, in base al numero di *loop* utilizzati per raggiungere la convergenza nel singolo passo di carico, l'algoritmo risolutivo decide se riassemblare o meno nel passo di carico successivo.
Il numero di *loop* entro i quali il singolo passo deve arrivare a convergenza è fissato di default a 500 ma ed è possibile cambiarlo dalla finestra *Opzioni Analisi*. Nella figura di seguito riportata viene illustrata la strategia iterativa all'interno di passo di carico.



14.13.4 Arc Lenght Method – Metodo dell'arco di curva

Il metodo dell'arco di curva (ALM) è stato introdotto da **E.Riks** (1974) per l'analisi incrementale di problemi elastici geometricamente non lineari. L'idea base di tale metodo è quella di aggiungere come ulteriore variabile del problema il parametro di carico λ e, per pareggiare il numero delle incognite, si rende necessaria l'aggiunta di una ulteriore equazione che imponga l'ortogonalità nello spazio *(u, λ)* tra la correzione iterativa e l'incremento totale nel passo di carico.
La correzione iterativa può essere espressa dalle seguenti espressioni:

$$\begin{cases} \dot{u} = u_{j+1} - u_j \\ \dot{\lambda} = \lambda_{j+1} - \lambda_j \end{cases}$$

L'incremento totale di fine passo può essere espresso dalle seguenti espressioni:

$$\begin{cases}\Delta u = u_j - u_0 \\ \Delta\lambda = \lambda_j - \lambda_0\end{cases}$$

dove con u_0 e λ_0 si sono indicati rispettivamente il vettore degli spostamenti e moltiplicatore dei carichi di inizio passo.

La condizione di ortogonalità tra la correzione iterativa e l'incremento totale di fine passo, può essere rappresentata attraverso la seguente espressione:

$$\boldsymbol{\Delta u^T M \dot{u} + \mu \Delta\lambda \dot{\lambda} = 0}$$

dove *M* e μ rappresentano opportuni parametri metrici.

Lo schema risolutivo può essere così schematizzato:

$$\begin{cases} K\dot{u} - \hat{p}\dot{\lambda} = r_j \\ \Delta u^T M\dot{u} + \mu\Delta\lambda\dot{\lambda} = 0\end{cases}$$

dove $\hat{p} = \frac{dp[\lambda]}{d\lambda}$.

Per problemi elasto-plastaci una scelta conveniente per i parametri *M* e μ può essere la seguente:

$$\begin{cases}\mu = 0 \\ M \approx K_j\end{cases}$$

La scelta effettuata porta alla seguente rappresentazione del processo risolutivo:

$$\begin{cases} \lambda_{j+i} = \lambda_j - \dfrac{r_j^T \hat{u}}{\hat{p}^T \hat{u}} \\ u_{j+1} = u_j + K^{-1} r_j + (\lambda_{j+1} - \lambda_j)\hat{u}\end{cases}$$

Nell'algoritmo risolutivo sono stati considerati due parametri adattativi per aumentare la capacità di convergenza del metodo. Il primo parametro *β* riguarda l'estrapolazione iniziale del passo:

$$\begin{cases}u_1 = u_0 + \beta\Delta u_0 \\ \lambda_1 = \lambda_0 + \beta\Delta\lambda_0\end{cases}$$

dove Δu_0 e $\Delta\lambda_0$ rappresentano gli icrementi totali rispettivamente del vettore degli spostamenti e del moltiplicatore dei carichi, ottenuti al passo precedente.

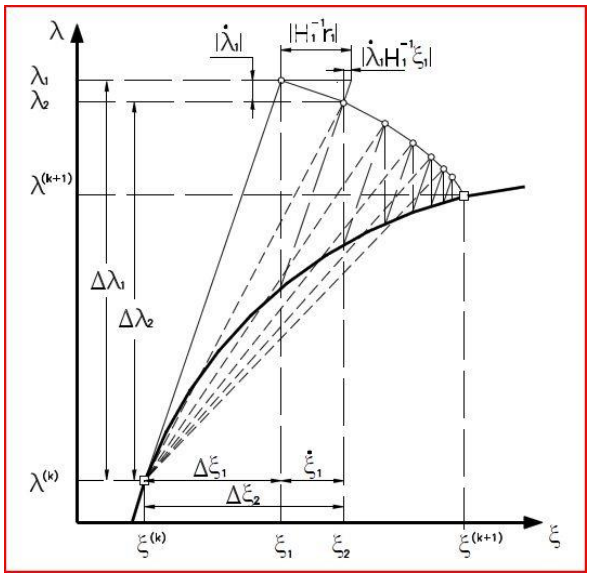
Il secondo parametro *ω* interviene nella valutazione della matrice di iteratione $\widetilde{K} = \frac{K}{\omega}$

Il parametro β viene determinato in funzione del numero di loop impiegati per raggiungere la convergenza al passo di carico precedente, e del numero ottimale di loop, posto pari a 5, per il

raggiungimento della stessa. La valutazione del parametro ω viene effettuata attraverso la seguente relazione:

$$\omega_{j+1} = \omega_j \frac{r_j^T \dot{u}_j}{\left(r_j - r_{j+1}\right)^T \dot{u}_j}$$

Di seguito viene riportata una figura dove viene illustrato il metodo dell'arco di curva.



Nella figura si è indicata con H la matrice di iterazione K.

In **PAC 3D** sono state implementate quattro varianti del metodo dell'arco di curva:

- riassemblaggio ogni incremento di carico, la matrice di rigidezza dell'insieme complesso terreno-struttura viene assemblata passo di carico
- riassemblaggio condizionato, la matrice di rigidezza viene assemblata in automatico quando l'algoritmo risolutivo riscontra che la convergenza richiede un numero elevato di loop
- usa matrice elastica iniziale, la matrice di rigidezza viene assemblata solo al primo passo di carico
- usa matrice elastica iniziale corretta; la matrice di rigidezza viene assemblata solo al primo passo di carico e viene corretta tramite lo scalare *ω* calcolato precedentemente.

14.14 Tipo di analisi.

PAC 3D permette di impostare i seguenti tipi di analisi della paratia:

paratia elastica. Quando si attiva questa opzione (default) il materiale costituente la paratia viene considerato con un comportamento indefinitamente elastico. Il terreno è comunque considerato con comportamento elastoplastico. Pertanto l'eventuale collasso del sistema è legato solo alla rottura del terreno ma non a quello della struttura.

non lineare. Quando si attiva questa opzione sia il terreno che la struttura sono considerati con comportamento non lineare. L'eventuale collasso del sistema può avvenire o per perdita di

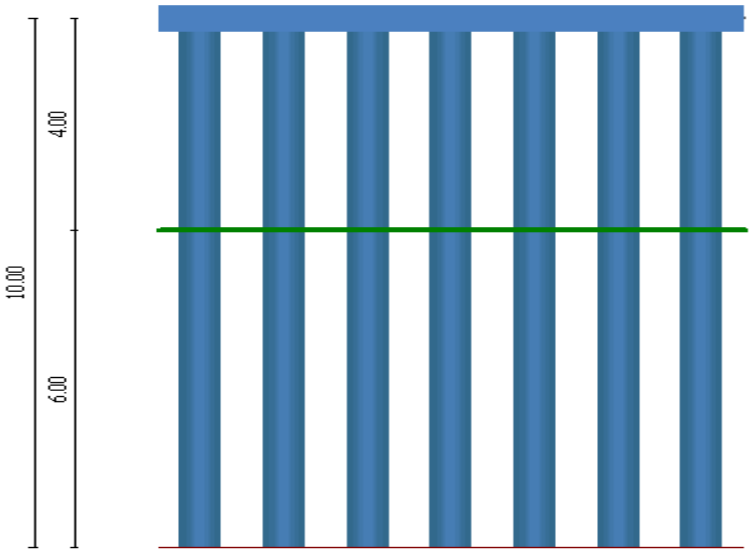
capacità portante del terreno o per raggiungimento della resistenza dei materiali strutturali. Questo tipo di analisi è quella più completa ma anche quella più impegnativa dal punto di vista computazionale. Inoltre presenta maggiori problemi di convergenza rispetto agli altri modi di procedere.

non lineare semplificata. Quando si attiva questa opzione sia il terreno che la struttura sono considerati con comportamento non lineare. L'eventuale collasso del sistema può avvenire o per perdita di capacità portante del terreno o per raggiungimento della resistenza dei materiali strutturali. La differenza rispetto al caso precedente consiste nel fatto che le plasticizzazioni del materiale strutturale vengono messe in conto solo sulle componenti flettenti e non su quelle assiali. In pratica non si tiene conto dell'accoppiamento sforzo normale-flessione come avviene nella metodologia completa. Può essere vista come una analisi con cerniere plastiche.

Quando si considera il materiale della struttura con comportamente nol lineare abbiamo naturalmente una maggiore deformabilità dell'opera (specialmente nel caso di paratie in cls armato). Pertanto diventa importante considerare le non linearità del materiale paratia nei casi in cui il controllo degli spostamenti è prioritario. Un ragionevole compromesso si può ottenere mediante il seguente modo di procedere (per paratie in c.a.)

Si imposta la paratia elastica ma al materiale si attribuisce non il modulo elastico suggerito dalle norme bensì il modulo elastico tangente all'origine del diagramma sforzo deformazioni del materiale costituente la struttura. Il valore di tale modulo viene calcolato automaticamente dal programma considerando la curva sforzo/deformazione del materiale e la presenza delle armature. PAC 3D consente un tal modo di procedere (vedi descrizione Tabella Definizione Materiale).

Ad esempio considerando la seguente paratia costituita da pali circolari in c.a. con diametro D=50 cm armati con 16Φ20 con valori di default sia per i terreni che per i materiali



Otteniamo i seguenti valori per lo spostamento massimo in testa (per interasse dei pali pari ad 1 metro e a 0.5 metri)

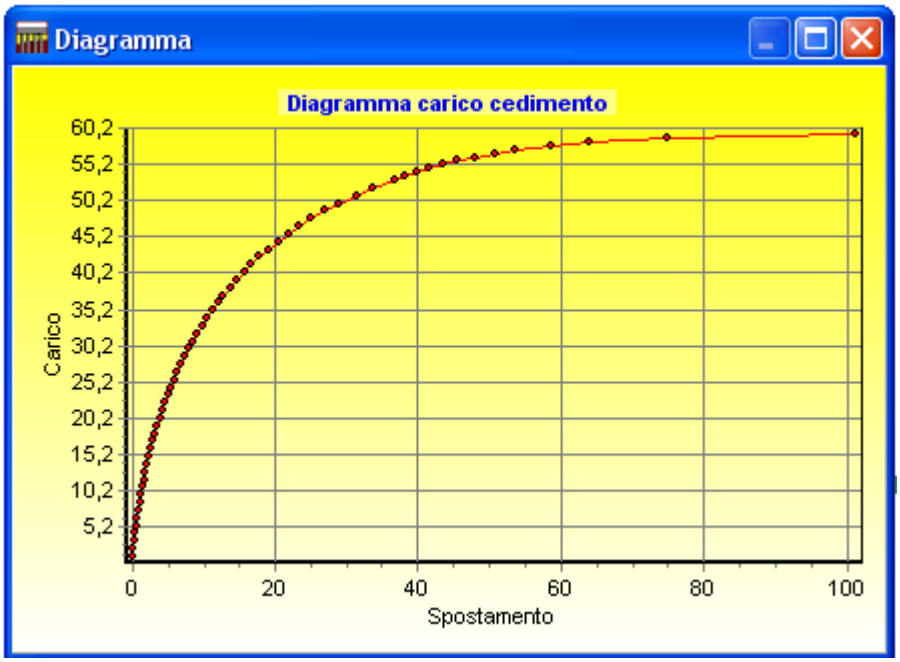
Paratia elastica	14,14 cm	4,10
Paratia non lineare	19,86 cm	6,34
Paratia non lineare semplificata	19,12 cm	6,12

Paratia elastica con $E=E_{tan}$	16,69 cm	5,47

La selezione del modus operandi influisce nella ricerca del moltiplicatore di collasso del sistema. Quando si imposta l'*Opzione Moltiplicatore di collasso* (Opzioni Analisi) il programma continua ad incrementare i carichi applicati fino a che non si raggiunge un meccanismo di collasso. Questo meccanismo è determinato solo dalla rottura del terreno nel caso in cui si consideri la paratia elastica,mentre nel caso di comportamento non lineare della struttura il meccanismo si può creare o per rottura del terreno o per rottura della struttura.

Detto p il vettore dei carichi applicati sulla struttura e p_u il vettore dei carichi in corrispondenza del punto di collasso del sistema, il moltiplicatore di collasso λ è definito dalla seguente relazione

$$\mathbf{p}_u=\lambda*\mathbf{p}$$



Nel caso della paratia dell'esempio precedente (interasse pali = 0,50 metri) abbiamo determinato il moltiplicatore di collasso considerando dapprima la paratia con comportamento elastico e poi attribuendo ad essa un comportamento non lineare facendo inoltre variare le armature delle sezioni

Elastica	λ=2,65
Non Lineare (16ϕ12)	λ=1,875
Non Lineare (16 ϕ16)	λ=2,525
Non Lineare (16 ϕ20)	λ=2,65
Non Lineare (16 ϕ24)	λ=2,65

Analizzando questi risultati è evidente che il moltiplicatore nel caso di paratia elastica rappresenta un limite superiore. Nel caso di comportamento non lineare del calcestruzzo il moltiplicatore è fortemente influenzato dalle armature disposte nei pali.

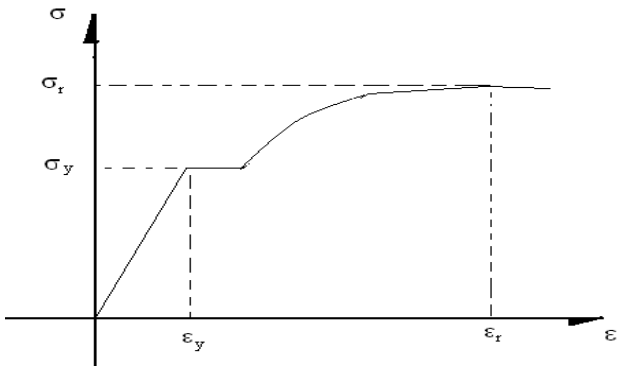
Nel primi due casi (16ϕ12, 16ϕ16) i moltiplicatori (1,875 2,525) risultano determinati dal collasso della struttura. Nel caso delle sezioni più armate invece la capacità resistente della struttura è più

alta ed il collasso si raggiunge per rottura del terreno. E' evidente che anche aumentando in modo significativo le armature, il moltiplicatore non può cambiare.
A questo punto occorre spiegare come vengono messe in conto le non linearità dei materiali della struttura.

14.15 Non linearità del materiale strutturale

In generale possiamo affermare che qualsiasi materiale strutturale presenta un comportamento non lineare, simile a quello mostrato in figura.

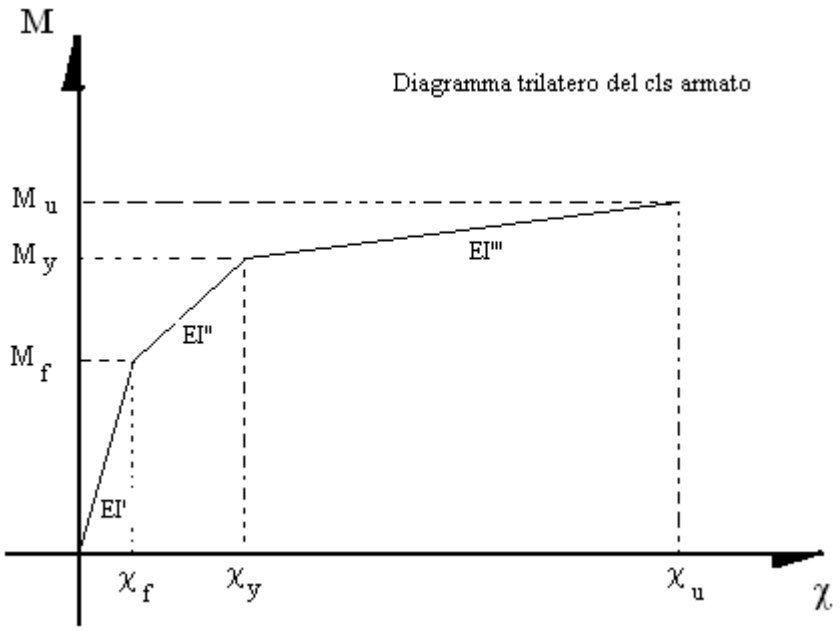
.



