



SUITE COMPLETA PER L'ANALISI
NON LINEARE AGLI ELEMENTI FINITI DI
OPERE DI SOSTEGNO

◆ **Muri in c.a.**

*mensola, semigravità, gravità, prefabbricati,
ad asse spezzato*

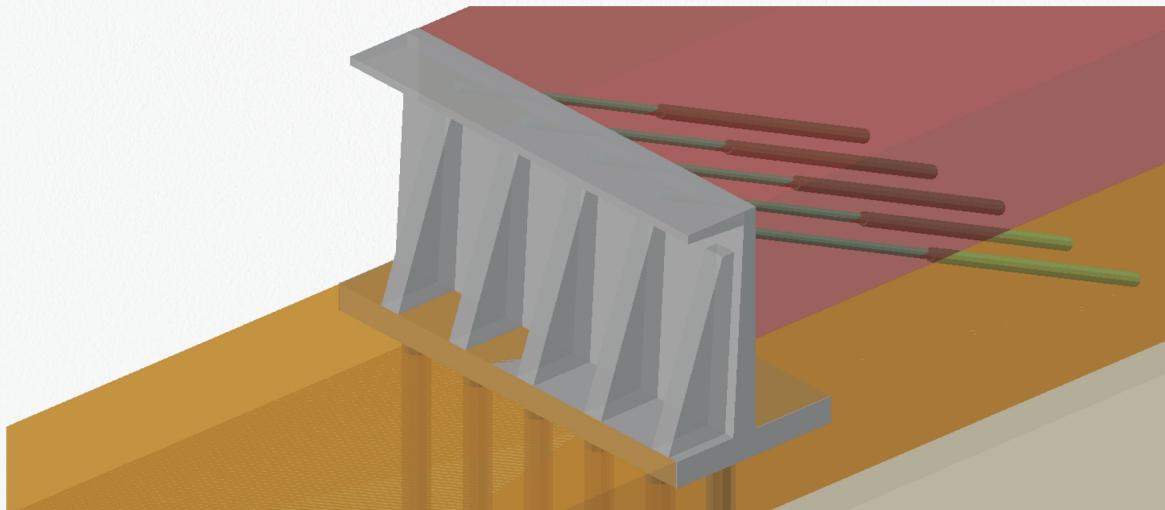
◆ **Muri in pietrame**

gabbionate, gravità o blocchi

◆ **Muri in terra rinforzata**

◆ **Elementi speciali**

*pali, micropali e denti di fondazione, tiranti,
puntoni e mensole di elevazione*





STACEC Srl

S.S. 106, 51/A

89034 Bovalino (RC)

Tel. 0964.67211 - 0964.311526 - 392.9624505

www.stacec.com

stacec@stacec.com

AZIENDA CERTIFICATA DA CERTIQUALITY

UNI EN ISO 9001:2015 - SISTEMA DI GESTIONE PER LA QUALITA' - N. 8679
CERTIFICATO **IQNET** N. 39140





indice

Configurazioni	4
La Suite Muri Next	5
I modelli di calcolo	6
Le tipologie di analisi	7
Le verifiche	10

CONFIGURAZIONI

SUITE COMPLETA

Muri a mensola in calcestruzzo, c.a. e pietrame, a gravità e semigravità.
In elevazione è possibile inserire mensole a monte e a valle, nonché contrafforti interni o esterni.
La fondazione può essere inclinata e con dente.

Moduli accessori opzionali:

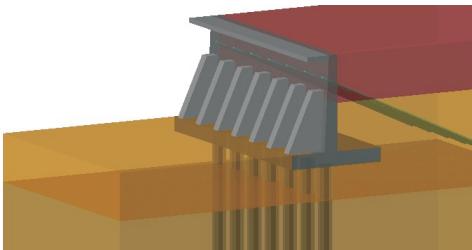
- ◆ M01 - Muri prefabbricati
- ◆ M02 - Muri a gabbioni
- ◆ M03 – Terre rinforzate
- ◆ M04 – Verifiche muri esistenti
- ◆ M05 – Muri a tratti ad asse spezzato variabile
- ◆ M06 – FEM idraulico
- ◆ M07 – FEM al continuo
- ◆ M08 – Analisi al collasso
- ◆ M09 – Pali e micropali
- ◆ M10 – Tiranti e vincoli
- ◆ M11 – Fasi costruttive
- ◆ M12 – Piano di manutenzione

STRUTTURE MISTE

Muri a gabbioni e terre rinforzate con fondazione in c.a. inclinata e dente.

Moduli accessori opzionali:

- ◆ M04 – Verifiche muri esistenti
- ◆ M06 – FEM idraulico
- ◆ M07 – FEM al continuo
- ◆ M09 – Pali e micropali
- ◆ M10 – Tiranti e vincoli
- ◆ M11 – Fasi costruttive
- ◆ M12 – Piano di manutenzione

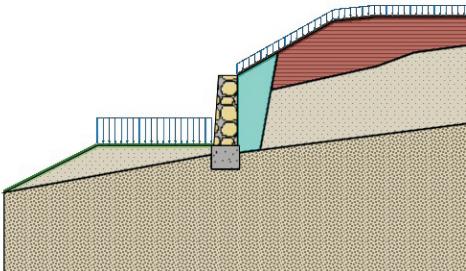


LA SUITE MURI Next

La suite *MURI Next* è un ambiente integrato "modellazione-analisi-progettazione-verifica" che permette di calcolare varie tipologie di opere di sostegno, con diverse metodologie di calcolo e verifica.

