



## PAC 3D

### Il nuovo modellatore tridimensionale per la progettazione di paratie

#### Premessa

Il calcolo delle paratie viene generalmente condotto nell'ipotesi di deformazione piana, supponendo che l'opera abbia andamento rettilineo in pianta e distribuzione uniforme sia degli elementi strutturali (pali, tiranti, ect.) sia delle caratteristiche dei terreni. Nei casi reali di progettazione queste ipotesi molto spesso non sono verificate, pertanto l'ipotesi di deformazione piana risulta poco realistica. Con il modello innovativo di **PAC 3D** molte limitazioni vengono superate ed è possibile calcolare opere di sostegno complesse tramite un modello maggiormente aderente alla realtà. Le tante opzioni messe a disposizione dell'utente rendono il software estremamente flessibile e capace di modellare i casi più generici di elementi strutturali parzialmente interagenti con terreni spingenti.

#### Tipologia delle opere

Con **PAC 3D** è possibile progettare paratie di forma generica, con geometria in pianta a **C**, ad **L** o con andamento curvilineo. Possono essere modellate sia paratie aperte che chiuse in pianta, valutando il comportamento tridimensionale dell'opera.

Il calcolo può essere condotto definendo per passi le diverse **fasi costruttive** dell'opera, verificandone in ogni fase spostamenti e sollecitazioni.

In **PAC 3D** può essere modellato il **cordolo** nel modo più generico, variandone la quota o la sezione. Possono essere modellate paratie di pali o micropali, sia verticali che inclinati a cavalletto. I **pali** possono essere eventualmente gestiti su più file, restando in ogni caso la possibilità di intervenire sulle caratteristiche del singolo palo, anche modificandone la lunghezza, la sezione, la posizione, le caratteristiche di vincolo o le opzioni di armatura.

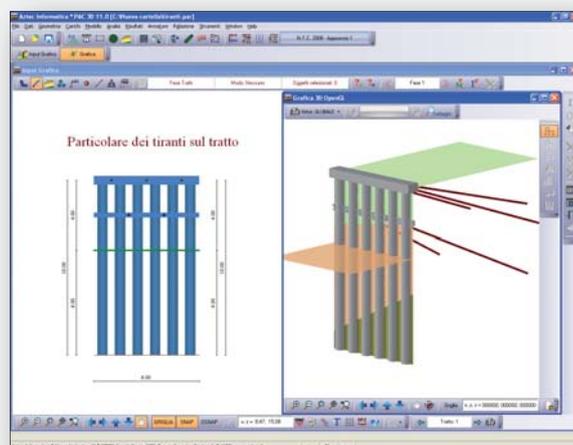
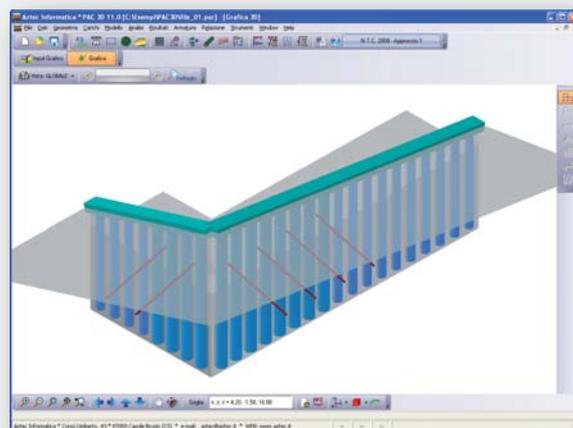
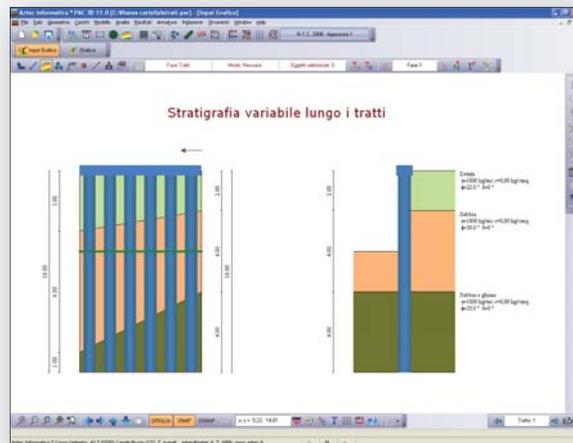
Il modello tiene conto in automatico di eventuali eccentricità dovute a disposizioni non centrate dei pali sul cordolo. In tali casi infatti vengono automaticamente costruiti dei link rigidi.