Il primo tratto, fino alla tensione di snervamento σ_y, è un tratto elastico (che può essere lineare o non lineare). Superata la tensione di snervamento si entra nel tratto elastoplastico dove la curva presenta un andamento decisamente non lineare fino al raggiungimento della tensione di rottura σ_r. Il rapporto fra la deformazione ultima ε_r e quella a snervamento ε_y rappresenta la misura della duttilità della sezione.
In effetti ogni materiale presenta un diagramma σ–ε differente. Tratteremo brevemente quello del calcestruzzo armato e quello dell'acciaio.

14.16 La plasticità delle strutture in calcestruzzo armato

Il calcestruzzo armato (c.a.) è un materiale composto da due materiali: il calcestruzzo che possiede buona resistenza a compressione ma resistenza a trazione limitata e l'acciaio che presenta resistenza a trazione ed a compressione molto elevate. Il calcestruzzo presenta inoltre un comportamento di tipo fragile mentre l'acciaio un comportamento di tipo duttile.
Il diagramma momento-curvatura (M-χ) di una sezione in c.a. si può rappresentare come una trilatera. Il primo tratto (a partire dall'origine) è il tratto elastico a cui corrisponde il comportamento della sezione interamente reagente (non fessurata). Il secondo tratto, che presenta una rigidezza minore, rappresenta il comportamento con sezione parzializzata fino al raggiungimento della tensione di snervamento di uno dei due materiali. L'ultimo tratto rappresenta il tratto plastico fino al raggiungimento della deformazione ultima del cls (o dell'acciaio). La forma del diagramma dipende dalle caratteristiche dei singoli materiali, dal quantitativo di armatura presente, e naturalmente dalla forma e dimensioni della sezione.

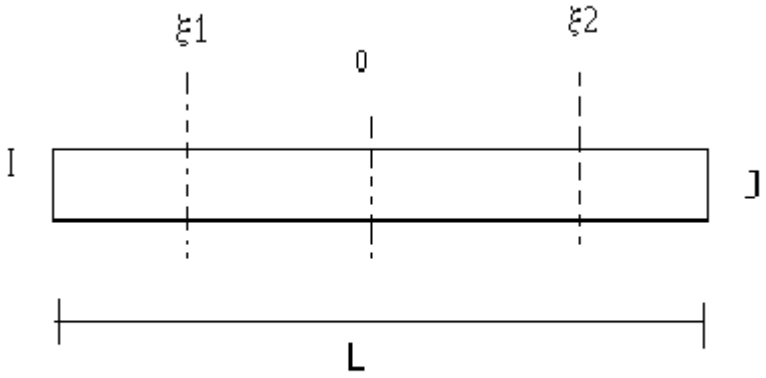


Da questo diagramma è possibile ricavare per integrazioni delle curvature il corrispondente diagramma Momento-Rotazioni (*M*-θ), la cui forma è simile a quella del diagramma momento-curvatura. E' consuetudine nell'analisi di strutture in c.a. fare uso di un diagramma semplificato bilatero che non considera il primo tratto del diagramma *M*-*q*, corrispondente alla sezione non fessurata.

In un'analisi di tipo tradizionale (plasticità concentrata con formazione di cerniere plastiche concentrate nei nodi) la costruzione di tale diagramma precede la fase di analisi non lineare della struttura. Nel processo di analisi, quando in una sezione viene superato il momento di snervamento $M_{y,}$ viene inserita una molla rotazionale di rigidezza *EI*'''. La rottura si considera raggiunta quando la rotazione θ raggiunge un valore limite θ_u.

L'altra metodologia utilizzata nell'analisi strutturale è quella della plasticità diffusa.

Non si impongono a priori la posizione di possibile formazioni di cerniere plastiche. Vengono fissati lungo ciascun elemento dei punti di campionatura alle ascisse corrispondenti ai punti di **Gauss**. In corrispondenza di queste sezioni in ogni passo dell'analisi a partire dagli spostamenti nodali vengono calcolate le deformazioni $\varepsilon = B\ u_e$. Conoscendo le deformazioni per ognuno dei punti di campionatura si valuta la rigidezza della sezione corrispondente allo stato deformativo ε integrando i diagrammi sforzo deformazione sulla sezione considerata.



Sezioni di campionatura lungo l'elemento IJ

Indicando con W_i i "pesi" di integrazione nei vari punti di **Gauss** è possibile calcolare le caratteristiche di rigidezza della sezione, in funzione della deformazione corrente.

Se abbiamo *n* punti di campionatura posizionati alle ascisse ξ_i lungo l'elemento la rigidezza della sezione si ottiene come

$$K_S(\varepsilon) = K_S(\varepsilon_i(u)) = \sum_n k_s^i(\xi_i) W_i$$

Dove $k_s(\zeta)$ sono le caratteristiche di rigidezza calcolate all'ascissa ζ_i in funzione della deformazione ε_i nella stessa ascissa.

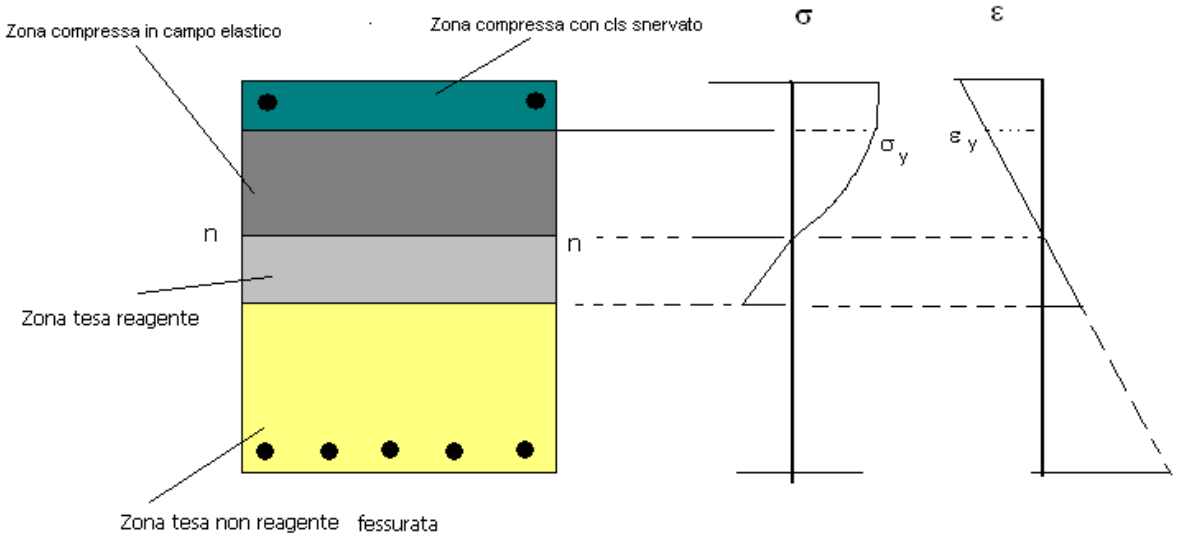
Con le rigidezze della sezione così calcolate è possibile valutare la matrice di rigidezza dell'elemento e la risposta strutturale dello stesso

$$S_e = S_e(\varepsilon(u))$$

Lo squilibrio che si viene a creare per effetto della variazione di rigidezza della sezione viene rimesso nell'equazione di equilibrio di passo e deve essere riequilibrato nel processo iterativo di soluzione.

La variazione di rigidezza della sezione è data dalla progressiva parzializzazione (fessurazione) della sezione (ovvero la tensione nel cls supera il valore della resistenza a trazione $\sigma_c > f_{ctm}$) e dallo snervamento dei materiali, ossia il superamento delle deformazioni di snervamento ε_{cy} od ε_{fy}.

Solo per bassi valori di sollecitazioni (al di sotto del momento di prima fessurazione M_f) abbiamo una risposta elastica e la matrice di rigidezza non cambia.



L'integrazione del diagramma σ–ε sulla sezione viene fatta assumendo l'ipotesi di conservazione delle sezioni piane ed integrando numericamente sul dominio. L'integrazione numerica richiede la suddivisione del dominio in tanti sottodomini (mesh) e la valutazione della funzione $\sigma=f(\varepsilon)$ nei punti di **Gauss**. Si tratta di un processo estremamente oneroso in quanto viene fatto per ogni sezione di campionatura di ogni elemento e per tutti i passi di carico.

In **PAC 3D** si è posta particolare attenzione all'ottimizzazione di tale fase ottenendo buoni risultati.

Per quanto riguarda i punti di campionatura lungo l'elemento, in **PAC 3D** l'Utente ha a disposizione una serie di scelte. Si possono scegliere punti corrispondenti a 3 famiglie di integrazioni diverse (**Gauss, Lobatto, Newton-Cotes**) e selezionare il numero di sezioni desiderati. Tenendo conto che (come abbiamo detto nel capitolo relativo alla generazione del modello) in **PAC3D** gli elementi hanno una lunghezza ridotta, pertanto 1 o 2 punti di integrazione sono sufficienti (**Gauss**). Di seguito riportiamo alcuni valori caratteristici delle tre famiglie di integrazione che si possono utilizzare (l'Utente deve solo scegliere il numero di punti).

Gauss

Numero punti	Posizione	Pesi
1	0.0	2.0
2	$-1/\sqrt{3}$ $1/\sqrt{3}$	1.0 1.0
3	$-\sqrt{6}$ 0.0 $\sqrt{6}$	5/9 8/9 5/9

Lobatto

Numero punti	Posizione	Pesi
3	-1.0 0.0 1.0	1/3 4/3 1/3
4	-1.0 -0.44721360 0.44721360 1.0	1/6 5/6 5/6 1/6
5	-1.0 -0.65465367 0.0 0.65465367 1.0	0.1 0.544444444444444 0.711111111111111 0.544444444444444 0.1

Newton-Cotes

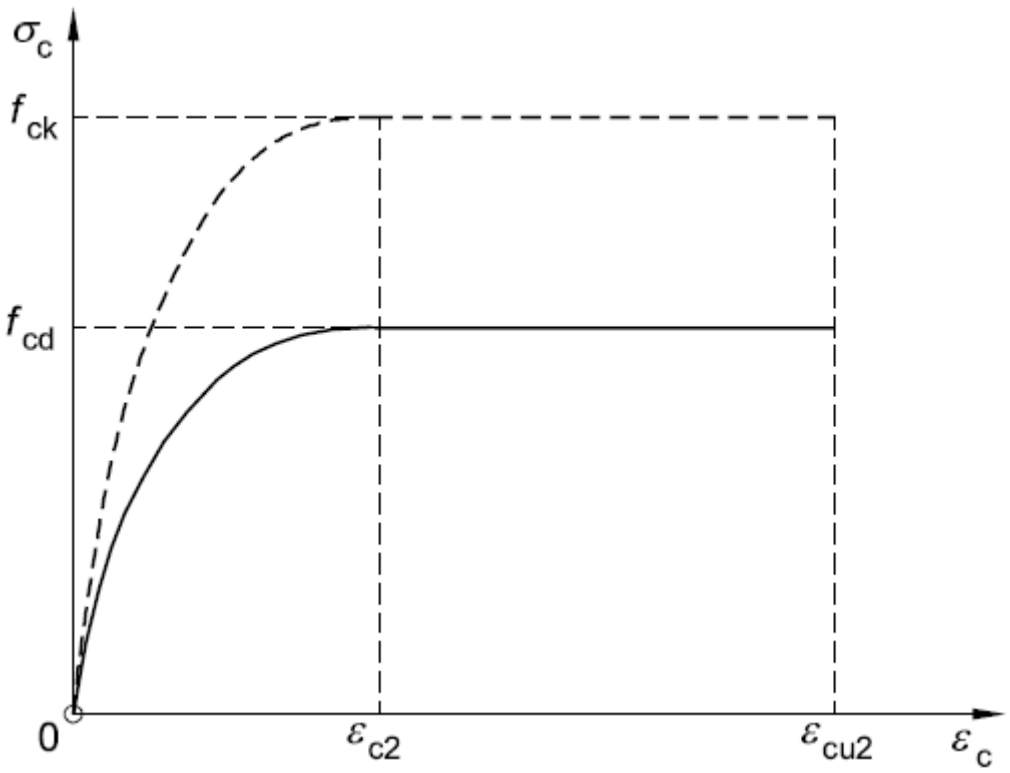
Numero punti	Posizione	Pesi
2	-1.0 1.0	1 1
3	-1.0 0 1.0	2/6 4/6 2/6

14.16.1 Diagrammi tensioni deformazioni dei materiali

Abbiamo visto nel paragrafo precedente che per integrare la risposta è necessario conoscere i diagrammi σ–ε sia del calcestruzzo che dell'acciaio. Tali diagrammi inoltre, necessari per la costruzioni dei domini di rottura,lo sono anche per un calcolo tradizionale (analisi con paratia elastica e verifica allo stato limite ultimo delle sezioni).

14.16.1.1 Diagramma σ–ε per il calcestruzzo

Il diagramma per il calcestruzzo può essere il diagramma parabola rettangolo tradizionalmente usato nella verifica delle sezioni, o un diagramma simile che tenga conto dell'effetto di sconfinamento esercitato dalle staffe.



In questo diagramma ε_{cu2} rappresenta la deformazione ultima del cls, ε_{c2} rappresenta la deformazione a snervamento, f_{ck} rappresenta la resistenza caratteristica cilindrica e f_{cd} la resistenza di progetto espressa come

$$f_{cd}=f_{ck}/\gamma_c$$

con γ_c coefficiente di sicurezza sulla resistenza del materiale. Si assumono i seguenti valori per le deformazioni del cls

$$\varepsilon_{c2}=0.002 \qquad \varepsilon_{cu2}=0.0035$$

L'espressione della funzione $\sigma_c=f(\varepsilon_c)$ è la seguente

$$\sigma_c = f_{cd}\left(2\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c2}}-\left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c2}}\right)^2\right) \qquad \text{per} \quad \varepsilon_c \le \varepsilon_{c2} \qquad \text{(A)}$$

$$\sigma_c = f_{cd} \qquad \text{per} \quad \varepsilon_{c2} \le \varepsilon_c \le \varepsilon_{cu2}$$

Per tener conto dell'effetto benefico del confinamento esercitato dalle staffe sul nucleo di calcestruzzo è possibile utilizzare un diagramma simile con ordinate corrette, mediante fattori che tengano conto dell'effetto di confinamento. Questo fattore correttivo pertanto dipende dalla disposizione delle staffe presente sull'elemento strutturale (diametro e passo). La formulazione proposta da **Kent** e **Park** propone un fattore correttivo K espresso come

$$K = 1+\frac{\rho_s f_{yk}}{f_c'}$$

dove

ρ_s rapporto fra volume delle staffe e volume del calcestruzzo cerchiato

f_{yk} resistenza caratteristica a snervamento dell'acciaio delle staffe

f'_c resistenza a compressione cilindrica del calcestruzzo

Il valore a snervamento del calcestruzzo diventa $\varepsilon_{c2}=0.002K$

Ad esempio se consideriamo un palo con sezione circolare D=50 cm realizzato con calcestruzzo classe C20/25 ed armato con ferri ϕ16 e staffe ϕ10 (acciaio tipo B450C) otteniamo i seguenti valori del parametro *K* al variare dell'interasse delle staffe:

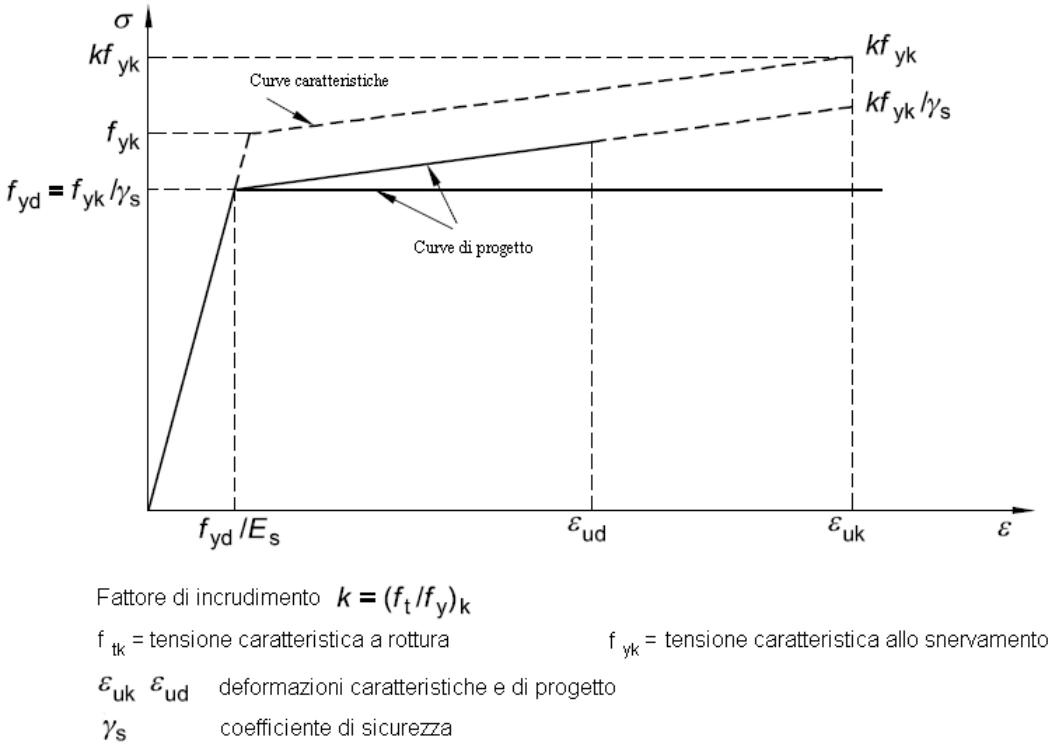
Interasse 20 cm	K=1,1355
Interasse 15 cm	K=1,1807
Interasse 10 cm	K=1,2711

Si assume pertanto un diagramma parabola rettangolo con ordinate incrementate del fattore K.