Le tipologie supportate dal software sono:

- ◆ Muri in c.a.: Mensola, Semigravità (muri a debole armatura), Gravità (muri in cls) e Muri a tratti con asse spezzato variabile;
- ◆ Muri prefabbricati in cls armato;
- ◆ Muri in pietrame: Gabbionate, Gravita;
- ◆ Muri in terra rinforzata.
- ◆ Muri a gravità e semigravità misti (fondazione in c. a. e muro in pietrame, fondazione in c. a. e muro in cls non armato)

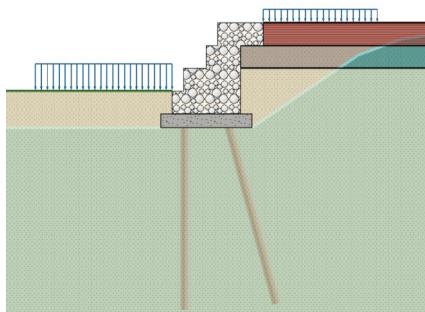


Modello di muro con fondazione in c.a. e muro in pietrame

Le fondazioni dei muri possono essere:

- ◆ Superficiali in c.a. con geometria variabile, inclinazione del piano di posa e presenza di dentello in posizione variabile ;
- ◆ Profonde: con pali (trivellati, battuti ad elica continua), micropali in una o più file anche inclinati.

Le fondazioni in c.a. con pali/micropali possono essere utilizzate in tutte le tipologie, anche gabbionate o terre rinforzate.

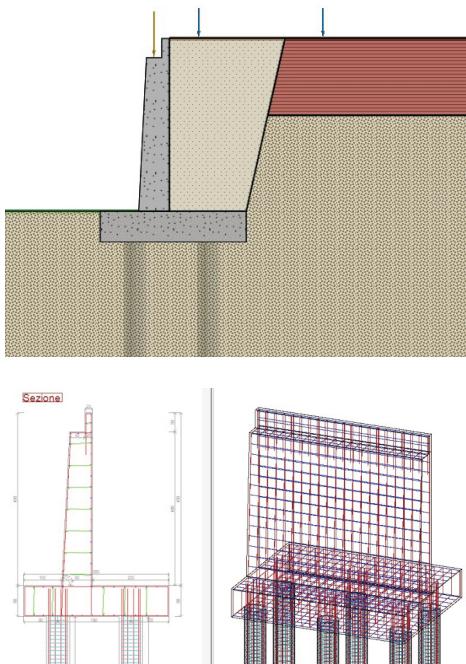


Modello di muro a gabbioni con fondazione mista

Le opzioni di input, sulle tipologie di muri a gabbioni (muri a gradoni) e terre rinforzate consentono di escludere la presenza della fondazione in c.a. Per le tipologie ad asse spezzato ed a gradoni, ogni livello (concreto/blocco) oltre ad essere personalizzato geometricamente, potrà essere allineato a monte, a valle, centrato o definito con allineamento libero e sfasamento rispetto ai conci limitrofi.

L'elevazione dei muri in c.a. e prefabbricati può essere variabile negli spessori di testa e piede e con inclinazione di valle e di monte.

In particolare i muri a tratti con asse spezzato in c.a. o cls sono del tutto generici e permettono di seguire qualsiasi andamento del piano compagna e inclinazione interna del paramento.



Modello di muro in c.a. con Sezione e 3D armature

L'elevazione del muro può avere elementi aggiuntivi quali:

- ◆ Mensole di monte e valle in numero qualsiasi funzione della geometria;
- ◆ Contrafforti interni o esterni;
- ◆ Tiranti attivi e/o passivi anche gestiti per fasi di realizzazione;
- ◆ Vincoli elastici, elastoplastici o unilateri per modellare effetti 3D, puntoni o condizioni al contorno tipici dei muri di cantina.

I tiranti possono essere applicati anche alle tipologie a gabbioni e terre rinforzate.

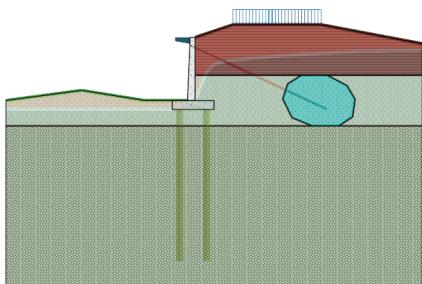
Tutte le tipologie di muri in c.a. e cls, consentono di differenziare e personalizzare i materiali dei vari elementi di fondazione ed elevazione.

In particolare i muri in c.a., a gravità (in c.a a debole armatura) ed a tratti con asse spezzato variabile, permettono di personalizzare sia il materiale cls, che il tipo e la quantità di armatura per c.a. ad ogni elemento/ concio della struttura.