La stessa libertà di gestione si ha anche con gli elementi **tiranti** e **puntoni**. Essi possono essere modificati agevolmente per fila, o intervenendo sulle caratteristiche del singolo elemento, modificandone caratteristiche geometriche e meccaniche. Sulla stessa opera è possibile far lavorare sia tiranti attivi che passivi.

#### Input dei dati

Nella fase di input la paratia viene **definita per tratti** lineari, caratterizzando ogni tratto mediante altezza fuori terra ed altezza interrata. Su ogni tratto è possibile definire una distribuzione di tiranti, una propria **stratigrafia** ed un profilo del terreno a monte ed a valle dell'opera. Su ogni tratto è inoltre possibile definire la presenza della **falda** con quote anche differenziate a valle ed a monte. Le quote dei cordoli e l'altezza fuori terra possono avere variazioni lineari all'interno di ogni tratto, così come l'altezza degli strati ed il livello di falda.

L'inserimento di tratti di paratia e di cordoli intermedi può avvenire sia graficamente che numericamente, inserendo le coordinate in forma tabellare. Sono inoltre presenti delle funzioni di generazione automatica che rendono più agevole l'inserimento della geometria. La selezione e la modifica degli elementi può avvenire nelle viste grafiche o da tabella. Tutte le modifiche apportate sono immediatamente visualizzate anche nel rendering 3D della paratia.





Le caratteristiche dei **materiali** possono essere specificate per ogni singolo elemento. Per elementi in c.a. può essere specificato il modello non-lineare del materiale, può in ogni caso essere definito un materiale di tipo acciaio o di tipo generico, fornendo le caratteristiche di rigidità e di resistenza.

Le **sezioni** da utilizzare nel modello possono essere personalizzate all'interno dell'archivio e successivamente attribuite ai singoli elementi. Le sezioni di comune utilizzo sono parametrizzate, altrimenti è possibile importare sezioni da DXF o da un archivio di profili integrato nel software. Ogni singolo palo ed ogni cordolo possono avere caratteristiche differenziate sia a livello di sezione che di materiale.

**PAC 3D** prevede l'inserimento di **carichi** concentrati o distribuiti in posizione generica a monte della paratia, nonché carichi distribuiti a valle.

Definendo il macro-modello (tratti, pali, cordoli, ...) viene generato il corrispondente **modello filiforme** (nodi e aste) su cui viene successivamente operata l'analisi strutturale. L'utente ha la libertà di intervenire anche a livello del modello filiforme, prima dell'analisi, inserendo o eliminando nodi, aste, carichi, vincoli rigidi o elastici, travi alla Winkler. **PAC 3D** fornisce quindi tutti gli strumenti per modellare le situazioni più generali, pur garantendo un input rapido nei casi ordinari.

L'input dei dati può essere impostato per **fasi**, descrivendo ad ogni passo temporale la condizione di lavoro della paratia. In ogni fase è possibile **inserire o eliminare elementi** nel modello tridimensionale: ad esempio è possibile creare dei contrasti a collegamento di paratie diverse, o eventualmente eliminare porzioni di pali in una fase intermedia.

Da una fase all'altra è possibile modificare anche le caratteristiche del terreno, per tenere conto di eventuali interventi finalizzati ad incrementare i parametri di resistenza del terreno. Anche i carichi possono essere definiti fase per fase, simulando l'attivazione e la successiva rimozione di più condizioni di carico in tempi diversi.

L'analisi della paratia può avvenire quindi per fasi, verificando l'opera in tutti i passaggi costruttivi, o anche per combinazioni di carico, combinando le diverse condizioni tramite i coefficienti previsti da normativa. E' possibile anche lavorare secondo una modalità mista, definendo prima le fasi costruttive dell'opera e successivamente, a partire da una certa fase in poi, impostando delle combinazioni di calcolo.