14.16.1.2 Diagramma σ–ε per l'acciaio

Le norme vigenti impongono l'utilizzo di acciai con elevata duttilità (elevato rapporto fra deformazione ultima a rottura e deformazione allo snervamento)

Per l'acciaio si fa riferimento al seguente diagramma.



E' possibile utilizzare acciaio con fattore di incrudimento $k = (f_t / f_y)_k$ maggiore dell'unità e con deformazione limite impostata a ε_{ud} oppure fattore di incrudimento unitario ed in tal caso non è necessario verificare la deformazione limite dell'acciaio.

Ad esempio per l'acciaio tipo B450C abbiamo le seguenti caratteristiche

f_{tk}=5506 Kg/cm^2 f_{yk}=4588 Kg/cm^2 *k*=5506/4588=1,20

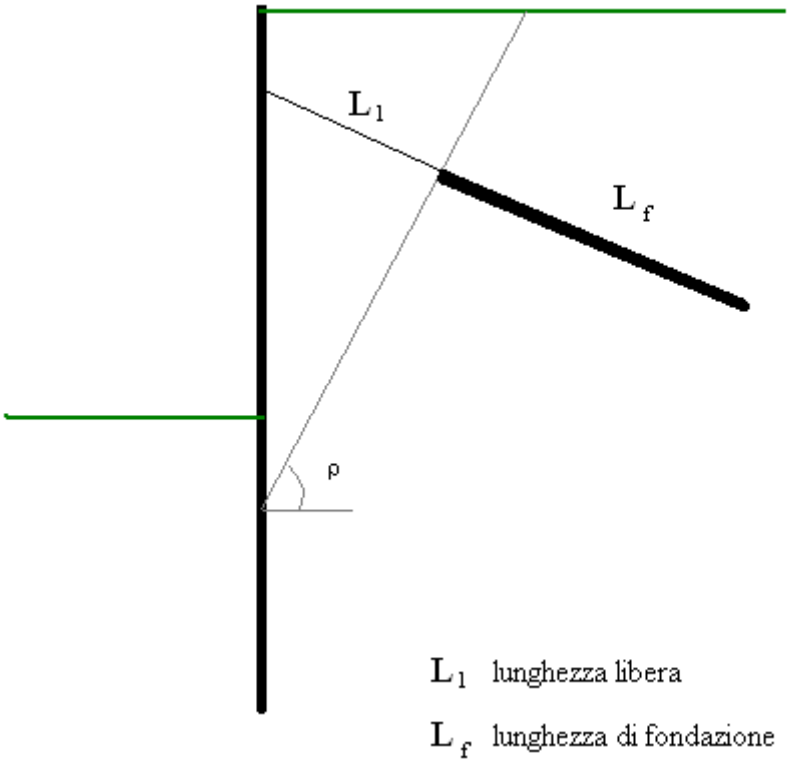
ε_{uk}=0.075 ε_{ud}=0.9xε_{uk}=0.0675

γ_s=1.15 f_{cd}=4588/1,15=3989 Kg/cm^2

14.17 La modellazione dei tiranti

Abbiamo detto precedentemente che impostando l'*Opzione Paratia Elastica* non si considerano le plasticizzazioni del materiale costituente la paratia. Una eccezione notevole è rappresentata dai tiranti (attivi e passivi).

I tiranti sono rappresentati con elementi tipo aste non reagenti a compressione, aventi area della sezione pari all'area dell'armatura del tirante e lunghezza pari alla lunghezza libera L_l.



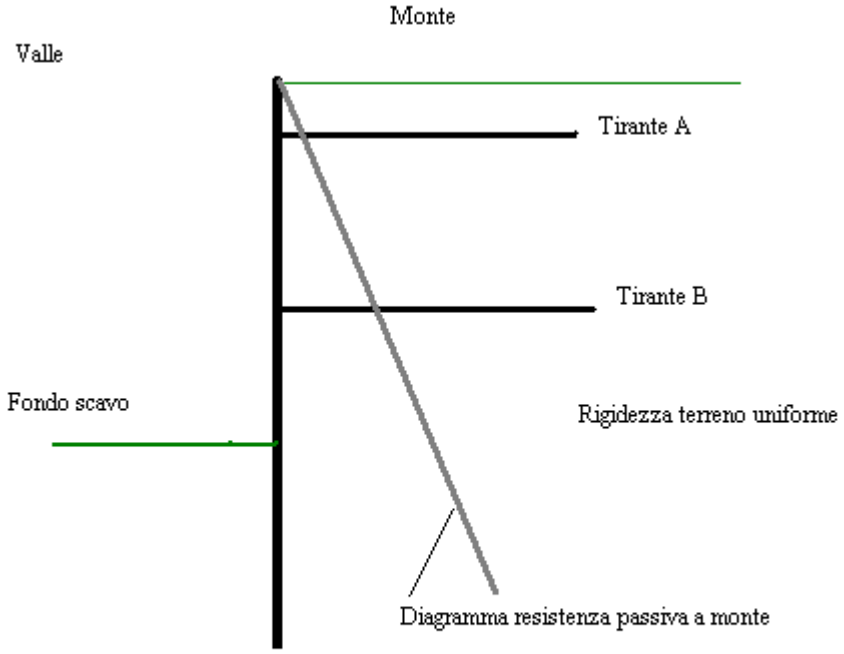
La lunghezza libera rappresenta il tratto di tirante compreso fra il punto di innesto sulla paratia ed il punto dove inizia la fondazione.

Contrariamente agli altri elementi strutturali il tirante viene **sempre considerato con comportamento elastoplastico**. Pertanto durante il processo di analisi il tirante può raggiungere la tensione di snervamento e addirittura può arrivare alla deformazione ultima (rottura del tirante). Da questo punto in poi il tirante non contribuisce più all'equilibrio dell'opera.

Il tirante attivo si differenzia da quello passivo perché ad esso viene impresso tiro iniziale.

Durante la vita dell'opera questo tiro può aumentare o diminuire in funzione del cinematismo dell'opera (ribadiamo che il tirante non è né una forza concentrata né un vincolo fisso).

Quando il tirante preteso viene reso solidale con la paratia questa tende a rientrare e quindi il tirante tende a scaricarsi. L'entità di tale rientro dipende da fattori quali la posizione del tirante sulla paratia (un tirante posto in sommità tende a rientrare di più rispetto ad un tirante posto a quota più bassa), la rigidezza del terreno a monte della paratia e la deformabilità della struttura paratia. Quindi il tirante perde in questa fase parte del tiro iniziale impostato. Con il progredire dello scavo il tirante tende a caricarsi di nuovo.



A parità di rigidezza del terreno e di tiro sui tiranti il tirante A tende a rientrare più del tirante B perchè la resistenza del terreno in corrispondenza della quota A è inferiore alla resistenza in corrispondenza della quota B

Pertanto il tiro iniziale deve essere impostato con attenzione in modo da lasciare al tirante un margine adeguato per poter eventualmente sopportare incrementi di carico.

Valori non superiori al 50% della f_{yk} (tensione di snervamento dell'acciaio) sono in genere valori accettabili per il tiro iniziale.

14.18 La plasticità nel caso delle sezioni in acciaio

Nel caso delle sezioni in acciaio il procedimento è assolutamente analogo ma, tutto sommato più semplice rispetto a quello delle sezioni in c.a. Infatti trattandosi di sezioni omogenee il procedimento di integrazione sulla sezione è decisamente più veloce e più lineare. Occorre tener conto delle zone in cui la σ supera la σ_y del materiale ma chiaramente non esistono parzializzazioni della sezione come invece accade nel c.a.

I diagrammi σ-ε per i profilati in acciaio sono simili (bilineari) a quelli dell'acciaio da cemento armato, con valori caratteristici delle tensioni e delle deformazioni diversi.

15 ANALISI PER FASI DI SCAVO

PAC 3D consente di effettuare l'analisi della paratia sia per combinazioni di carico che per fasi di scavo (fasi costruttive).

In pratica il modello consente di simulare il reale processo di costruzione dell'opera. Questo modo di procedere è praticamente obbligatorio nell'analisi di paratie in quanto lo stato finale di deformazione e sollecitazione dipende dalla storia di carico dell'opera (come in tutti i fenomeni non lineari).

Da una fase alla successiva possono essere eseguite le seguenti operazioni:

- Approfondimento dello scavo o comunque variazioni della linea di fondo scavo
- Inserimento o rimozione di tiranti
- Inserimento o rimozione di puntoni
- Variazioni di tiro sui tiranti attivi
- Inserimento o rimozione di vincoli
- Inserimento o rimozione di elementi strutturali generici
- Inserimento o rimozioni di carichi applicati sulla paratia
- Inserimento o rimozioni di carichi applicati sul profilo del terreno di monte o di valle
- Variazione delle caratteristiche fisico-meccaniche del terreno
- Variazione del livello di falda
- Variazione dei coefficienti di spinta della stratigrafia
- Variazione delle rigidezze della stratigrafia

L'analisi per fasi di scavo intrinsecamente è una analisi non lineare, in quanto le variazioni di caratteristiche geometriche-strutturali o fisico-meccaniche del terreno introducono da una fase all'altra degli squilibri, che devono essere recuperati dal processo di soluzione, tenendo conto in modo corretto delle stato tensionale e deformativo della fase precedente.

Analizzeremo alcuni esempi di fasi di scavo per mettere in evidenza alcuni aspetti di tale modalità di calcolo.

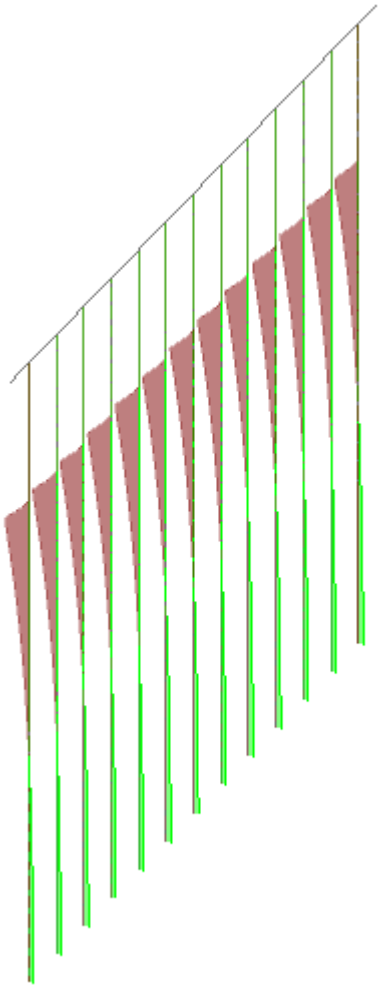
15.1 Paratia di pali libera (H=10 metri) con tre fasi.

Altezza iniziale di scavo pari a 2 metri.

Approfondimento dello scavo fino a 4 metri. Profondità di infissione finale pari a 6 metri.

Inserimento di carichi verso monte.

Nella prima fase il diagramma di spinta attiva viene applicato sul fuori terra di 2 metri Il diagramma attivo agisce fino al punto di nullo della differenza (S_{AM}-S_{PV}). Le molle a valle della paratia tenderanno a caricarsi (resistenza passiva) eventualmente fino al valore limite *Rp(z)*. L'equilibrio si raggiunge per effetto della controspinta che si sviluppa nel tratto infisso verso monte.

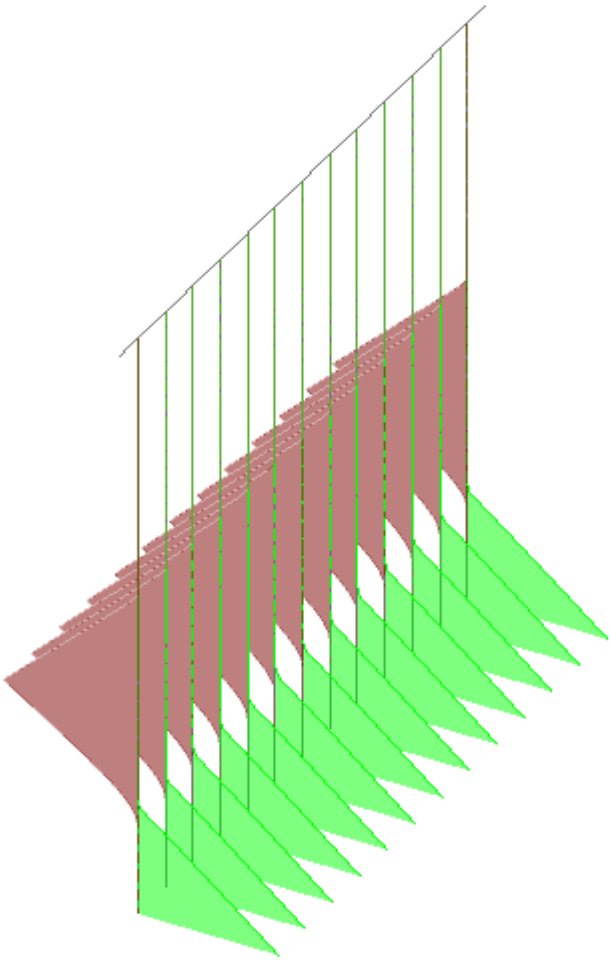


Avremo pertanto uno stato di deformazione e di sollecitazione di cui bisognerà tener conto nella fase successiva.