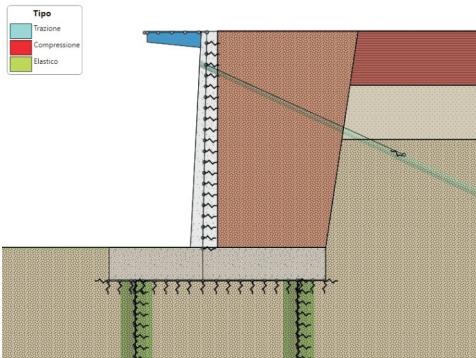
Questa funzione rende più facili, eventuali interventi su opere di sostegno esistenti oltre a consentire la personalizzazione dettagliata dei materiali ed il posizionamento delle armature per ogni concio delle opere di sostegno di nuova realizzazione.

I MODELLI DI CALCOLO

I modelli di calcolo sono del tipo *Non-Linear Winkler Foundation* (con leggi differenziate), interagenti con elementi *beam* o *truss* (per tiranti e terre rinforzate). Gli elementi *beam* possono essere lineari o con cerniere plastiche concentrate a pressoflessione e taglio.



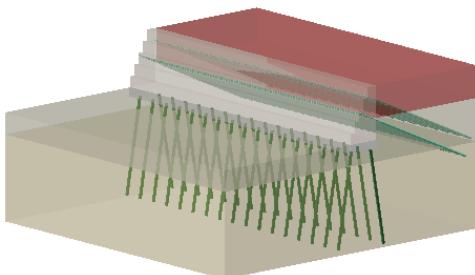
Modello di muro con profilo irregolare, inclusioni e carichi



Modello di calcolo e risultati analisi globale FEM
con stato delle molle non lineari

I truss sono a controllo di resistenza di tipo fragile tramite i meccanismi resistenti dei tiranti o delle armature per terre rinforzate. Per la **modellazione geotecnica** il software può gestire:

- ◆ profili del p.c. a monte e a valle generico;
- ◆ carichi distribuiti uniformi o trapezoidali sul pendio a monte e valle, permanenti e/o variabile per destinazione d'uso;
- ◆ carichi concentrati verticali e orizzontali generici permanenti e/o variabili per destinazione d'uso;
- ◆ carichi distribuiti e/o concentrati su elevazione e fondazione del muro, verticali e orizzontali permanenti e/o variabili per destinazione d'uso;
- ◆ la stratigrafia tramite poligoni generici definiti dall'utente; ciò permette di simulare più realisticamente le zone di ancoraggio di tiranti, blocchi di roccia, etc.



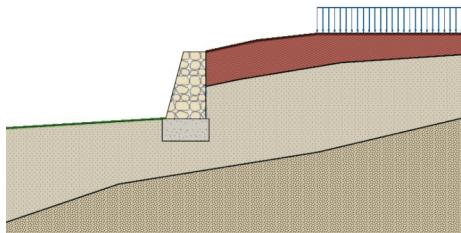
Muro a gabbioni con tiranti e micropali di fondazione

L'azione sismica può essere rappresentata, in funzione del metodo di analisi, mediante:

- ◆ coefficienti sismici orizzontale kh e verticale kv , per analisi pseudostatiche con forze sismiche proporzionali alla massa;
- ◆ accelerogrammi naturali o da risposta sismica locale spettro-compatibili, per analisi dinamiche non lineari semplificate secondo il modello di Newmark.

Per la **modellazione della falda** il software consente di:

- ◆ inserire più falde tramite superficie poligonale;
- ◆ impostare un livello a monte e a valle anche per fasi;
- ◆ elaborare analisi *steady state* tramite moto di filtrazione agli elementi finiti.



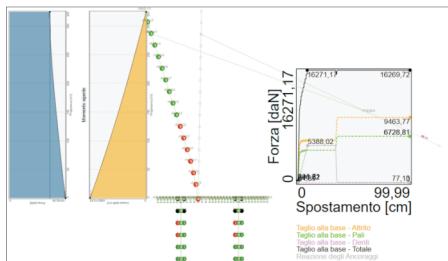
Muro a gravità in pietrame

LE TIPOLOGIE DI ANALISI

Le tipologie di analisi supportate consentono la modellazione non lineare dell'interazione con il terreno per ogni combinazione di carico. I tipi di analisi disponibili sono:

- ◆ analisi classica non lineare per combinazione di carico e moltiplicatore $\lambda=1$;
- ◆ analisi al collasso non lineare per combinazione o condizione di carico e calcolo del moltiplicatore $\lambda=\lambda_u$;

- ◆ le due analisi precedenti gestite anche per fasi costruttive;
- ◆ valutazione dei muri esistenti con calcolo degli indicatori di rischio sismico e statico ζ_E -SLV - ζ_{ζ_1} -SLU;
- ◆ analisi di stabilità con superfici circolari o generiche tramite i metodi *MEL* (*Fellenius, Bishop, Janbu e GLE*);
- ◆ analisi di stabilità al continuo non lineare tramite metodo del *SRF* o per incrementi di carico, anche con analisi di filtrazione;
- ◆ analisi dinamica semplificata tramite modello di *Newmark*, con valutazione degli spostamenti permanenti residui.