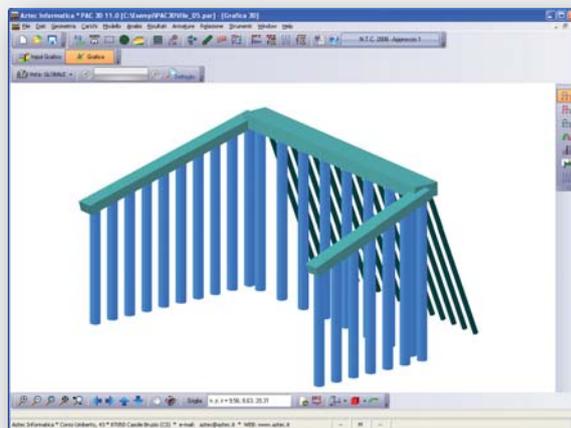
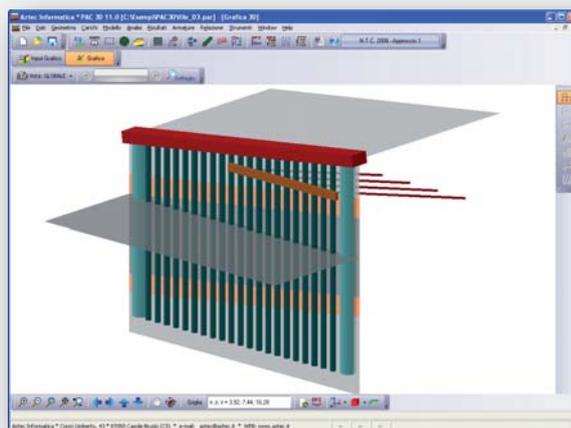
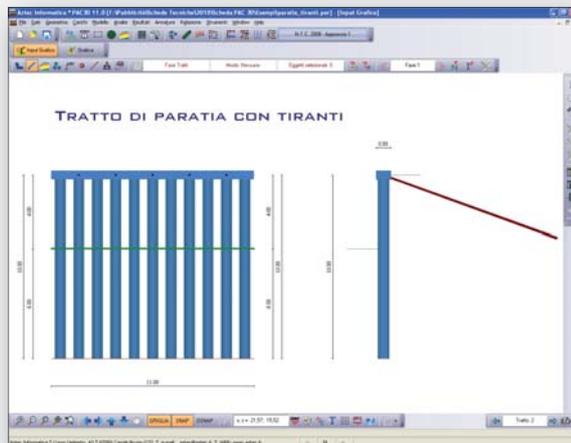
Il sistema orizzontale agisce secondo le direzioni significative dell'opera e viene proiettato su ogni singolo tratto in base alla sua geometria in pianta. L'analisi sismica è condotta secondo le Norme Tecniche 2008, calcolando l'azione sismica a partire dai parametri sismici  $ag$ ,  $F_0$  e  $TC^*$ , funzione delle coordinate topografiche del sito.

### Il modello

Nel modello implementato in **PAC 3D** il terreno viene modellato "alla Winkler" come una serie di **molle non-lineari** di caratteristiche note, mentre l'opera di sostegno è costituita da elementi trave. Alle molle viene associata una rigidità ed un comportamento non lineare di tipo elastoplastico perfetto o elastoplastico incrudente.

La costante di rigidità degli elementi molla che modellano l'interazione con il terreno può essere differenziata strato per strato, con valori differenti a valle ed a monte. Eventualmente la costante può essere valutata tramite una legge binomia.

La paratia viene vista come un **telaio tridimensionale**, parzialmente immerso nel terreno. Eventuali tiranti e puntoni possono avere inclinazione qualsiasi nello spazio e sono modellati mediante elementi aste. Anche per la paratia è possibile adottare un modello non-lineare prevedendo quindi la formazione di **cerniere plastiche** sui pali e sui cordoli.





Le spinte e le resistenze vengono calcolate su ogni singolo palo, mediante il metodo di Coulomb. Il modello è quindi "pseudotridentimensionale" perché le spinte vengono valutate tramite una serie di calcoli in deformazione piana mentre la struttura paratia è vista nella sua tridimensionalità.