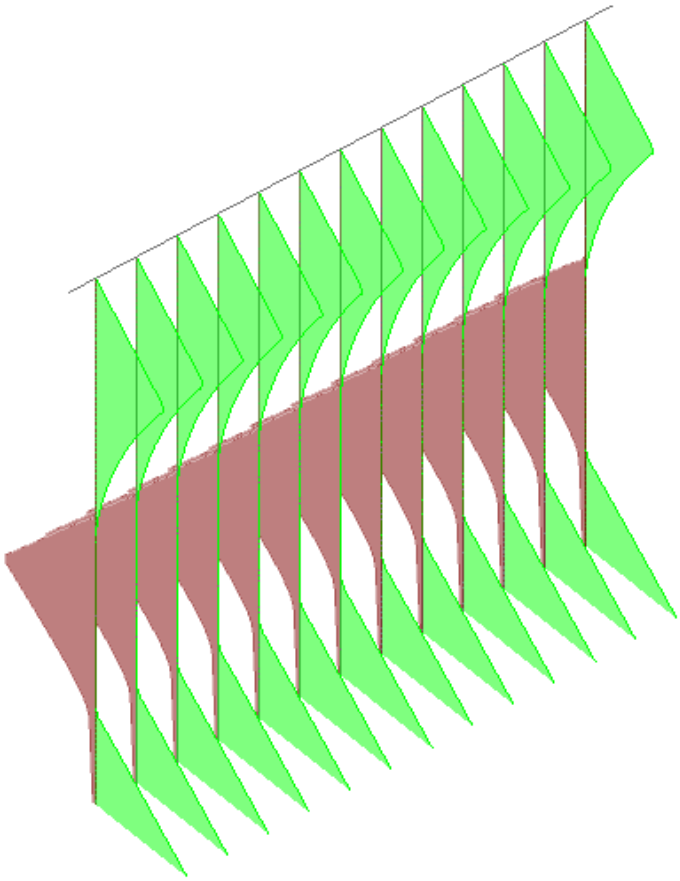
Seconda fase. Le molle a valle comprese fra la quota z=2 metri e la quota z=4 metri vengono rimosse. Tale rimozione naturalmente provoca uno squilibrio (le molle eliminate erano soggette ad una pressione nella fase precedente) che il processo di analisi deve recuperare. A questo squilibrio va aggiunto l'incremento di carico da monte (altezza di scavo variata da 2 a 4 metri). Inoltre le molle poste al di sotto dell'attuale fondo scavo (z=4 metri) subiscono una variazione della pressione limite. Ad esempio una molla che si trova alla profondità di 6 metri rispetto alla testa della paratia aveva nella prima fase una pressione limite pari a $p_{lim0}=\gamma(z-z_{q0})*K_p = 4\gamma K_p$ mentre adesso la pressione limite diventa $p_{lim1}=\gamma(z-z_{q1})*K_p = 2\gamma K_p$

Risulta pertanto $p_{lim1}<p_{lim0}$ il che costringe la molla a "rientrare" qualora in essa si sia sviluppata nella fase precedente una pressione superiore a p_{lim1}.

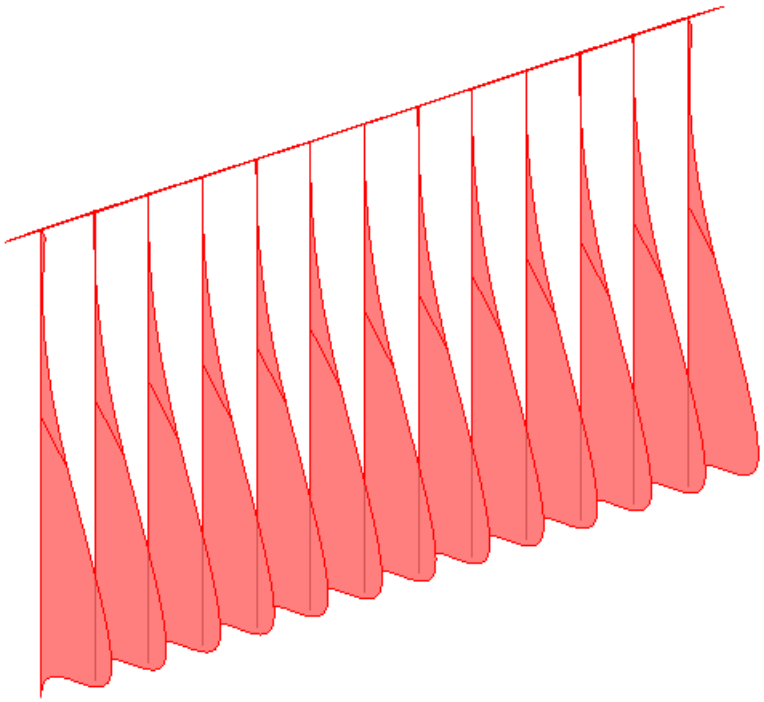
Quindi l'analisi della seconda fase deve provvedere a recuperare tutti gli squilibri provenienti dalla fase precedente e comunque equilibrare l'incremento di carico applicato nella fase attuale. Lo stato tensionale e deformativo della fase 1 diventa il punto di partenza per l'analisi della fase 2.

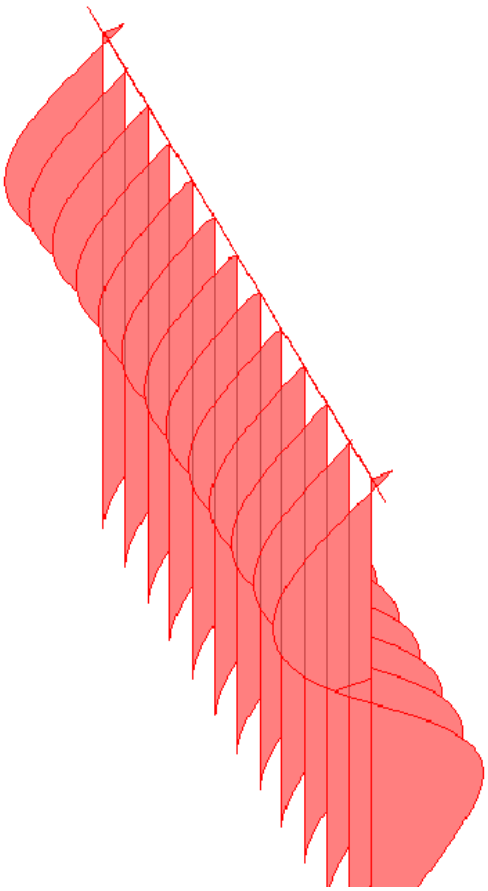


Se a questo punto lasciando inalterate le altezze si crea una nuova fase, nella quale applichiamo una serie di carichi diretti verso monte, la paratia tenderà a rientrare a partire dallo spostamento di fine fase 2. Naturalmente questo rientro viene contrastato dal terreno a tergo dell'opera ed il diagramma delle pressioni si presenterà come in figura dove è evidente nel tratto sommitale della paratia la resistenza offerta dal terreno al rientro dell'opera.



Risulta inoltre evidente come, a causa del contrasto offerto al rientro, i diagrammi degli spostamenti fra la fase 2 e la 3 non risultano molto dissimili, mentre i diagrammi dei momenti (riportati nelle figure sotto) sono completamente diversi fra di loro.





15.2 Analisi di una paratia vincolata con 3 fasi.

Fase 1. Altezza fuori terra iniziale pari a 2 metri.

Fase 2. Inserimento di un vincolo in testa ed approfondimento dello scavo fino a 4 m (infissione finale 6 m).

Fase 3. Rimozione del vincolo

Per quanto riguarda l'applicazione della spinta del terreno vale quanto detto nell'esempio precedente. Nella seconda fase viene applicato il vincolo sommitale alla paratia (per tutta la lunghezza della stessa). Rimarchiamo il fatto che il vincolo viene applicato quando la paratia ha gia subito degli spostamenti. A questo punto lo scavo fino a 4 metri altera completamente la deformata della fase precedente e l'andamento del diagramma dei momenti i quali si invertono.

Nell'ultima fase non si ha un incremento di carico (altezza di scavo pari a quella della fase 2) ma avendo eliminato i vincoli e quindi le reazioni vincolari da essi esercitate si crea uno squilibrio che il processo di analisi deve riequilibrare.

15.3 Analisi per fasi di scavo – Determinazione del moltiplicatore di collasso.

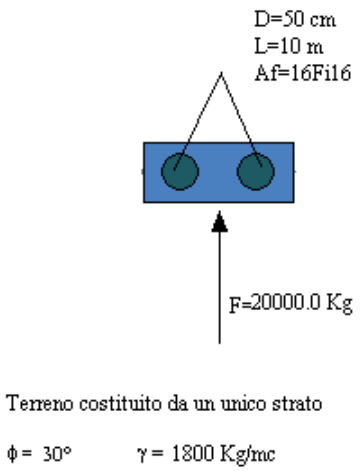
Quando eseguiamo l'analisi per fasi di scavo e richiediamo la determinazione del moltiplicatore di collasso (*Opzioni Analisi*) **PAC 3D** opera nel modo descritto di seguito.

Le fasi vengono analizzate fino all'ultima definita dall'Utente. A partire dall'ultima configurazione di equilibrio raggiunta il programma comincia ad incrementare tutti i carichi applicati mediante un moltiplicatore λ fino a quando il sistema non riesce più a raggiungere una configurazione di equilibrata.

L'ultimo valore di λ, per il quale è garantito l'equilibrio, viene assunto come moltiplicatore di collasso della struttura. Se non viene specificato diversamente i carichi vengono amplificati tutti mediante lo stesso moltiplicatore. L'Utente ha comunque la possibilità di determinare il moltiplicatore mantenendo inalterati i carichi verticali ed incrementando solo quelli orizzontali (*Opzioni Analisi*).

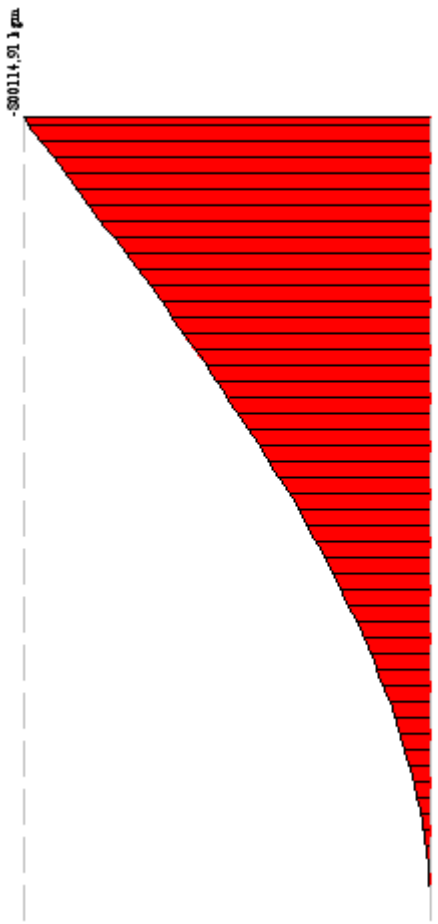
Abbiamo già detto nel capitolo precedente che il sistema paratia-terreno può raggiungere il meccanismo di collasso o per rottura del terreno o per rottura di parti strutturali. E' pertanto necessario per la determinazione del fattore di collasso impostare in opzioni analisi l'opzione di analisi non lineare.

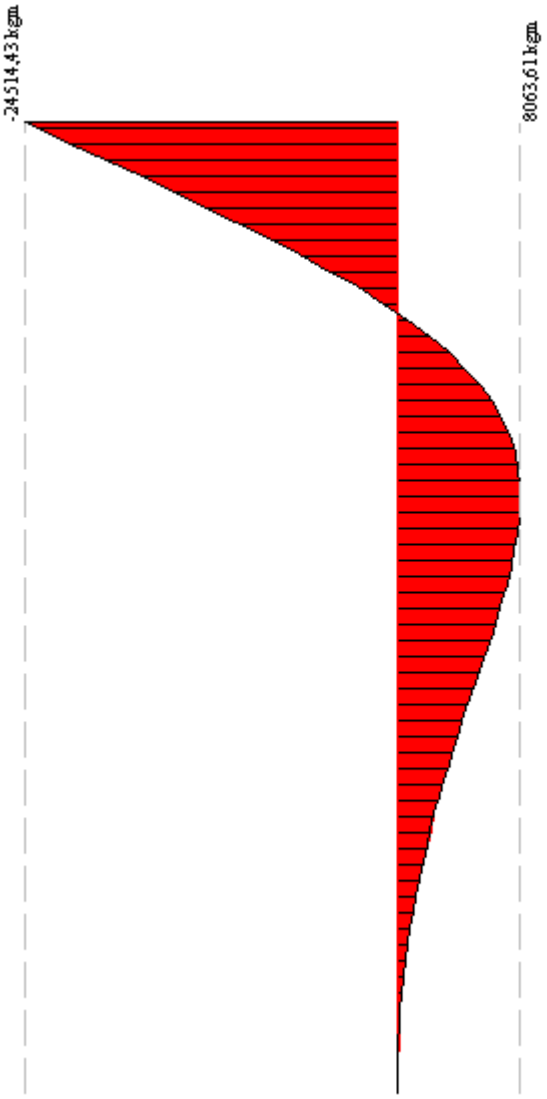
Ad esempio pensiamo ad una coppia di pali completamente immersi nel terreno, ed applichiamo in testa dei carichi orizzontali; supponiamo inoltre che i pali siano impediti di ruotare in testa. Se consideriamo solo la plasticizzazione del terreno (paratia elastica) otteniamo un valore del moltiplicatore pari a 12. Considerando invece la paratia con comportamento elastoplastico (D=50 cm, 16ϕ16) otteniamo un moltiplicatore pari a 1,40.



I meccanismi di collasso risultano completamente differenti fra di loro come risulta dai diagrammi dei momenti sotto riportati.

Il primo meccanismo è quello di palo corto (Broms) mentre il secondo è quello di palo lungo. Infatti nel modello di palo corto considerando il palo infinitamente elastico la rottura può avvenire solo per completa plasticizzazione del terreno.





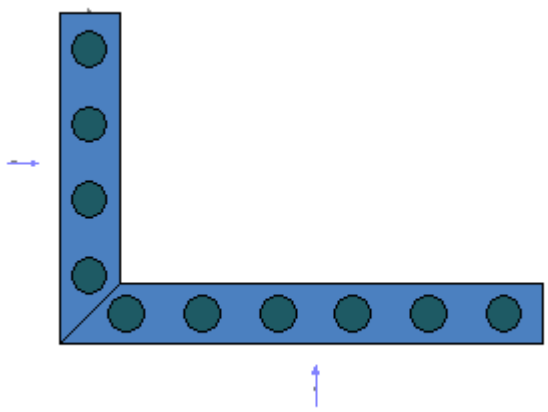
La figura a sinistra indica la zona di formazione delle cerniere plastiche (in blue) in corrispondenza dell'incastro (snervamento dell'acciaio e rottura del calcestruzzo).

15.4 Analisi per fasi di scavo – Il sisma

L'effetto del sisma viene considerato da **PAC3D** solo sulla fase finale.

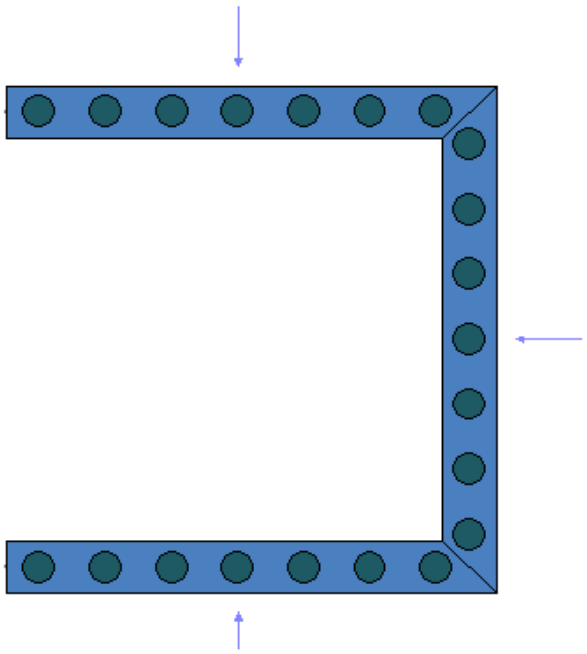
Quando viene impostata l'analisi sismica **PAC 3D** esegue il calcolo delle fasi fino all'ultima definita dall'Utente. A valle di questa vengono inseriti i calcoli sismici il cui numero dipende dalla geometria in pianta della paratia.

Se abbiamo un solo tratto il sima viene applicato una sola volta nella direzione più sfavorevole al tratto (da monte verso valle).