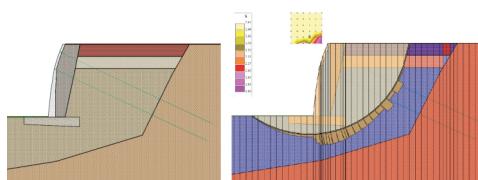
Modellazione FEM beam/column plastic hinge non linear Winkler foundation

L'analisi delle spinte (attiva, passiva e riposo), è effettuata tramite il *metodo di Culmann* (del "cuneo di tentativo"). In condizioni sismiche sono previsti i metodi di *Mononobe-Okabe* o di *Wood*, per muri impossibilitati a spostarsi.

In fase di post-analisi, è possibile visualizzare il cuneo spinta critico, le relative spinte, i diagrammi delle pressioni, le sollecitazioni e gli spostamenti.

Mediante **l'analisi globale FEM** è possibile visualizzare la deformata del sistema geotecnico e lo stato delle molle non lineari del tipo:

- ◆ Active: trazione (rottura);
- ◆ Passive: compressione (rottura);
- ◆ VC elastiche o "retta vergine";
- ◆ UR carico-scarico-ricarico.



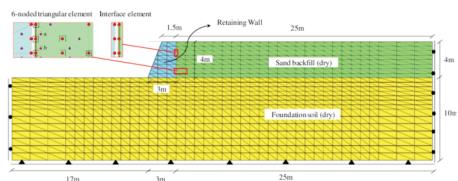
Muro a mensola
Analisi di stabilità globale con approccio sismico pseudostatico

In presenza di elementi in c.a. non lineari è possibile visualizzare i seguenti stati di danno delle cerniere plastiche:

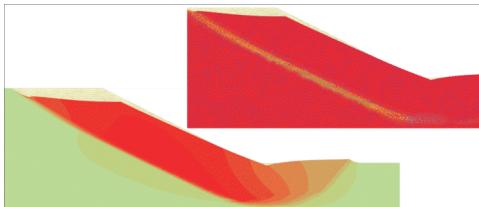
- ◆ Elastico/a;
- ◆ Fessurazione;
- ◆ Snervamento;
- ◆ Ultimo (rottura con resistenza residua)
- ◆ Rottura a taglio.

In presenza di tiranti o vincoli elasto-plastici, il collasso di questi ultimi è tenuto in conto tramite ridistribuzione delle sollecitazioni.

Nel caso di **analisi FEM** di tipo *steady state della filtrazione*, è possibile visualizzare qualsiasi grandezza legata al moto: pressioni, linee di flusso, equipotenziali, portate e gradienti locali, necessari per effettuare le verifiche idrauliche a sifonamento e sollevamento di fondo scavo. Infine, permettono di ottenere la reale distribuzione delle pressioni neutre sul paramento e cuneo di spinta, nonché stimare l'andamento della falda freatica per le verifiche di stabilità.

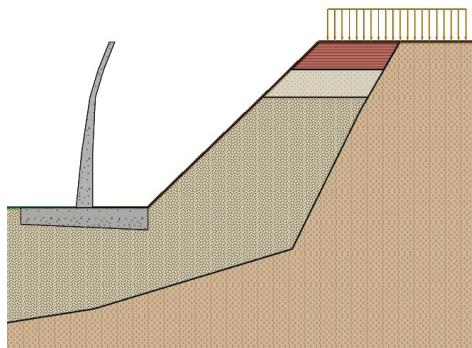


Modellazione FEM al continuo non lineare
Tecniche di discretizzazione

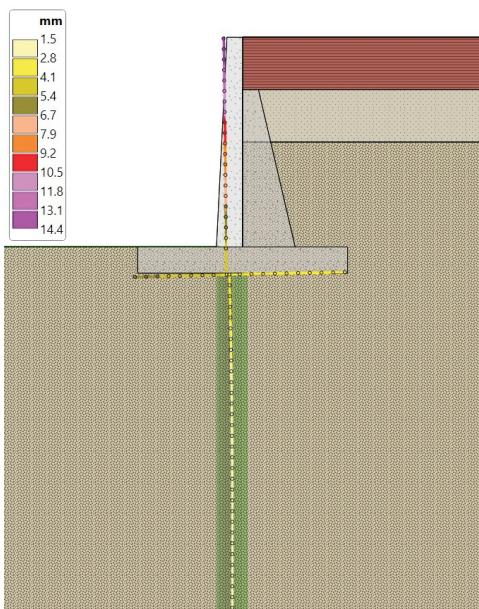


Analisi di stabilità con tecnica SRF

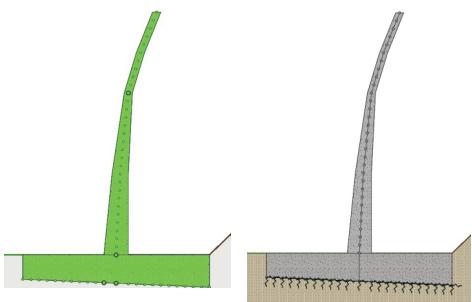
Nel caso di **analisi per fasi**, il software consente di pianificare ed analizzare tutte le fasi costruttive necessarie alla realizzazione in sicurezza dell'opera di sostegno.