L'effetto di eventuali sovraccarichi posti a monte della paratia viene messo in conto mediante la formula di Boussinesq.

In corrispondenza delle diverse ascisse locali di ogni singolo palo vengono valutati gli incrementi di pressione dovuti ai carichi e vengono successivamente sommati alle pressioni di spinta del terreno.

### Nuove possibilità di analisi

Grazie all'analisi tridimensionale è possibile cogliere dei fenomeni essenziali che vengono solitamente trascurati nel calcolo a deformazione piana. Ad esempio è possibile valutare le **sollecitazioni sui cordoli** e valutare come la **rigidezza** degli stessi influisca sulla distribuzione delle sollecitazioni sui pali. E' possibile inoltre indagare il comportamento reale della paratia nel caso di **rottura di un palo** o di un elemento di vincolo. In **PAC 3D** è possibile cogliere il comportamento della paratia tra due tiranti successivi o ancora cogliere l'effetto di vincolo offerto dalle pareti laterali in una paratia con pianta a **C**. Anche nel caso di due o più file di pali è significativo valutare il comportamento differente delle file e gli effetti di una configurazione geometrica rispetto ad un'altra. Si ha quindi tutta la potenza di un calcolo tridimensionale, ma con tempi di analisi molto contenuti rispetto a modelli di interazione paratia-terreno tramite elementi finiti 3D.

Particolarmente flessibile è anche la **gestione delle armature** che prevede un editore pre-analisi con la possibilità di modellare i ferri in 3D. L'armatura inserita prima dell'analisi consente di valutare il comportamento non-lineare di ogni sezione. A valle dell'analisi vengono poi restituite le verifiche e le distinte di armatura sugli elementi.

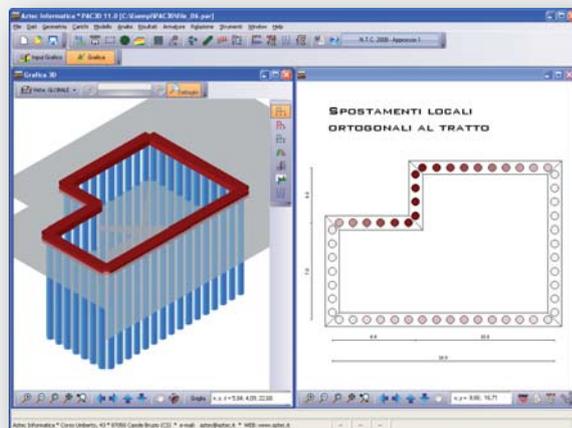
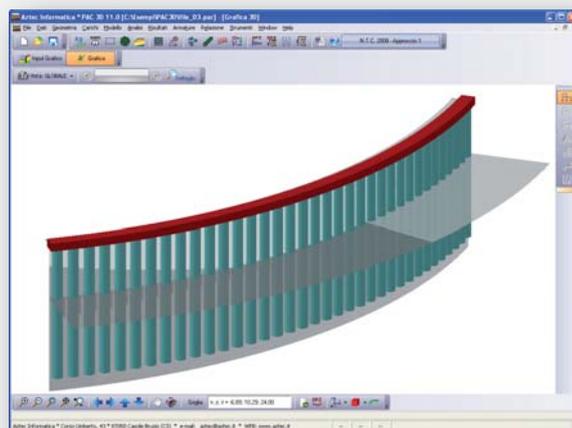
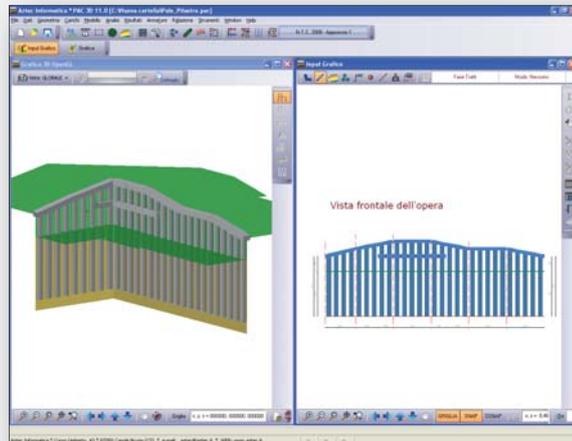
### Opzioni di analisi