Quando si hanno più tratti **PAC 3D** fa una scansione delle direzioni più gravose per ogni tratto. Ad esempio per la paratia ad L riportata a sinistra, viene inserito il sisma X^+ ed il sisma Y^+ che risultano più gravosi per il tratto verticale ed orizzontale rispettivamente.

Nella paratia a C mostrata in figura si considerano 3 direzioni per il sisma : sisma X^+ , sisma Y^+, sisma Y^-



Quindi una volta calcolate le fasi, definite in fase di input, il programma deve inserire tante analisi sismiche quante sono le direzioni sismiche significative. Le azioni sismiche vengono applicate indipendentemente una dall'altra. Occorre quindi bloccare l'ultima fase calcolata (senza sisma) e considerarla come punto di partenza per l'analisi di tutte le fasi sismiche. Tutto questo viene naturalmente eseguito automaticamente dal programma.

I risultati delle fasi sismiche non vanno perciò visti sequenziali fra di loro ma indipendenti.

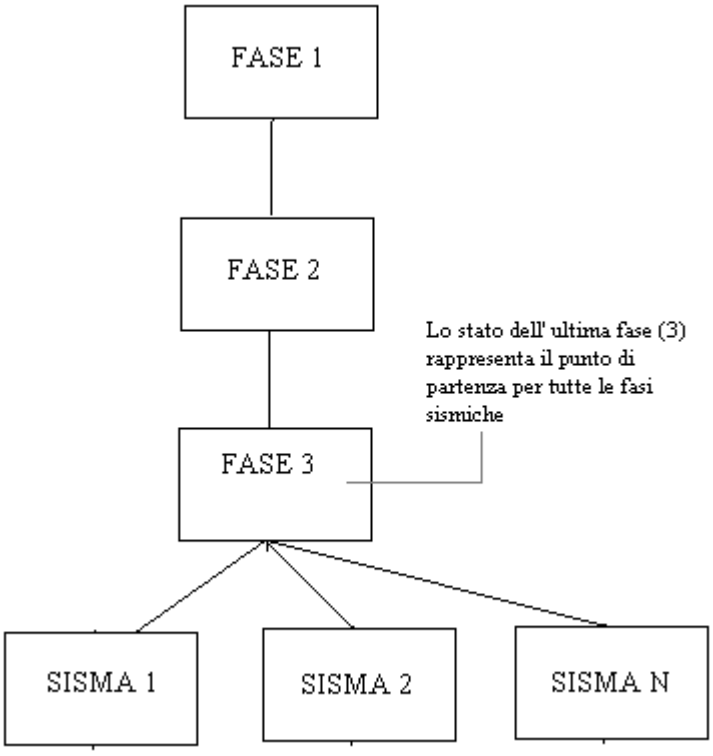
Ad esempio prendiamo il caso della paratia ad L sopra riportata e pensiamo di averla analizzata mediante 3 fasi fino ad una altezza fuori terra di 5 metri. Abbiamo perciò tutto lo stato di deformazione e di tensioni nei materiali in corrispondenza di quest'ultima fase (che chiameremo fase F). Nel caso specifico dobbiamo considerare 2 direzioni sismiche (*X+ e Y+*). Per ogni direzione sismica si recupera lo stato della fase F e a partire da questo si inserisce il carico corrispondente all'incremento sismico.

Perciò i risultati "sequenziali"

Fase 1, Fase 2, Fase 3, Sisma X+

Fase 1, Fase 2, Fase 3, Sisma Y+

Ma la fase con sisma *X*+ e quella con sisma *Y*+ non sono assolutamente legate fra di loro.



Secondo le Norme Vigenti non è necessario considerare per le paratie anche il sisma verticale. **PAC 3D** pertanto non lo considera. Il programma consente invece di mettere in conto l'inerzia delle masse strutturali (*Imposta Analisi Sismica – Menù Analisi*).

Questo viene fatto applicando un carico orizzontale in direzione del sisma considerato calcolato come $F=K_h*W_i$ dove K_h è il coefficiente di intensità sismico e W_i è il peso dell'elemento. Non si mette in conto la posizione del peso i-esimo in funzione dell'ordinata.

15.5 Analisi per fasi di scavo – Le NTC 2008 - 2018

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2008 – NTC2018) recependo quelle che sono le indicazioni degli Eurocodici impongono nel calcolo delle paratie l'Approccio 1.

L'Approccio 1 è costituito da due famiglie di combinazioni A1-M1 ed A2-M2. Nella combinazione 1 (A1-M1) si incrementano i carichi permanenti lasciando inalterati i parametri fisico-meccanici del terreno.

Nella combinazione 2 (A2-M2) si lasciano inalterati i carichi permanenti e vengono utilizzati parametri del terreno *c*' e ϕ' ridotti secondo opportuni coefficienti.

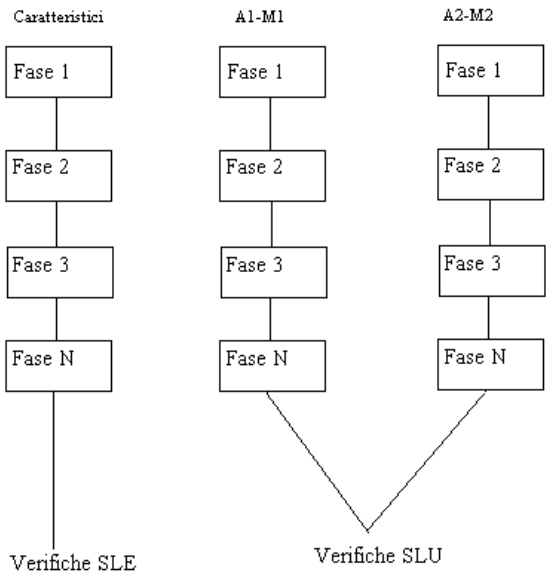
Si tratta di due calcoli completamente indipendenti fra di loro che confluiscono sono nelle fasi di verifica finali nel senso che la paratia deve essere verificata sia per la combinazione A1-M1 che per la combinazione A2-M2. Una analisi per fasi costruttive (fasi di scavo) mal si adatta a siffatto modo di procedere se non altro per la lungaggine dei calcoli.

Infatti una volta che l'Utente definisce n fasi di scavo tutta la sequenza va ripetuta 3 volte:

analisi con parametri caratteristici (carichi e proprietà del terreno)

analisi con i coefficienti della combinazione A1-M1 (carichi incrementati e proprietà del terreno inalterate)

analisi con i coefficienti della combinazione A2-M2 (carichi inalterati e proprietà del terreno ridotte).



Il calcolo con parametri caratteristici va effettuato per le verifiche di esercizio che sono richieste dalle Norme.

Se viene inserito il sisma ad ognuna delle sequenze verranno aggiunte in coda i calcoli sismici secondo quanto detta al paragrafo precedente.

Si suggerisce, vista la mole di calcoli, di avviare il calcolo solo con parametri caratteristici o, meglio ancora, con A2-M2 (in genere è la combinazione più gravosa) per il dimensionamento della paratia e di avviare alla fine il calcolo completo. Queste impostazioni sono possibili dalla voce *Opzioni Analisi Fasi* del menù Analisi.

Nella fase di visualizzazione dei risultati l'Utente ha modo di vedere i risultati in modo indipendente per le tre famiglie di calcoli oppure di vedere gli inviluppi per tutte le tre famiglie.

15.6 Il report di analisi di PAC 3D

Durante la fase di calcolo **PAC 3D** visualizza un report che comunica all'Utente le varie fasi del processo.
Il report all'inizio di ogni fase visualizza le seguenti informazioni:

Analisi per fasi di scavo ----> Start
Allocazione variabili analisi
Numero elementi 1470 Numero nodi 1471 Numero incognite 8826 Altezza SkyLine 420
Costruisci Carichi
Rigidezze terreno
Assemblaggio
Decomposizione Matrice 8826
Assembla Carichi

Queste riportano informazioni sulle fasi del calcolo (allocazione delle matrici, decomposizione, numero di incognite, etc.)
Per ogni passo dell'analisi vengono poi riportati
Il moltiplicatore dei carichi
Il numero di *loop* in cui si è raggiunto l'equilibrio nel passo .Ricordiamo che il calcolo viene svolto con una procedura incrementale (passo di carico) iterativa (all'interno del passo dobbiamo ottenere l'equilibrio fra i carichi applicati e la reazione strutturale)
Eps rappresenta la norma dell'energia al primo *loop* del passo moltiplicata per il quadrato della tolleranza desiderata (*Opzioni Analisi*)

$$Eps=Dot_0*TOLL^2$$

Dot rappresenta la norma dell'energia all'iterazione corrente.
L'equilibrio di passo si intende raggiunto quando è verificata la condizione

$$Dot<Eps$$

In dipendenza del metodo di calcolo selezionato (**Newton-Raphson, Newton_Raphson modificato, ALM**, etc.) il report può contenere altre informazioni. Riporta inoltre le informazioni sull'assemblaggio di fine passo e su eventuali riassemblaggi intermedi.
Quando si avvia un'analisi non lineare completa il report riporta passo per passo lo stato di fessurazione di elementi in c.a. oppure di raggiunto snervamento dei materiali, etc.
Osservando le informazioni stampate nel report l'Utente riesce in qualche modo a "vedere" quello che succede a livello della struttura. Ad esempio quando il numero di *loop* in un determinato passo di carico raggiungono un valore elevato significa che la convergenza è "difficile". Ad esempio, nelle analisi per fasi, quando iniziamo una nuova fase, il numero di *loop* maggiori lo abbiamo al primo passo di carico della fase corrente, dopo di che si è stabilizzano su valori più bassi.

Quando il programma ha problemi di convergenza esegue diverse volte il Riassemblaggio della matrice riportando i valori di Dot. Qualora questi non diminuiscono da un passo all'altro significa che ci sono problemi nel raggiungimento della convergenza.

Tramite la finestra del report è possibile **INTERROMPERE l'ANALISI** : per fare questo occorre richiamare mediante il tasto destro del mouse il menù della finestra e ciccare sulla voce Interrompi.

Quando viene eseguito il calcolo secondo le NTC2008 vengono generati tre report separati (Parametri caratteristici, A1-M1, A2-M2).

16 Stabilità globale

PAC 3D esegue una verifica di stabilità globale al centro di ogni tratto nell'ipotesi di deformazione piana. Al momento infatti non è possibile operare in tempi ragionevoli un'analisi di stabilità globale completamente tridimensionale.

Al centro di ogni tratto viene quindi ricostruita la stratigrafia in base ai dati di input. La resistenza offerta dai pali della paratia è valutata sommando il contributo di tutti i pali del tratto, e successivamente riportando la resistenza ad un metro di profondità, ed analizzando quindi la stabilità globale in condizioni piane.

PAC 3D mette a disposizione per tale verifica il metodo di **Fellenius** ed il metodo di **Bishop**. Entrambi i metodi usano la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare. Si determina il minimo coefficiente di sicurezza su una maglia di dimensioni **10x10** posta in prossimità della sommità della paratia.

Nel caso di paratie tirantate viene valutata l'influenza dei tiranti sulla stabilità del pendio. In particolare, si considera per ogni striscia l'aliquota di sforzo trasmessa dai tiranti e si scompone tale aliquota nelle due componenti normali e tangenziali alla base della striscia. Tali componenti entrano nelle espressioni dei coefficienti di sicurezza riportati nei paragrafi seguenti.

16.1 Metodo di Fellenius

Il coefficiente di sicurezza fornito da **Fellenius** si esprime secondo la seguente formula:

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{c_i\, b_i}{\cos\alpha_i} + [\,W_i \cos\alpha_i - \mathrm{u_i}\ \mathrm{l_i}\,]\, tg\,\phi_i\right)}{\sum_{i=1}^{n} W_i\ sin\,\alpha_i}$$

dove n è il numero delle strisce considerate, b_i ed α_i sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia i-esima rispetto all'orizzontale, Wi è il peso della striscia i-esima e c_i ed φi sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia.

Inoltre u_i ed l_i rappresentano la pressione neutra lungo la base della striscia e la lunghezza della base della striscia ($l_i = b_i/cos\ \alpha_i$).

Assunto un cerchio di tentativo lo si suddivide in n strisce e dalla formula precedente si ricava η. Questo procedimento viene eseguito per il numero di centri prefissato e viene assunto come coefficiente di sicurezza della scarpata il minimo dei coefficienti così determinati.

16.2 Metodo di Bishop

Il coefficiente di sicurezza si esprime mediante la relazione:

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left(\frac{b_i \, c_i + [\, W_i - \mathrm{u_i} \, \mathrm{b_i} \,] \; tg \, \phi_i}{m} \right)}{\sum_{i=1}^{n} W_i \sin \alpha_i}$$

$$\text{con} \qquad m = \left(1 + \frac{tg\alpha_i \;\; tg \, \phi_i}{\eta} \right) \cos \alpha_i$$

dove *n* è il numero delle strisce considerate, *bi* ed α_i sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia i-esima rispetto all'orizzontale, *Wi* è il peso della striscia i-esima, c_i e φ_i sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed u_i è la pressione neutra lungo la base della striscia.

L'espressione del coefficiente di sicurezza di **Bishop** contiene al secondo membro il termine *m* che è funzione di η e va risolta per successive approssimazioni, assumendo un valore iniziale per η da inserire nell'espressione di *m* ed iterare fino a quando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

17 Verifiche idrauliche

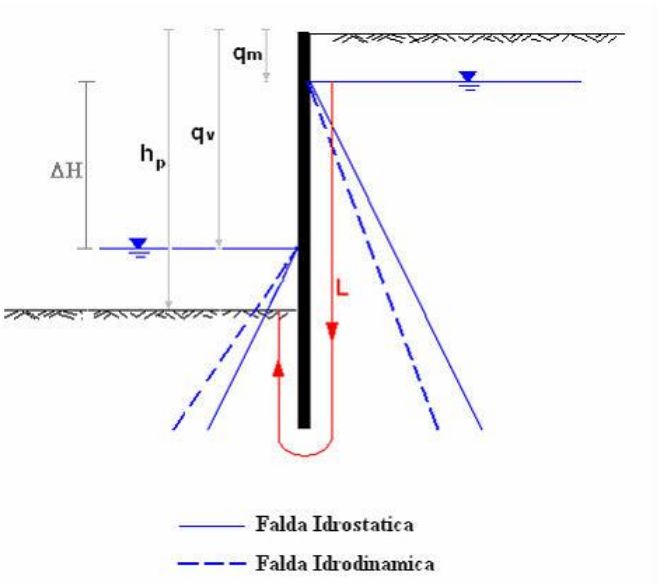
17.1 Verifica a sifonamento

La verifica a sifonamento viene condotta con il metodo del **gradiente idraulico critico**, nel punto di mezzo di ogni tratto definito. Nel metodo del gradiente idraulico critico il coefficiente di sicurezza nei confronti del sifonamento è dato dal rapporto tra il gradiente critico e il gradiente idraulico di efflusso .

Il gradiente idraulico critico è dato dal rapporto tra il peso efficace medio del terreno interessato da filtrazione ed il peso dell'acqua.

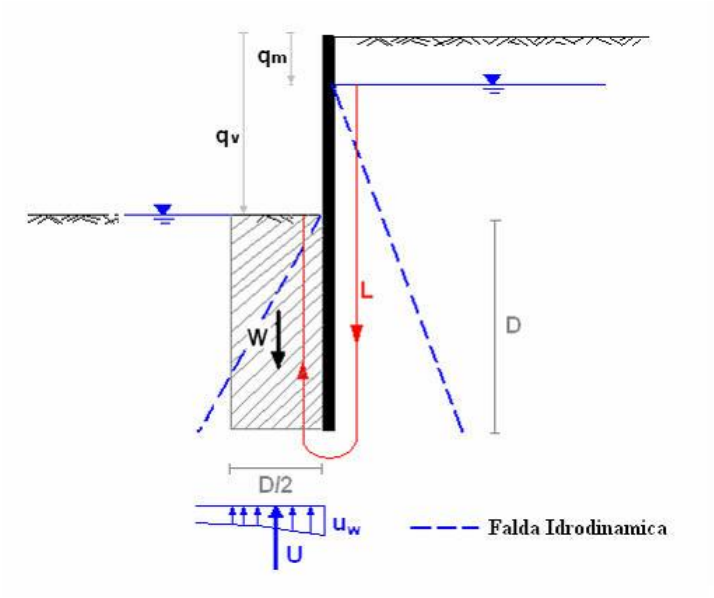
Il gradiente idraulico di efflusso è dato dal rapporto tra la differenza di carico e la lunghezza della linea di flusso *L*.