Nell'analisi FEM al continuo tramite modelli costitutivi *Mohr-Coulomb* (anche con *strain-softening*), è possibile effettuare analisi di stabilità (*Strength-reduction-factor*) tramite l'utilizzo delle interfacce di contatto per l'interazione terreno-struttura. Le analisi permettono di visualizzare passo-passo numerosi parametri, quali: spostamenti orizzontali, verticali, assoluti, stato tensionale e deformativo, deformazioni plastiche a taglio, e altro, al fine di individuare le superfici di scorrimento.



Risultati di calcolo, mappa dei colori delle deformate del sistema geotecnico

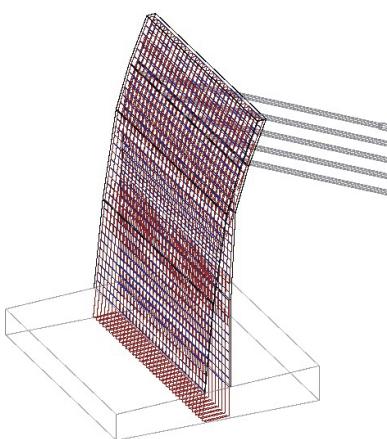
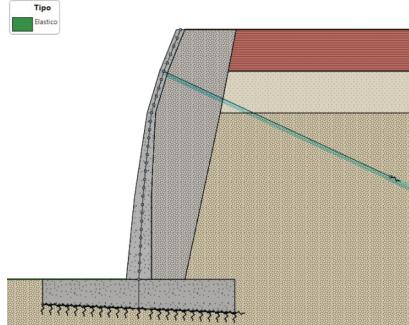
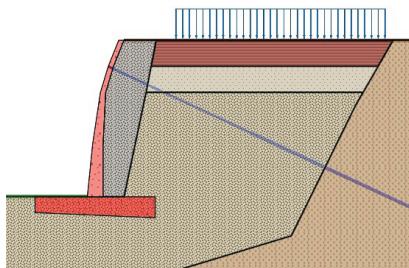


Analisi per fasi: input, verifiche e modello di calcolo
(Scavo e realizzazione del muro di sostegno)

Il software Muri Next , per ogni fase costruttiva , consente di personalizzare:

- ◆ il piano di campagna sia di monte che di valle e quindi anche la stratigrafia fase per fase;
- ◆ la presenza della falda e se presente l'andamento del profilo della falda;
- ◆ tutte le azioni agenti, definendo la fase iniziale e finale di influenza delle stesse;
- ◆ tutti gli ancoraggi (Tiranti geotecnici, Vincoli e Tubolari iniettati) definendo la fase in cui viene realizzato e quella finale di azione.

Per ogni tirante geotecnico inserito nel modello di calcolo, il software consente di assegnare la pretensione di progetto e di prevedere fino ad un massimo di due ritesature nelle fasi di calcolo definite dall'utente.



Analisi per fasi: stato finale, modello di calcolo e 3D armature
(Rinterro a monte e inserimento tirante)

LE VERIFICHE

Per i **muri in c.a.**, il software progetta e verifica le armature con relativo disegno. Le verifiche strutturali sono del tipo a flessione, pressoflessione e a taglio, tensioni di esercizio e fessurazione.

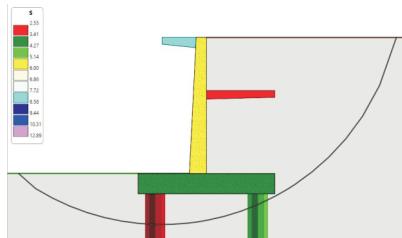
Le **verifiche geotecniche** dipendono dalla tipologia del muro e dalla presenza di pali, micropali, tiranti e puntoni.

Nel caso di muri con fondazioni superficiali inclinate e/o con dente vengono effettuate:

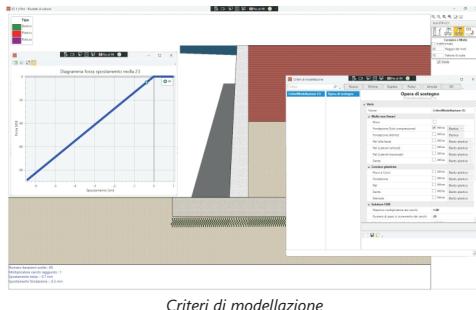
- ◆ Verifica a capacità portante con i metodi *Terzaghi, Meyerhof, Hansen, Vesic* in condizioni statiche e sismiche con metodo alla *Paolucci-Pecker e Maugeri-Motta*.
- ◆ Verifiche in condizioni drenate e non drenate;
- ◆ Verifiche a scorrimento con resistenza alla *Coulomb* in funzione della superficie reagente;
- ◆ Verifiche a ribaltamento;
- ◆ Verifiche di stabilità globale con metodi di *Fellenius, Bishop, Janbu, GLE o SFR*.