Il calcolo viene eseguito con le consuete tecniche dell'**analisi non lineare al passo**, quali Newton-Raphson, Newton-Raphson modificato, Arc-Length Method. Le metodologie di analisi sono due:

a) **metodo tradizionale**. Impostando tale metodo il programma determina la spinta attiva agente sulla struttura e la resistenza passiva limite in corrispondenza di ogni molla che rappresenta il terreno. L'analisi viene condotta incrementando il carico (spinta attiva) e verificando i criteri di rottura delle molle. Il collasso viene raggiunto quando si forma un meccanismo (molle plasticizzate che non garantiscono ulteriormente l'equilibrio al successivo incremento di carico).

b) **metodo  $K_0$**  (metodo della spinta a riposo iniziale). Impostando tale metodo le molle sono soggette ad una pressione in situ iniziale (pressione verticale  $\sigma_v$  e pressione orizzontale  $K_0 \times \sigma_v$  con  $K_0$  coefficiente di spinta a riposo). Il modello prevede la definizione di un diagramma forza spostamento per il terreno e la rimozione graduale del terreno antistante la paratia. La rimozione del terreno provoca lo squilibrio ed innesca il processo iterativo fino al raggiungimento di un nuovo punto di equilibrio. Il processo viene portato avanti fino al raggiungimento della linea di fondo scavo.

Il comportamento non-lineare dell'opera può essere gestito secondo quattro modalità opzionali: 1) calcolo completamente elastico lineare (**elastica**); 2) calcolo con non-linearità limitata al solo terreno (**paratia elastica**); 3) calcolo con terreno non-lineare e gestione semplificata della non-linearità della sezione di paratia (**non lineare semplificata**);





# Aztec Informatica®

## Il Software per l'Ingegneria Geotecnica e Strutturale

4) calcolo con non-linearità completa sul terreno e sugli elementi della paratia (**non lineare**).

La **direzione di spinta** è naturalmente ortogonale ad ogni tratto. All'utente viene lasciata in ogni caso la possibilità di specificare una direzione di spinta prevalente.

Le spinte e le resistenze sulla paratia vengono stimate da **PAC 3D** palo per palo in base alla geometria e all'interasse. L'utente ha comunque la possibilità di intervenire sulla distribuzione delle pressioni tramite delle opzioni.

La verifica di stabilità globale e le verifiche idrauliche vengono eseguite separatamente su ogni tratto nell'ipotesi di analisi piana. L'analisi di stabilità può essere operata con i metodi classici di Fellenius o di Bishop.

L'analisi può essere condotta utilizzando i valori caratteristici definiti per i carichi e per i parametri di resistenza del terreno. E' possibile in ogni caso utilizzare i coefficienti A1-M1 e A2-M2 previsti dall'Approccio 1 delle Norme Tecniche 2008.

### Output

Una volta terminata l'analisi, **PAC 3D** restituisce i diagrammi degli spostamenti, delle pressioni del terreno e i diagrammi delle sollecitazioni su tutti gli elementi strutturali. Vengono inoltre restituiti dei **risultati globali** per ogni tratto di paratia: spostamento massimo, sollecitazioni massime, verifiche idrauliche, verifica di stabilità globale.

Tramite delle mappe a colori è possibile visualizzare in pianta, su ogni singolo palo, le caratteristiche di sollecitazione, di spostamento o di armatura.

Per paratie in c.a. (pali o setti in c.a.) viene effettuato il progetto o la verifica delle **armature**. In questo caso viene restituita negli elaborati del programma anche la distinta delle armature, su ogni singolo elemento (palo, cordolo, ...) ed il computo dettagliato dei materiali.

Nel caso siano presenti dei **tiranti** di ancoraggio o dei **puntoni** viene valutato lo sforzo su ogni singolo elemento. Sui tiranti è possibile eseguire un progetto della lunghezza di fondazione o lavorare in modalità di verifica.

Tutti i disegni possono essere esportati in DXF o come formato immagine. Tutti i diagrammi di output sono interrogabili dall'utente mediante il mouse.