Il moto di filtrazione è assunto essere monodimensionale.



17.2 Verifica sollevamento fondo scavo

Il coefficiente di sicurezza richiesto per la verifica a sollevamento del fondo scavo a valle della paratia è valutato tramite il metodo di **Terzaghi**. Il coefficiente di sicurezza nei fenomeni di sollevamento del fondo scavo deriva da considerazioni di equilibrio verticale di una porzione di terreno a valle della paratia soggetta a tale fenomeno. Secondo **Terzaghi** il volume interessato da sollevamento ha profondità *D* e larghezza *D/2*, dove *D* rappresenta la profondità di infissione della paratia. Il coefficiente di sicurezza è dato dal rapporto tra il peso del volume di terreno sopra descritto e la pressione idrica al piede della paratia dovuta dalla presenza di una falda in moto idrodinamico.



La pressione idrodinamica è calcolata nell'ipotesi di filtrazione monodimensionale.

18 Analisi agli stati limite ultimi

Si definisce «stato limite» ogni stato di insufficienza della struttura, cioè ogni situazione a partire dalla quale la struttura, o una delle sue parti, cessa di assolvere la funzione alla quale era destinata e per la quale era stata progettata e costruita.

Gli stati limite ultimi sono legati alla massima capacità portante dell'opera; in altri termini il superamento di tali stati comporta la rovina della struttura.

La verifica di sicurezza di una struttura, condotta mediante il metodo semiprobabilistico agli stati limite ultimi, consiste nel confrontare le sollecitazioni di calcolo con quelle compatibili con lo stato limite ultimo. Il metodo semiprobabilistico prevede che per le azioni e le resistenze vengano utilizzati i loro valori caratteristici.

I valori di calcolo sono i valori da assumere nella progettazione delle strutture per coprire la probabilità di errore di esecuzione e di valutazione, nonché le approssimazioni e le imperfezioni dei metodi di calcolo.

Entriamo adesso nel merito degli stati limite per tensioni normali.

Gli stati limite per sollecitazioni, che generano tensioni normali, sono quelli derivanti dalle sollecitazioni di sforzo normale, flessione e presso o tenso-flessione.

La determinazione dello stato limite ultimo nella sezione di tali membrature viene condotta nelle ipotesi che:

- le sezioni rimangano piane fino a rottura; il diagramma delle deformazioni nella sezione si conserva rettilineo
- aderenza tra acciaio e calcestruzzo
- il calcestruzzo si considera non reagente a trazione.

Per il conglomerato si può assumere come legame costitutivo quello definito dal diagramma parabola-rettangolo del **C.E.B.** (*Comitato Europeo del Calcestruzzo*), considerando il materiale esclusivamente reagente per tensioni di compressione.

Esso è costituito da due rami: il primo, di tipo elasto-plastico, definito da un arco di parabola di secondo grado passante per l'origine, e con asse parallelo a quello delle ascisse; la tangente orizzontale, prolungata fino alla deformazione ultima, costituisce il secondo tratto rettilineo a comportamento perfettamente plastico a deformazione limitata.

Indicate con R^*_c la resistenza di calcolo, con ε_{ck} la deformazione in corrispondenza del punto di separazione tra il comportamento elasto-plastico e quello perfettamente plastico, e con ε_{cu} la deformazione ultima del conglomerato, il legame costitutivo risulta espresso dalle seguenti relazioni, considerando positive le deformazioni ε_c e le tensioni σ_c di compressione:

$$\sigma_c = \frac{2R^*_c}{\varepsilon_{ck}}\left(\varepsilon_c - \frac{\varepsilon_c^2}{2\varepsilon_{ck}}\right) \qquad \text{per } 0 \le \varepsilon_c \le \varepsilon_{ck}$$

$$\sigma_c = R^*_c \qquad \text{per } \varepsilon_{ck} < \varepsilon_c \le \varepsilon_{cu}$$

L'ordinata massima R^*_c è data da

$$R_c^* = \frac{0.85 \times 0.83 \times R_{bk}}{\gamma_c}$$

in cui R_{bk} è la resistenza caratteristica relativa a provini di forma cubica, **0.83** è un coefficiente riduttivo che consente il passaggio alla resistenza caratteristica cubica, **0.85** è un coefficiente riduttivo che tiene conto del possibile effetto esercitato sulla resistenza da una lunga durata del carico.

Per stati limite ultimi le normative attribuiscono al coefficiente γ_c il valore: $\gamma_c = 1.5$.

Per quanto riguarda l'acciaio viene considerato a comportamento elastico-perfettamente plastico a deformazione limitata sia a trazione che a compressione.

Indicate con f_{yk} la resistenza caratteristica di snervamento a trazione, ε_{syk} la deformazione di snervamento a trazione, ε_{su} la deformazione limite a trazione e con $R_s^* = f_{yk} / \gamma_s$ la resistenza di calcolo a trazione, il legame costitutivo risulta definito da una bilatera ottenuta dal diagramma caratteristico effettuando una «affinità» parallela alla tangente all'origine nel rapporto $1/\gamma_s$.

Per il coefficiente γ_s del materiale, le norme prescrivono:

$\gamma_s = 1.15$ per acciaio controllato in stabilimento;

$\gamma_s = 1.30$ per acciaio non controllato.

Per tutti i tipi di acciaio il modulo elastico all'origine si assume pari a:

$E_s = 2.100.000 \quad \text{Kg/cm}^2$

Il legame costitutivo (o diagramma di calcolo) risulta quindi definito dalle seguenti relazioni:

$\sigma_s = E_s \varepsilon_s \qquad \text{per} \quad 0 \le \varepsilon_s \le \varepsilon_{sy}$

$\sigma_s = R_s^* \qquad \text{per} \quad \varepsilon_{sy} < \varepsilon_s \le \varepsilon_{su}$

18.1 Diagramma M-N dello stato limite

Lo stato limite ultimo di una sezione in cemento armato a doppia armatura, sottoposta a sollecitazione composta di sforzo normale e flessione deviata, avviene con il raggiungimento dei valori della deformazione limite ultima nelle fibre più sollecitate dell'acciaio o del conglomerato, ovvero di entrambi i materiali.

La sezione tenso-pressoinflessa raggiunge lo stato limite ultimo con una delle 7 modalità seguenti:

- cedimento di entrambe le armature tese, in assenza di contributo alla resistenza del conglomerato sollecitato a trazione in tutta la sezione
- cedimento dell'armatura tesa inferiore con conglomerato compresso in campo elasto-plastico. Il conglomerato non attinge la resistenza ultima di calcolo
- cedimento dell'armatura tesa inferiore con conglomerato compresso in campo plastico. Il conglomerato ha raggiunto la resistenza di calcolo ma non la deformazione ultima
- cedimento del conglomerato compresso con acciaio teso in campo plastico
- cedimento del conglomerato compresso essendo l'acciaio teso in campo elastico
- cedimento del conglomerato con entrambe le armature compresse e asse neutro compreso fra le armature inferiori e le fibre inferiori della sezione
- sezione interamente compressa e schiacciamento del conglomerato. La situazione corrisponde al caso di solo sforzo normale.

Per una assegnata sezione è possibile determinare, in corrispondenza di un generico stato deformativo ultimo, la risultante e il momento risultante delle tensioni.

<u>Calcolo del fattore di sicurezza della sezione allo Stato Limite Ultimo</u>

Per una sezione soggetta a presso flessione deviata (M_z, M_y, N) si possono definire più fattori di sicurezza.

L'uscita del punto delle sollecitazioni (M_z, M_y, N) può avvenire in generale nei seguenti modi:

- per aumento proporzionale delle tre componenti di sollecitazione (M_z, M_y, N);
- per aumento contemporaneo di *N, Mz (My=cost)*
- per aumento contemporaneo di *N, My (Mz=cost)*
- per aumento della sola componente *N (Mz=cost, My=cost)*
- per aumento della sola componente del momento *My (N=cost, Mz=cost)*
- per aumento contemporaneo di *Mz, My (N=cost)*
- per l'aumento della sola componente *My (Ndcost, Mz=cost).*

18.2 Diagramma di calcolo tensione-deformazione del calcestruzzo

La relazione sforzo-deformazione per il calcestruzzo è di seguito riportata (diagramma parabola-rettangolo). Il vertice della parabola ha ascissa ε_{c2}, l'estremità del segmento ha ascissa ε_{cu2}. L'ordinata massima del diagramma è pari a f_{cd}.

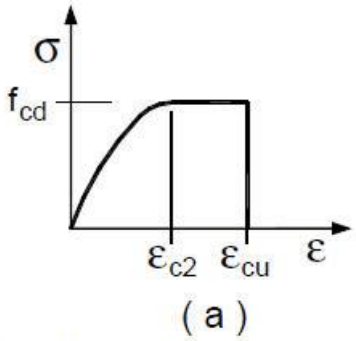


Figura 4.1.1 – *Modelli σ-ε per il calcestruzzo*

Classe di resistenza	**ε_{c2}**	**ε_{cu2}**
> C50/60	$\varepsilon_{c2} = 0.20\% + 0.0085\%(f_{ck} - 50)^{0.53}$	$\varepsilon_{cu} = 0.26\% + 3.5\%[(90 - f_{ck})/100]^4$
< C50/60	0.20 %	0.35 %

18.3 Diagramma di calcolo tensione-deformazione dell'acciaio. Fattore di incrudimento

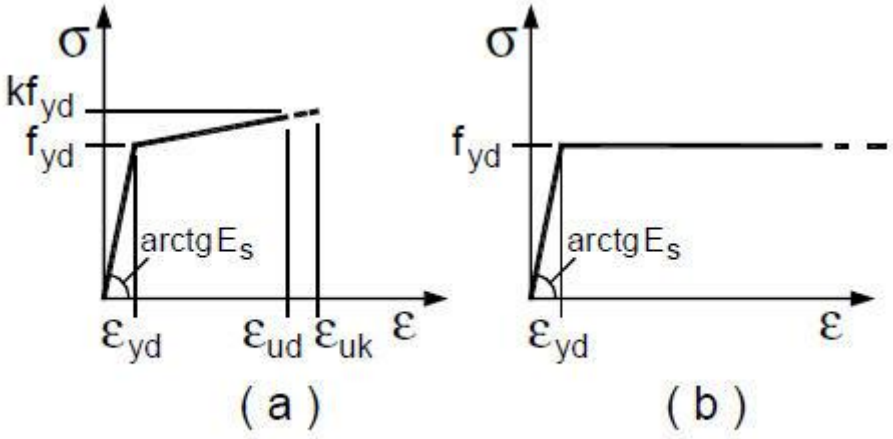


Figura 4.1.2– *Modelli σ-ε per l'acciaio*

La relazione tensione-deformazione per l'acciaio è di seguito riportata. (crf Testo Unico-Nuove Norme Tecniche sulle costruzioni).

f_{yk}: resistenza di calcolo dell'acciaio riferita alla tensione di snervamento $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$;

k: rapporto tra tensione caratteristica di picco e tensione caratteristica di snervamento $k = (f_t / f_y)_k$;

ε_{uk}: deformazione in corrispondenza del picco di tensione $\varepsilon_{uk} = (A_{gt})_k$;

ε_{ud}: deformazione ultima di progetto $\varepsilon_{ud} = 0.9\ \varepsilon_{uk}$.

18.4 Sollecitazioni Taglianti (D.M. Min. LL.PP. 9 Gennaio 1996)

4.2.2.3. Elementi con armature trasversali resistenti al taglio.

La resistenza allo sforzo di taglio dell'elemento fessurato si calcola schematizzando la trave come un traliccio ideale di cui quello di **Ritter - Morsch** rappresenta un modello semplificato. Gli elementi del traliccio resistenti a taglio sono le armature trasversali d'anima, funzionanti come aste di parete, e il conglomerato sia del corrente compresso che delle bielle d'anima.

Il traliccio è completato dall'armatura longitudinale.

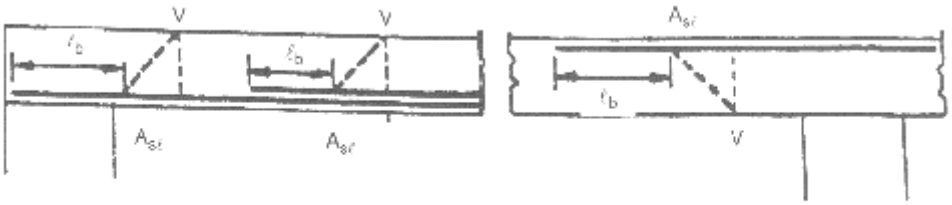


Fig. 3-I
per ℓ_b, lunghezza di ancoraggio, vedasi punto 5.3.3.

4.2.2.3.1. Verifica del conglomerato.

La verifica consiste nel confrontare il taglio di calcolo con una espressione cautelativa della resistenza a compressione delle bielle inclinate.

Nel caso in cui l'anima contenga barre pre - tese o cavi iniettati di diametro $\varnothing > b_w/8$, si dovrà assumere nel calcolo la larghezza nominale dell'anima:

$$b_{wn} = b_w - 1/2\,\Sigma\phi$$

dove $\Sigma\varnothing$ è calcolato al livello più sfavorevole.

Per la verifica del conglomerato compresso in direzione obliqua si potrà imporre:

$$V_{sdu} \leq 0.30\ f_{cd} \cdot b_w \cdot d$$

essendo f_{cd} la resistenza di calcolo a compressione. L'espressione del taglio resistente riportato corrisponde al caso in cui l'armatura trasversale è costituita da staffe ortogonali alla linea media *(α = 90°).* Se le staffe sono inclinate (45° $\leq \alpha <$ *90°) il* valore di calcolo del taglio resistente può essere assunto pari a:

$$0.3\ f_{cd} \cdot b_w \cdot d(1+\cot\alpha)$$

con limite superiore $0{,}45\ f_{cd} \cdot b_w \cdot d$.

Nel caso di barre rialzate la maggiorazione sopra indicata non è lecita.

4.2.2.3.2. Verifica dell'armatura trasversale d'anima.

Il taglio di calcolo deve risultare inferiore o al limite uguale alla somma della resistenza della armatura d'anima e del contributo degli altri elementi del traliccio ideale. Comunque la resistenza di calcolo dell'armatura d'anima deve risultare non inferiore alla metà del taglio di calcolo. L'armatura trasversale deve essere tale da verificare:

$$V_{sdu} \leq V_{cd} + V_{wd}$$

in cui:

$$V_{cd} = 0.60\, f_{ctd} \cdot b_w \cdot d \cdot \delta$$
$$V_{wd} = A_{sw} \cdot f_{ywd} \cdot \frac{0.90\, d}{s} (\sin\alpha + \cos\alpha)$$

In tali espressioni a è l'inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave, A_{sw} l'area dell'armatura trasversale posta all'interasse *s*, *δ* è un coefficiente che tiene conto della presenza di sforzo normale e che assume i valori:

δ = 1 se, in presenza di sforzo normale di trazione, l'asse neutro taglia la sezione;

δ = 0 se, in presenza di sforzo normale di trazione, l'asse neutro risulta esterno alla sezione;

$\delta = \left(1 + \frac{M_0}{M_{sdu}}\right)$ in presenza di sforzo di compressione, essendo M_o e M_{sdu} definiti precedentemente.

Per le barre rialzate resistenti a taglio è consigliabile limitare la tensione di calcolo a $0,8\, f_{ywd}$

Particolare attenzione deve essere rivolta al dimensionamento di elementi sottoposti ad azioni di fatica per i quali può verificarsi la necessità che la resistenza di taglio di calcolo debba essere interamente affidata all'armatura d'anima.