Il calcolo dei sedimenti allo stato limite di esercizio SLE e le verifiche di compatibilità sono effettuate con diversi metodi di calcolo in funzione dei dati a disposizione:

- ◆ Metodo edometrico;
- ◆ Metodo di *Burland e Burbidge*;
- ◆ Metodo di *Schmertmann* etc.



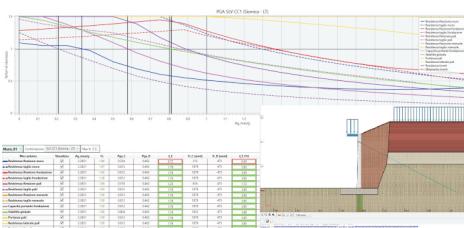
Mappa dei colori dei coefficienti di sicurezza delle verifiche effettuate



In presenza di tiranti, la loro verifica riguarda i tre meccanismi:

- ◆ Verifica a sfilamento per garantire l'equilibrio fra tensione tangenziale, che si sviluppa fra la superficie laterale del tirante/terreno, e lo sforzo applicato (GEO);
- ◆ Verifica per garantire l'aderenza malta-armatura (GEO);
- ◆ Verifica per garantire la resistenza della malta (GEO);
- ◆ Verifica a rottura armatura tirante (STR).

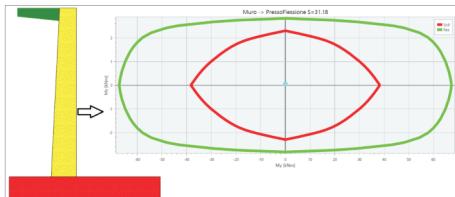
In presenza di fondazioni miste superficiali/profonde, è possibile considerare sia la compartecipazione di entrambi i sistemi, sia la possibilità di utilizzare, ad esempio, i micropali come riduttori di sedimenti.



Analisi di vulnerabilità sismica per strutture esistenti

Le verifiche geotecniche presenti sono:

- ◆ Verifica a portanza per carichi verticali a compressione e trazione tramite numerosi metodi di letteratura (Terzaghi, Meyerhof, Hansen, Vesic, Berezantzev e Berezantzev ridotto), metodi da prove SPT e CPT e metodi di Bustamante-Doix per i micropali.



Muro a mensola. Verifica a pressoflessione elevazione tramite domini di resistenza

- ◆ Verifica a portanza trasversale con i metodi classici, come Broms esteso ai terreni stratificati in funzione del tipo di vincolo in testa. In alternativa, il carico limite della palificata può essere determinato con l'analisi elastoplastica al passo;
- ◆ Verifica per fondazioni miste con il metodo PDR (Poulos-Davis-Randolph).

Il calcolo dei sedimenti per lo stato limite di esercizio SLE viene effettuato mediante:

- ◆ Analisi FEM con curve di trasferimento
- ◆ Metodo di Poulos-Davis dei coefficienti di interazione.

Le verifiche sismiche dei muri richiedono il calcolo degli spostamenti permanenti residui allo stato limite SLD/SLV, affrontato mediante i seguenti modelli:

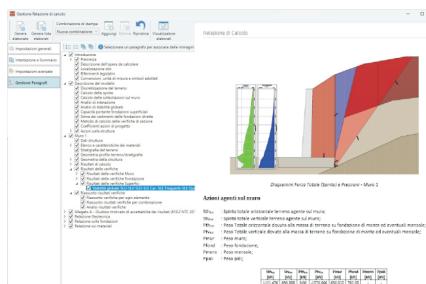
- ◆ Il modello di Newmark;
- ◆ Il metodo di Richard-Elms and Whitman e Liao;

Per i muri a gabbioni o blocchi, oltre alle verifiche già citate per quelle a gravità vengono effettuare all'interfaccia tra i vari blocchi le seguenti verifiche:

- ◆ Verifica a ribaltamento della parte superiore;
- ◆ Verifiche a scorrimento tra blocco superiore inferiore;
- ◆ Verifiche a schiacciamento del materiale.

Per le terre rinforzate, le verifiche effettuate sono quelle classiche dei muri, quali scorrimento, portanza e ribaltamento (anche tra i vari strati) e stabilità globale. In dettaglio:

- ◆ Verifiche interne: verifica a scorrimento diretto del rinforzo, sfilamento del rinforzo, resistenza a trazione del rinforzo e scorrimento del risvolto);
- ◆ Verifiche composte. Tensioni nei rinforzi derivanti dall'analisi di *Tieback* e *compound* e dettagli sui cerchi dell'analisi di stabilità globale e interna alla terra armata.

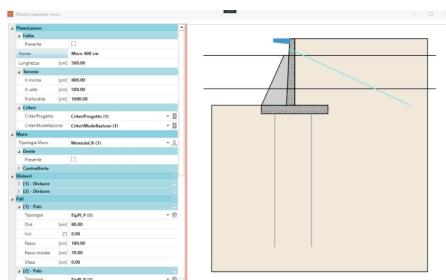


Relazione di calcolo personalizzabile

Le verifiche idrauliche effettuate automaticamente dipendono dalla modellazione della falda. Quelle analizzate sono le seguenti:

- ◆ Sifonamento;
- ◆ Sollevamento fondo scavo.