La relazione di calcolo viene fornita in formato RTF.

### Utility

Il programma è corredato da manuale elettronico ed help in linea sensibile al contesto. Sono inoltre attivi corsi live sul web finalizzati all'utilizzo e all'apprendimento del software tenuti direttamente dai tecnici Aztec.

## Aztec Informatica s.r.l.

Corso Umberto I, 43

87050 Casole Bruzio (CS)

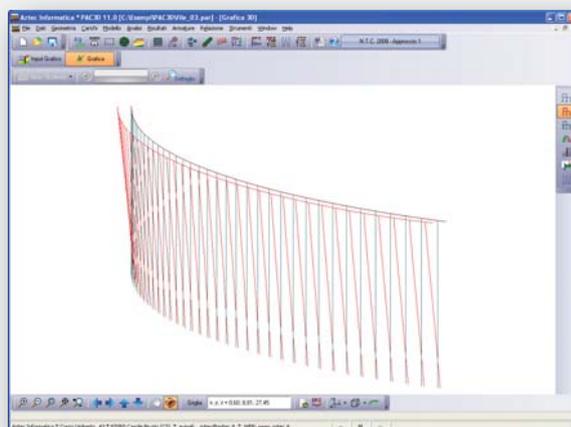
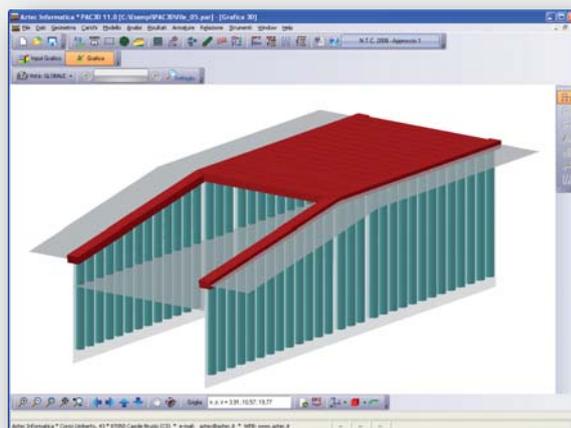
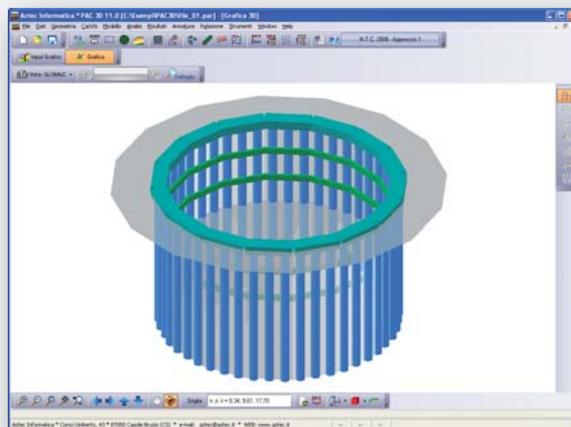
Tel. +39.0984.432617 - +39.0984.438325

Fax +39.0984.432617

web: [www.aztec.it](http://www.aztec.it)

e-mail: [aztec@aztec.it](mailto:aztec@aztec.it)

Le informazioni contenute nella presente scheda tecnica possono essere soggette a modifica senza preavviso e non rappresentano un impegno da parte della **Aztec Informatica s.r.l.**



### Opere di sostegno

MAX - Muri di Sostegno

PAC - Paratie

SCAT - Strutture Scatolari

TEA - Terre Armate

### Strutture

ASTRO - Telai e Travi Continue

CAPS - Precompresso

SAX - Progetto e Verifica Sezioni

RAF - Resistenza al fuoco

### Fondazioni

API++ Full - Platee, Plinti e Graticci

CARL - Carico Limite e Cedimenti

### Stabilità globale

STAP - Stabilità Pendii Terreni e Rocce

AZTEC ROCK - Caduta Massi

LAN - Liquefazione terreni

### Modelli avanzati

PAC 3D - Paratie 3D

AZTEC FEM

Tutti i nostri software sono aggiornati alle NTC 2008