4.2.2.3.3. Verifica dell'armatura longitudinale.

La verifica comporta la traslazione del diagramma del momento flettente lungo l'asse longitudinale nel verso che dà luogo ad un aumento del valore assoluto del momento flettente.

In altri termini, l'armatura longitudinale deve essere dimensionata per resistere al momento sollecitante M_{sdu} *(V)* pari a:

$$M_{sdu}(V) = M_{sdu} + V_{sdu} \cdot a_1$$

con:

$$a_1 = 0.9\, d(1 - \cot\alpha)$$
$$a_1 \geq 0.2\, d$$

La lunghezza di ancoraggio delle barre deve essere computata a partire dal diagramma del momento M_{sdu} traslato della quantità *a.*

Le verifiche di cui al precedente capoverso ed ai punti 4.2.2.3.1. e 4.2.2.3.2. sono relative ad una inclinazione delle bielle d'anima pari a 45°.

Richiami teorici sulla verifica con il metodo Stati Limite di Esercizio (D.M. Min. LL.PP. 9 Gennaio 1996)

4.3.1. Stato limite di fessurazione.

4.3.1.1. Finalità.

Per assicurare la funzionalità e la durata delle strutture è necessario:

- prefissare uno stato limite di fessurazione adeguato alle condizioni ambientali e di sollecitazione nonché alla sensibilità delle armature alla corrosione
- realizzare un sufficiente ricoprimento delle armature con calcestruzzo di buone qualità e compattezza
- tenere conto delle esigenze estetiche.

4.3.1.2. Definizione degli stati limite di fessurazione.

In ordine di severità decrescente si distinguono i seguenti stati limite:

- stato limite di decompressione nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, la tensione normale nella fibra considerata è pari a zero
- stato limite di formazione delle fessure, nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, la tensione normale di trazione nella fibra considerata è uguale al frattile inferiore della resistenza a trazione oppure:

$$f_{ctk} = 0,7\ f_{ctm} \qquad f_{cfk} = 0,7\ f_{cfm}$$

- stato limite di apertura delle fessure nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, il valore caratteristico di apertura della fessura calcolato al livello considerato è pari al valore nominale prefissato.

I valori nominali ai quali si riferiscono le successive prescrizioni sono:

w_1 = 0,1 mm	w_2 = 0,2 mm	w_3 = 0,4 mm

4.3.1.3. Combinazioni di azioni.

Si prendono in considerazione le seguenti combinazioni (Cfr. 4.0.1.):

- azioni quasi permanenti
- azioni frequenti
- azioni rare.

4.3.1.4. Condizioni ambientali.

Si individuano i seguenti ambienti in cui può trovarsi la struttura:

- poco aggressivo, caratterizzato da umidità relativa non elevata o da umidità relativa elevata per brevi periodi
- moderatamente aggressivo, caratterizzato da elevata umidità relativa in assenza di vapori corrosivi
- molto aggressivo, caratterizzato da presenza di liquidi o di aeriformi particolarmente corrosivi.

4.3.1.5. Sensibilità delle armature alla corrosione.

Le armature si distinguono in due gruppi:

- armature sensibili
- armature poco sensibili.

Appartengono al primo gruppo gli acciai temprati, non rinvenuti, di qualunque diametro e gli acciai incruditi a freddo soggetti a tensioni permanenti - superiori a 390 N/mm^2.

Appartengono al secondo gruppo le altre armature e quelle adeguatamente protette.

Nel caso della precompressione parziale, i due gruppi di armature sono, in generale, entrambi presenti (sezione ad armatura mista).

4.3.1.6. Scelta degli stati limite di fessurazione.

Nel prospetto **7-I** sono indicati i criteri di scelta dello stato limite con riferimento alle esigenze sopra riportate.

PROSPETTO 7-I

Gruppi di esigenze	Condizioni ambiente	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_k	Stato limite	w_k
a	Poco aggressivo	Frequente	Apertura fessure	$\leq w_2$	Apertura fessure	$\leq w_3$
		Quasi permanente	Decompressione o Apertura fessure	$\leq w_1$	Apertura fessure	$\leq w_2$
b	Moderatamente aggressivo	Frequente	Apertura fessure	$\leq w_1$	Apertura fessure	$\leq w_2$
		Quasi permanente	Decompressione	---	Apertura fessure	$\leq w_1$
c	Molto aggressivo	Rara	Apertura Fessure e formazione fessure	$\leq w_1$	Apertura fessure	$\leq w_2$
		Frequente	Decompressione	---	Apertura fessure	$\leq w_1$

w_k è definito al punto 4.3.1.7.1.3. w_1, w_2, w_3 sono definiti al punto 4.2.4.2.

4.3.1.7. Verifiche allo stato limite di fessurazione.

4.3.1.7.1. Verifiche allo stato limite per sollecitazioni che provocano tensioni normali.

4.3.1.7.1.3. Stato limite di apertura delle fessure.

La zona di efficacia dell'armatura è legata alle condizioni di lavoro dell'elemento strutturale ed alla sua conformazione. Il valore caratteristico di apertura delle fessure nella zona di efficacia delle armature non deve superare il valore prefissato al punto 4.3.1.6.

Il valore caratteristico di calcolo è dato da:

$w_k = 1{,}7\ w_m$

in cui w_m che rappresenta il valore medio dell'apertura calcolata in base alla deformazione media ε_{sm} del tratto S_{rm} pari alla distanza media fra le fessure, sia:

$w_m = \varepsilon_{sm} \cdot S_{rm}$

I criteri indicati si applicano anche al calcolo delle aperture delle fessure provocate da stati di coazione ed alla verifica delle condizioni di fessurazione dell'anima delle travi alte.

Circolare Min. LL.PP. 15 Ottobre 1996 n. 252 AA.GG./S.T.C.

<u>Calcolo area efficace</u>

L'area efficace $A_{c.eff}$ è l'area di calcestruzzo entro la quale la barra di acciaio può effettivamente influenzare l'apertura della fessura. Si può ritenere, per una singola barra, che l'area efficace abbia forma circolare con diametro pari a 14 volte il diametro della barra. Applicando tale concetto ai casi usuali di sezioni inflesse e tese si può porre $A_{c.eff} = b_{eff} \bullet d_{eff}$ in cui i valori da attribuire a b_{eff} ed a d_{eff} sono indicati nella figura in seguito riportata.

Il valore w_k calcolato si riferisce all'apertura della fessura misurata sulla superficie del calcestruzzo all'interno dell'area di efficacia dell'armatura; al di fuori di tale area le fessure possono allargarsi, e la loro ammissibilità dipende dalle esigenze estetiche. Se tali più ampie fessure non sono ammissibili, occorre predisporre ulteriori armature.

In assenza di dati più precisi i parametri S_{rm} e ε_{sm} che definiscono W_m e W_k possono valutarsi come segue, nell'ipotesi che le armature siano distribuite uniformemente sull'area efficace della sezione trasversale.

a) La distanza media fra le fessure per la condizione di fessurazione stabilizzata in corrispondenza del livello baricentrico dell'armatura all'interno dell'area efficace è data da:

$$S_{rm} = 2\left(c + \frac{s}{10}\right) + k_2\ k_3\ \frac{\phi}{\rho_r}$$

in cui:

C = ricoprimento dell'armatura

S = distanza fra le barre; se *S* > 14 Φ si adotterà *S* = 14 Φ

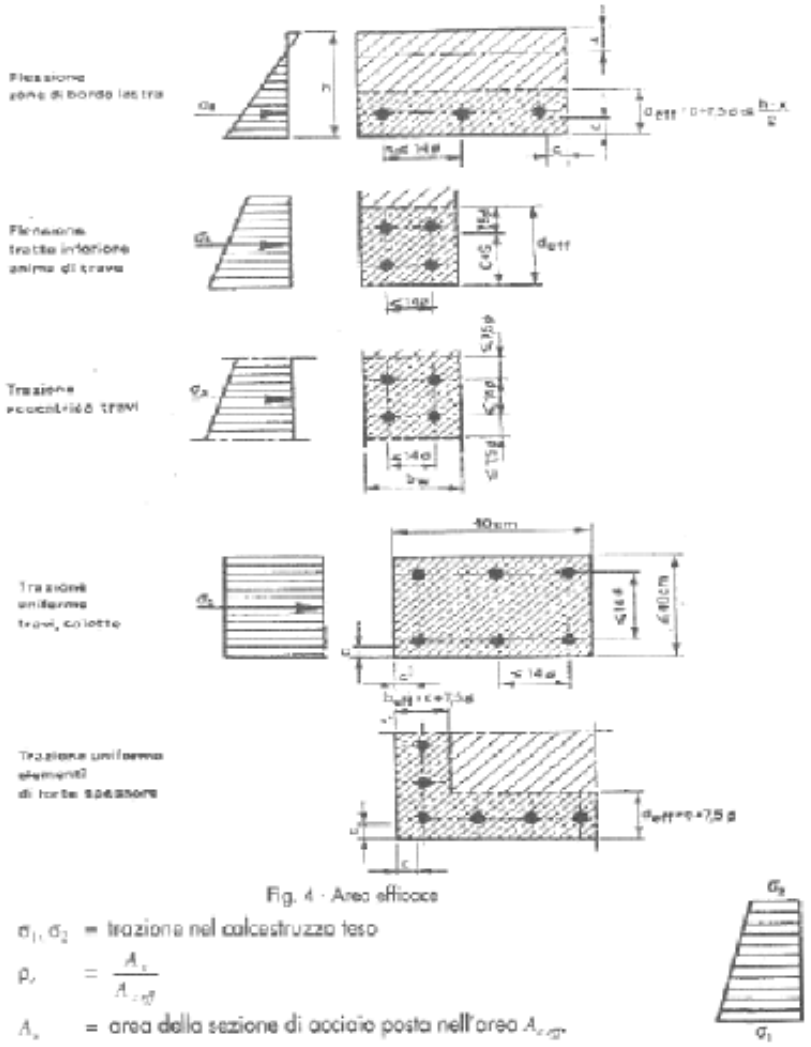
Φ = diametro della barra

k_2 = coefficiente che caratterizza l'aderenza del calcestruzzo alla barra e al quale si assegnano i seguenti valori:

0,4 per barre ad aderenza migliorata	0,8 per barre lisce

k_3 = coefficiente che tiene conto della forma del diagramma delle tensioni prima della fessurazione in base al seguente prospetto:

- 0,125 nel caso di diagramma triangolare di flessione o presso flessione;
- 0,250 nel caso di trazione pura;
- $0.25\,\frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2\,\sigma_1}$ nel caso di trazione eccentrica o nel caso in cui si consideri una sola parte della sezione.



b) La deformazione unitaria media dell'armatura ε_{sm} può valutarsi secondo la seguente espressione che tiene conto della collaborazione del calcestruzzo teso che la circonda:

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s}{E_s}\left[1 - \beta_1\,\beta_2\left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s}\right)^2\right]$$

$$\varepsilon_{sm} \geq 0.4\,\frac{\sigma_s}{E_s}$$

in cui:

σ_s = tensione dell'acciaio calcolata nella sezione fessurata per la combinazione di azioni considerata

σ_{sr} = tensione nell'acciaio calcolata nella sezione fessurata per la sollecitazione corrispondente al raggiungimento della resistenza a trazione f_{ctm} nella fibra di calcestruzzo più sollecitata in sezione interamente reagente, compresa nell'area efficace;

β_1 = coefficiente rappresentativo dell'aderenza acciaio calcestruzzo che assume i valori:

1,0 nel caso di barre ad aderenza migliorata

0,5 nel caso di barre lisce

β_2 = coefficiente che tiene conto delle condizioni di sollecitazione:

- 1,0 nel caso della prima applicazione di una azione di breve durata;

- 0,5 nel caso di azioni di lunga durata o nel caso di azioni ripetute.

Il diagramma della deformazione ε_{sm} in funzione della tensione σ_s è riportato in figura 5.

Le relazioni precedenti S_{rm} e ε_{sm} possono essere usate per calcolare l'ampiezza delle fessure anche prima della stabilizzazione della fessurazione.

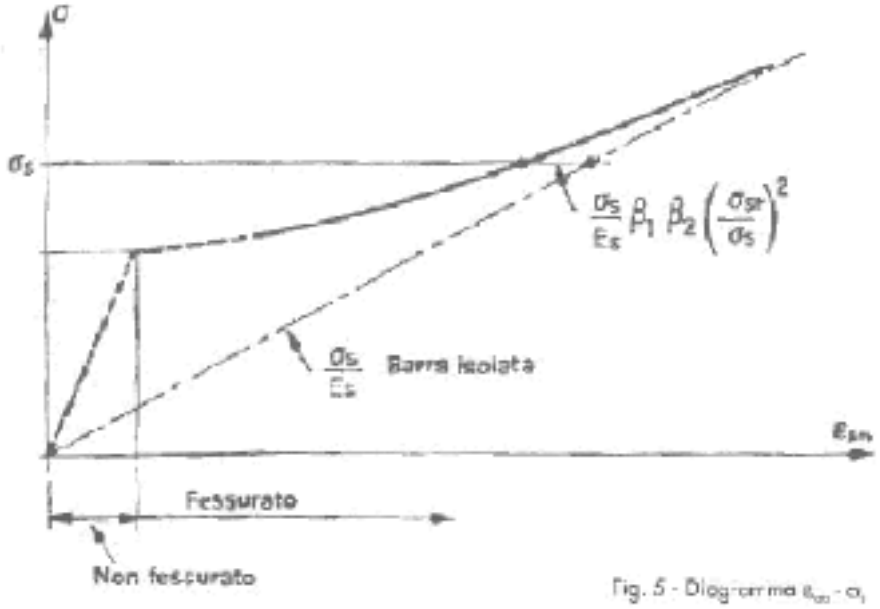


Fig. 5 - Diagramma ε_{sm} - σ_s

4.3.2. Stato limite delle tensioni di esercizio.

1) Cemento armato normale.

Tensioni di compressione del calcestruzzo.

Per le strutture o parti di strutture esposte ad ambiente aggressivo, gruppo c del Prospetto 7-I, devono essere rispettati i seguenti limiti per le. tensioni di compressione nel calcestruzzo:

- per combinazioni di carico rara: $0,50\ f_{ck}$
- per combinazioni di carico quasi permanente: $0,40\ f_{ck}$.

Particolare attenzione nella limitazione delle tensioni in esercizio va rivolta ai casi in cui si riconosca l'esistenza di una particolare incertezza del modello strutturale adottato e/o quando sussista una significativa alternanza delle sollecitazioni in esercizio nella stessa sezione, anche se le strutture sono riferite ai gruppi *a* o *b* del Prospetto 7-I.

Particolare attenzione si deve porre nella limitazione delle tensioni in esercizio per sollecitazione di presso-flessione con prevalenza di sforzo normale per la conseguente limitata duttilità.

Per le strutture o parti di strutture esposte ad ambiente dei gruppi a, b del Prospetto 7-I, devono essere rispettati i seguenti limiti per le tensioni di compressione nel calcestruzzo:

- per combinazione di carico rara: 0,60 *fck*;
- per combinazione di carico quasi permanente: 0,45 *fck*. Tensioni di trazione nell'acciaio.

Per le armature ordinarie la massima tensione di trazione sotto la combinazione di carichi rara non deve superare $0,70\ f_{yk}$

4.3.2.1. Metodi per il calcolo delle tensioni.

Nel calcolo delle tensioni è necessario considerare, se nel caso, oltre agli effetti dei carichi anche quelli delle variazioni termiche, della viscosità, del ritiro, e delle deformazioni imposte aventi altre origini.

Le tensioni debbono essere calcolate adottando le proprietà geometriche della sezione corrispondente alla condizione non fessurata oppure a quella completamente fessurata, a seconda dei casi.

Deve, di regola, essere assunto lo stato fessurato se la massima tensione di trazione nel calcestruzzo calcolata in sezione non fessurata sotto la combinazione di carico rara supera $f_{ctm.}$

Quando si adotta una sezione non fessurata, si considera attiva l'intera sezione di calcestruzzo, e si considerano in campo elastico sia a trazione che a compressione il calcestruzzo e l'acciaio.