Il software è composto da pre-processore, solutore e post-processore (che permettono anche analisi in parallelo) e dai vari moduli accessori acquistabili separatamente e tra loro eventualmente interagenti.



Wizard creazione modello e successione stratigrafica

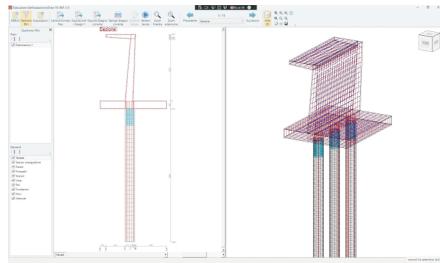
Nell'ambito dello stesso intervento, con il programma Muri Next si possono analizzare, progettare e verificare più tipologie di muro.

L'aggiunta di più tipologie di muri e sezione geologica di progetto, può avvenire duplicando una prima tipologia di partenza e poi modificandola oppure ripartendo ogni volta con il **Wizard creazione muro** per definire la geometria del muro di prova e successione stratigrafica in modo automatico. Ad ogni tipologia di muro, inserita nell'ambito dello stesso progetto potrà essere associato un **Criteria di Progetto**,

per personalizzare le opzioni di verifiche e le armature di progetto. Si potrà associare un **Criterio di Modellazione**, per modificare il modello di calcolo utilizzato dal software nell'analisi. Questa procedura consentirà di creare un unico file con tante opere da progettare e verificare. I risultati delle elaborazioni eseguite dal software, saranno riportati in modo chiaro e completo negli elaborati generati.

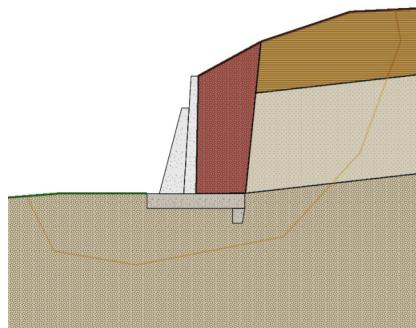
L'output prevede, per ognuno dei moduli:

- ◆ Esecutivi di cantiere di progetto con relative tavole grafiche (Sezioni

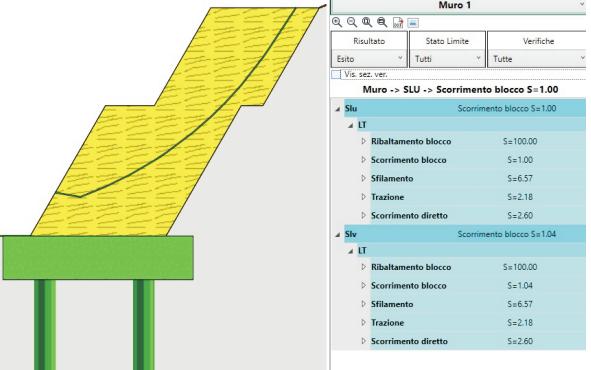
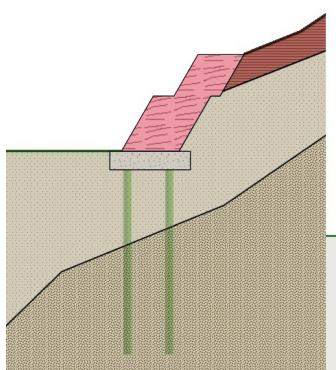
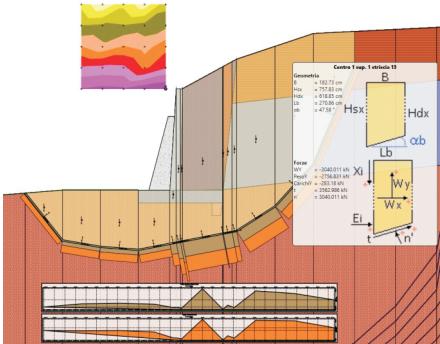


Armature 3D

stratigrafiche, Piante, Prospetti, Sezioni, Viste 3D ed elaborati specifici per le armature di ogni elemento strutturale);