Quando si adotta la sezione fessurata, il calcestruzzo può essere considerato elastico in compressione, ma incapace di sostenere alcuna trazione (nel calcolo delle tensioni secondo le presenti regole non va di norma tenuto conto - nelle verifiche locali - dell'effetto irrigidente del calcestruzzo teso dopo fessurazione).

In via semplificativa si può assumere il comportamento elastico - lineare e per le armature il coefficiente di omogeneizzazione con il valore convenzionale n = 15.

Richiami teorici sulla verifica con il metodo Stati Limite di Esercizio (D.M. 14 Gennaio 2008)

4.1.2.2 Verifica agli stati limite di esercizio

4.1.2.2.1 Generalità

Si devono effettuare le seguenti verifiche:

- verifiche di deformabilità
- verifiche di vibrazione
- verifiche di fessurazione
- verifiche delle tensioni di esercizio
- verifiche a fatica per quanto riguarda eventuali danni che possano compromettere la durabilità per le quali sono definite le regole specifiche nei punti seguenti.

4.1.2.2.4 Verifica di fessurazione

Per assicurare la funzionalità e la durata delle strutture è necessario:

- realizzare un sufficiente ricoprimento delle armature con calcestruzzo di buona qualità e compattezza, bassa porosità e bassa permeabilità
- non superare uno stato limite di fessurazione adeguato alle condizioni ambientali, alle sollecitazioni ed alla sensibilità delle armature alla corrosione
- tener conto delle esigenze estetiche.

4.1.2.2.4.1 Definizione degli stati limite di fessurazione

In ordine di severità decrescente si distinguono i seguenti stati limite:

- stato limite di decompressione nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, la tensione normale è ovunque di compressione ed al più uguale a 0
- stato limite di formazione delle fessure, nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, la tensione normale di trazione nella fibra più sollecitata è:

$$\sigma_t = \frac{1.2}{f_{ctm}}$$ dove f_{ctm} è definito nel § 11.2.10.2;

- stato limite di apertura delle fessure, nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, il valore limite di apertura della fessura calcolato al livello considerato è pari ad uno dei seguenti valori nominali:

w1 = 0,2 mm	w2 = 0,3 mm	w3 = 0,4 mm

Lo stato limite di fessurazione deve essere fissato in funzione delle condizioni ambientali e della sensibilità delle armature alla corrosione, come descritto nel seguito.

4.1.2.2.4.2 Combinazioni di azioni

Si prendono in considerazione le seguenti combinazioni:

- combinazioni quasi permanenti

- combinazioni frequenti.

4.1.2.2.4.3 Condizioni ambientali

Le condizioni ambientali, ai fini della protezione contro la corrosione delle armature metalliche, possono essere suddivise in ordinarie, aggressive e molto aggressive in relazione a quanto indicato nella Tab. 4.1.III con riferimento alle classi di esposizione definite nelle Linee Guida per il calcestruzzo strutturale emesse dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Tabella 4.1.III – *Descrizione delle condizioni ambientali*

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

4.1.2.2.4.4 Sensibilità delle armature alla corrosione

Le armature si distinguono in due gruppi:

- armature sensibili
- armature poco sensibili.

Appartengono al primo gruppo gli acciai da precompresso.

Appartengono al secondo gruppo gli acciai ordinari.

Per gli acciai zincati e per quelli inossidabili si può tener conto della loro minor sensibilità alla corrosione.

4.1.2.2.4.5 Scelta degli stati limite di fessurazione

Nella Tab. 4.1.IV sono indicati i criteri di scelta dello stato limite di fessurazione con riferimento alle esigenze sopra riportate.

Tabella 4.1.IV – *Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione*

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_d	Stato limite	w_d
a	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
c	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

4.1.2.2.4.6 Verifica allo stato limite di fessurazione

Stato limite di decompressione e di formazione delle fessure

Le tensioni sono calcolate in base alle caratteristiche geometriche e meccaniche della sezione omogeneizzata non fessurata.

Stato limite di apertura delle fessure

Il valore di calcolo di apertura delle fessure (wd) non deve superare i valori nominali *w1, w2, w3* secondo quanto riportato nella Tab. 4.1.IV.

Il valore di calcolo è dato da:

$$wd = 1{,}7\ wm$$

dove w_m, rappresenta l'ampiezza media delle fessure.

L'ampiezza media delle fessure w_m è calcolata come prodotto della deformazione media delle barre d'armatura ε_{sm} per la distanza media tra le fessure Δ_{sm}:

$$w_m = \varepsilon_{sm}\ \Delta_{sm}$$

Per il calcolo di ε_{sm} e Δ_{sm} vanno utilizzati criteri consolidati riportati nella letteratura tecnica.

La verifica dell'ampiezza di fessurazione può anche essere condotta senza calcolo diretto, limitando la tensione di trazione nell'armatura, valutata nella sezione parzializzata per la combinazione di carico pertinente, ad un massimo correlato al diametro delle barre ed alla loro spaziatura.

4.1.2.2.5 Verifica delle tensioni di esercizio

Valutate le azioni interne nelle varie parti della struttura, dovute alle combinazioni caratteristica e quasi permanente delle azioni, si calcolano le massime tensioni sia nel calcestruzzo sia nelle armature; si deve verificare che tali tensioni siano inferiori ai massimi valori consentiti di seguito riportati.

4.1.2.2.5.1 Tensione massima di compressione del calcestruzzo nelle condizioni di esercizio

La massima tensione di compressione del calcestruzzo σ_c, deve rispettare la limitazione seguente:

- $\sigma_c < 0{,}60\ fck$ per combinazione caratteristica (rara)
- $\sigma_c < 0{,}45\ fck$ per combinazione quasi permanente.

Nel caso di elementi piani (solette, pareti, …) gettati in opera con calcestruzzi ordinari e con spessori di calcestruzzo minori di 50 mm i valori limite sopra scritti vanno ridotti del 20%.

4.1.2.2.5.2 Tensione massima dell'acciaio in condizioni di esercizio

Per l'acciaio avente caratteristiche corrispondenti a quanto indicato al Cap. 11 della norma, la tensione massima, σ_s, per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_s < 0{,}8\ fyk.$$

18.5 Sollecitazioni Taglianti (D.M. 14 Gennaio 2008 – D.M. 17 Gennaio 2018)

Elementi con armature trasversali resistenti al taglio – Metodo dell'inclinazione variabile del traliccio

La resistenza a taglio V_{Rd} di elementi strutturali dotati di specifica armatura a taglio deve essere valutata sulla base di una adeguata schematizzazione a traliccio. Gli elementi resistenti dell'ideale traliccio sono: le armature trasversali, le armature longitudinali, il corrente compresso di calcestruzzo e i puntoni d'anima inclinati. L'inclinazione θ dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave deve rispettare i limiti seguenti:

$$1 \leq ctg\ \theta \leq 2{,}5$$

La verifica di resistenza (SLU) si pone con

$$V_{Rd} \geq V_{Ed}$$

dove V_{Ed} è il valore di calcolo dello sforzo di taglio agente.

Con riferimento all'armatura trasversale**,** la resistenza di calcolo a "taglio trazione" si calcola con:

$$V_{Rsd} = 0.9d\frac{A_{sw}}{s} f_{yd}(ctg\alpha + ctg\theta)\sin\alpha$$

Con riferimento al calcestruzzo d'anima**,** la resistenza di calcolo a "taglio compressione" si calcola con

$$V_{Rcd} = 0.9b_w d\alpha_c f'_{cd}(ctg\alpha + ctg\theta)/(1 + ctg^2\theta)$$

La resistenza al taglio della trave è la minore delle due sopra definite:

$$V_{Rd} = \min(V_{Rcsd}, V_{Rcd})$$

dove

d è l'altezza utile della sezione (in mm);

$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c$ è la tensione media di compressione nella sezione (≤ 0,2 fcd);

b_w è la larghezza minima della sezione(in mm).

A_{sw} area dell'armatura trasversale;

s interasse tra due armature trasversali consecutive;

α angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave;

f'_{cd} resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima ($f'_{cd} = 0.5 f_{cd}$);

α_c coefficiente maggiorativo pari a

1	per membrature non compresse
1 + σ_{cp}/f_{cd}	per 0 ≤ σ_{cp} < 0,25 f_{cd}
1,25	per 0,25 f_{cd} ≤ σ_{cp} ≤ 0,5 f_{cd}
2,5(1 - σ_{cp}/f_{cd})	per 0,5 f_{cd} < σ_{cp} < f_{cd}

NTC2008

"In presenza di significativo sforzo assiale, ad esempio conseguente alla precompressione, si dovrà aggiungere la limitazione:

$$ctg\theta_I \leq ctg\theta$$

dove θ_I è l'angolo di inclinazione della prima fessurazione ricavato da $ctg\theta_I = \tau / \sigma_I$ mentre τ e σ_I sono rispettivamente la tensione tangenziale e la tensione principale di trazione sulla corda baricentrica della sezione, intesa interamente reagente."

Le armature longitudinali, dimensionate in base alle sollecitazioni flessionali, dovranno essere prolungate di una misura pari a:

$$a_l = 0.9d(ctg\theta - ctg\alpha)/2 \geq 0)$$

4.1.2.1.4 Resistenza nei confronti di sollecitazioni torcenti

Qualora l'equilibrio statico di una struttura dipenda dalla resistenza torsionale degli elementi che la compongono, è necessario condurre la verifica di resistenza nei riguardi delle sollecitazioni torcenti.

Qualora, invece, in strutture iperstatiche, la torsione insorga solo per esigenze di congruenza e la sicurezza della struttura non dipenda dalla resistenza torsionale, non sarà generalmente necessario condurre le verifiche.

La verifica di resistenza (SLU) consiste nel controllare che

$$T_{Rd} > T_{Ed} \qquad (4.1.26)$$

dove T_{Ed} è il valore di calcolo del momento torcente agente.

Per elementi prismatici sottoposti a torsione semplice o combinata con altre sollecitazioni, che abbiano sezione piena o cava, lo schema resistente è costituito da un traliccio periferico in cui gli sforzi di trazione sono affidati alle armature longitudinali e trasversali ivi contenute e gli sforzi di compressione sono affidati alle bielle di calcestruzzo.

Con riferimento al calcestruzzo la resistenza si calcola con

$$TRcd = 2\,At\, f'_{cd}\, ctg\theta / (1 + ctg^2_\theta)$$

dove *t* è lo spessore della sezione cava; per sezioni piene *t* = *Ac/u* dove *Ac* è l'area della sezione ed *u* è il suo perimetro; *t* deve essere assunta comunque ≥ 2 volte la distanza fra il bordo e il centro dell'armatura longitudinale.

Le armature longitudinali e trasversali del traliccio resistente devono essere poste entro lo spessore *t* del profilo periferico. Le barre longitudinali possono essere distribuite lungo detto profilo, ma comunque una barra deve essere presente su tutti i suoi spigoli.

Con riferimento alle staffe trasversali la resistenza si calcola con

$$T_{Rsd} = 2\,A(A_s / s)\, f_{yd}\, ctg\theta$$

Con riferimento all'armatura longitudinale la resistenza si calcola con

$$T_{Rld} = 2\,A(\sum A_l / u_m)\, f_{yd} / ctg\theta$$

dove si è posto:

A area racchiusa dalla fibra media del profilo periferico;

As area delle staffe;

u_m perimetro medio del nucleo resistente

s passo delle staffe;

$\sum A_l$ area complessiva delle barre longitudinali.

L'inclinazione θ delle bielle compresse di calcestruzzo rispetto all'asse della trave deve rispettare i limiti seguenti

$$0{,}4 \leq ctg\ \theta \leq 2{,}5 \qquad (4.1.30)$$

Entro questi limiti, nel caso di torsione pura, può porsi $ctg\theta = (a_l / a_s)^{1/2}$ con:

$a_l = \sum A_l / u_m$

$a_s = A_s / s$

La resistenza alla torsione della trave è la minore delle tre sopra definite:

$$T_{Rd} = \min(T_{Rcd}, T_{Rsd}, T_{Rld})$$

Nel caso di elementi per i quali lo schema resistente di traliccio periferico non sia applicabile, quali gli elementi a pareti sottili a sezione aperta, dovranno utilizzarsi metodi di calcolo fondati su ipotesi teoriche e risultati sperimentali chiaramente comprovati.

Sollecitazioni composte

a) Torsione, flessione e sforzo normale

Le armature longitudinali calcolate, come sopra indicato per la resistenza nei riguardi della sollecitazione torcente, devono essere aggiunte a quelle calcolate nei riguardi delle verifiche per flessione.

Si applicano inoltre le seguenti regole:

- nella zona tesa all'armatura longitudinale richiesta dalla sollecitazione di flessione e sforzo normale, deve essere aggiunta l'armatura richiesta dalla torsione;
- nella zona compressa, se la tensione di trazione dovuta alla torsione è minore della tensione di compressione nel calcestruzzo dovuta alla flessione e allo sforzo normale, non è necessaria armatura longitudinale aggiuntiva per torsione.

b) Torsione e taglio

Per quanto riguarda la crisi lato calcestruzzo, la resistenza massima di una membratura soggetta a torsione e taglio è limitata dalla resistenza delle bielle compresse di calcestruzzo. Per non eccedere tale resistenza deve essere soddisfatta la seguente condizione:

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rcd}} + \frac{V_{Ed}}{V_{Rcd}} \leq 1$$

I calcoli per il progetto delle staffe possono effettuarsi separatamente per la torsione e per il taglio, sommando o sottraendo su ogni lato le aree richieste sulla base del verso delle relative tensioni.

Per l'angolo θ delle bielle compresse di conglomerato cementizio deve essere assunto un unico valore per le due verifiche di taglio e torsione.

19 Bibliografia

Terzaghi K. & Peck R.B. (1967) - Soil Mechanics in Engineering Practice. John Wiley & Sons.

Poulos H.G. & Davis E.H. (1980) - Pile Foundation Analisis and Design. John Wiley & Sons.

Bowles, J.E. (1988) - Foundation Analysis and Design. McGraw-Hill.

Lancellotta R. (1987) - Geotecnica. Zanichelli, Bologna.

Cestelli Guidi C. (1973) - Meccanica del terreno, fondazioni, opere in terra. Hoepli.

EUROCODICE 1 – Basi di calcolo ed azioni sulle strutture.

EUROCODICE 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo.

EUROCODICE 7 – Progettazione geotecnica.

EUROCODICE 8 – Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture.

Gregory P. Tschebotarioff, Foundations, retaining and earth structures, McGRAW-HILL, 1973

David M.Potts and Lidija Zdravkovic – Finite element analisys in geotechnical engineering – Thomas Telford, 1999

Robert D. Cook, David S. Malkus, Michael E. Plesha, Robert J.Witt – Concept and applications of finite element analysis – Wiley, 2002

Klaus-Jürgen Bathe – Finite Element Procedures – Prentice Hall, 1996

Thomas J.R. Hughes – The Finite Element Method – Linear Static and Dynamic Finite Element Analysis – Dover Publications, 2000

I.M.Smith, D.V.Griffiths – Programming the Finite Element Method – Wiley, 2004

Eugenio Onate – Cálculo de Estructuras por el Método de Elementos Finitos – CIMNE, 1995

M.A.Crisfield – Finite Element and Solution Procedures for Structural Analysis – Linear Analysis – Pineridge Press, 1986

M.A.Crisfield – Non-linear Finite Element Analysis of Solid and Structures, Vol 1, Vol 2 – Wiley, 2003

M.Kojić, K.J.Bathe – Inelastic Analysis of Solid and Structures – Springer, 2005

O.C. Zienkiewicz, R.L. Taylor – The Finite Element Method For Solid and Structural Mechanics 6 th edition – Elsevier Butterworth Heinemann, 2005

Y.C Fung & Pin Tong – Classical and Computational Solid Mechanics

Malerba, P.G., Analisi limite e non lineare di strutture in calcestruzzo armato – CISM, 1998

Aztec Informatica s.r.l.

Il Software per l'Ingegneria Geotecnica e Strutturale

Corso Umberto I, 43 - 87059 Casali del Manco – Loc. Casole Bruzio (CS)

Tel. (0984)432617, 438325 - Fax (0984)432617

e-mail aztec@aztec.it

WEB www.aztec.it