Verifica di superfici di scivolamento prefissate dall'utente



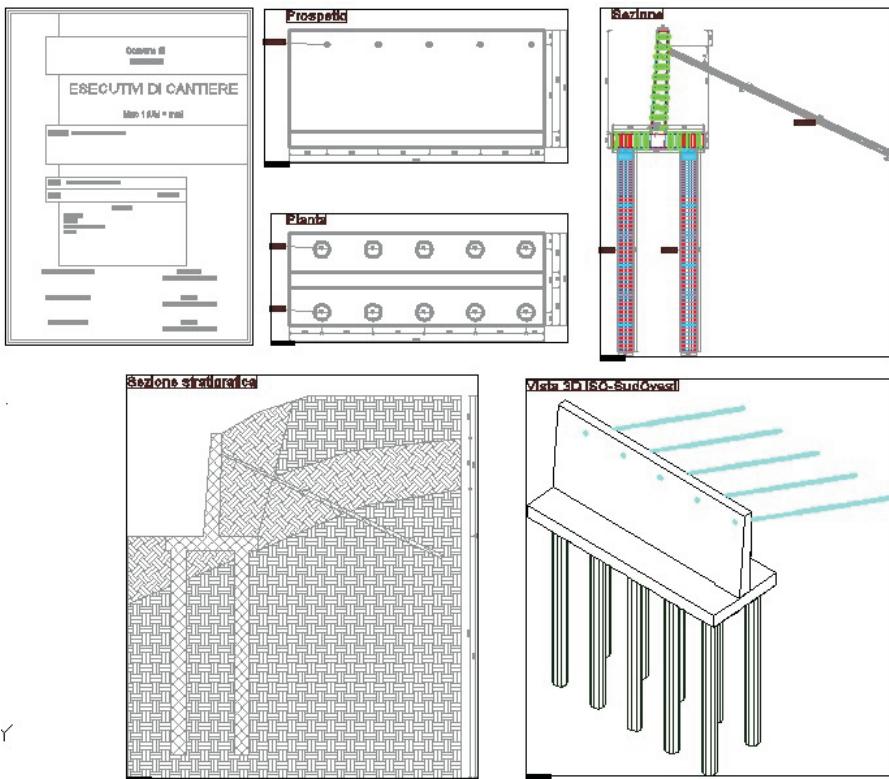
Analisi e verifica di terre rinforzate

- ♦ Relazione di calcolo composta da più elaborati eventualmente suddivisibili in singole relazioni tecniche (Relazioni di calcolo, Tabulati di calcolo, Relazione sui Materiali, Relazione Geotecnica, Relazione sulle fondazioni);
- ♦ Computo dei materiali;
- ♦ Piano di manutenzione delle strutture.

Gli elaborati grafici sono componibili attraverso la creazione automatica delle tavole esecutive di cantiere (personalizzando graficamente la

disposizione dei vari elaborati) esportabili in formato DXF/DWG . Il software consente di definire anche la scala di stampa, di ogni elemento strutturale rappresentato negli elaborati.

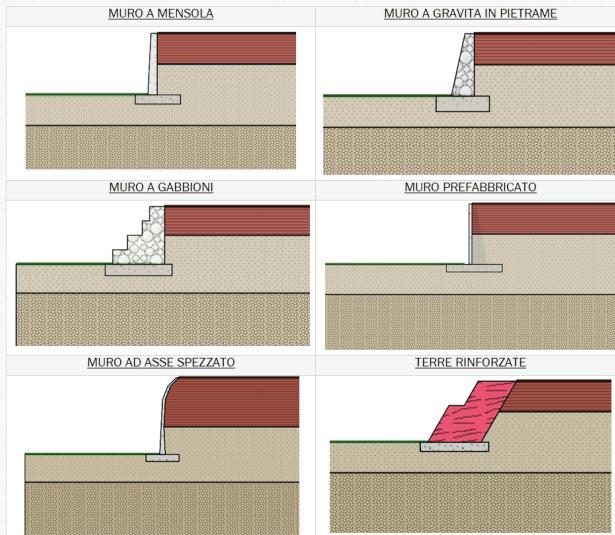
La relazione di calcolo (esportabile nei formati docx e PDF) può essere personalizzata componendo i documenti secondo le diverse esigenze oppure inserendo in ogni paragrafo degli output dei risultati del calcolo o delle verifiche o della graficizzazione.



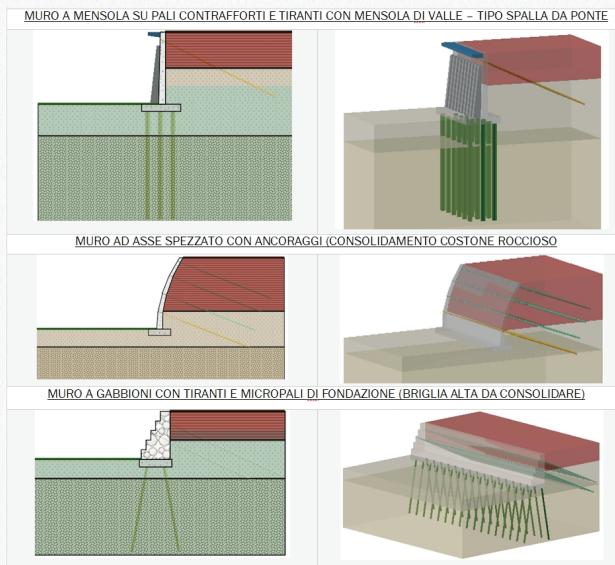
Generazione automatica tavole esecutivi di cantiere

Finito di stampare Settembre 2025

MURI SEMPLICI



MURI COMBINATI



STACEC Srl

Sede legale e operativa:

S.S. 106, 51/A (Km 87,00) - 89034 Bovalino (RC)
Tel. 0964.67211 - 0964.311526 - 392.9624505
www.stacec.com - stacec@stacec.com

 STACEC

