



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*

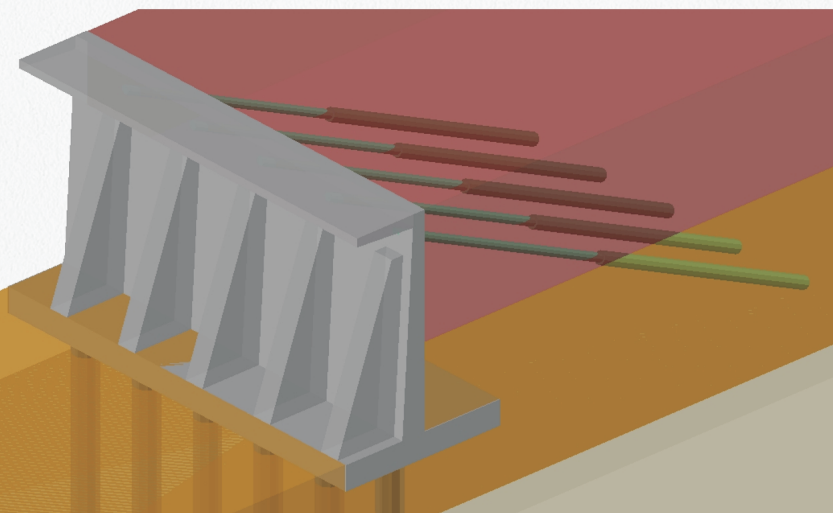
◆ **Muri in pietrame**

gabbionate, gravità o blocchi

◆ **Muri in terra rinforzata**

◆ **Elementi speciali**

*pali, micropali e denti di fondazione, tiranti,
punteri 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:

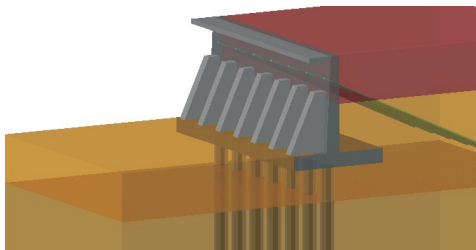
- ◆ M01 - Muri prefabbricati
- ◆ M02 - Muri a gabbioni
- ◆ M03 - Terre rinforzate
- ◆ M04 - Verifiche muri esistenti
- ◆ M05 - Muri a tratti ad asse spezzato variabile
- ◆ M06 - FEM idraulico
- ◆ M07 - FEM al continuo
- ◆ M08 - Analisi al collasso
- ◆ M09 - Pali e micropali
- ◆ M10 - Tiranti e vincoli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

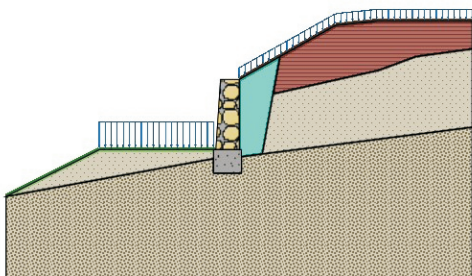


LA SUITE MURI Next

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, Gravità;
- ◆ 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)

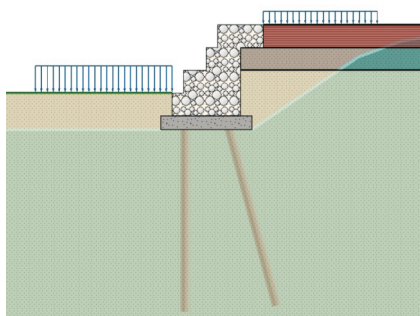


Modello di muro con fondazione in c.a. e muro in pietrame

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.

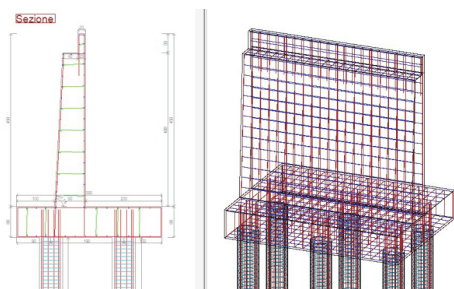
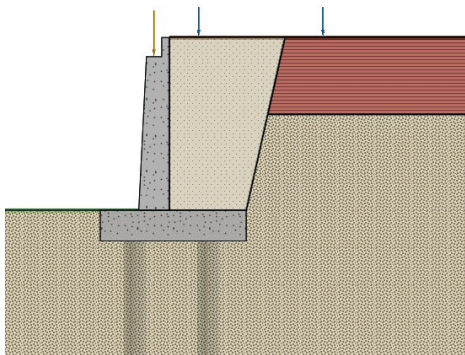


Modello di muro a gabbioni con fondazione mista

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 (concio/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.

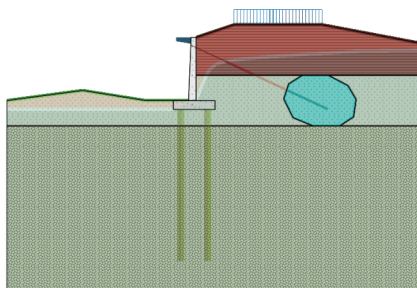
Tutte le tipologie di muri in c.a. e cls, consentono di differenziare e personalizzare i materiali dei vari elementi di fondazione ed elevazione.

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.

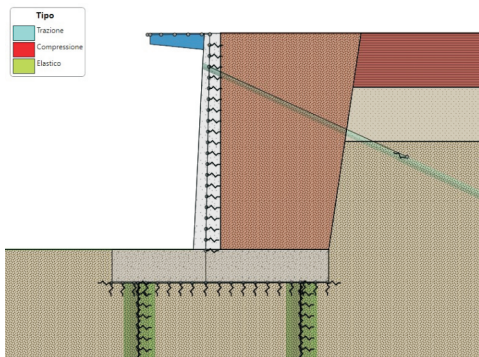
Questa funzione rende più facili, eventuali interventi su opere di sostegno esistenti oltre a consentire la personalizzazione dettagliata dei materiali ed il posizionamento delle armature per ogni concio delle opere di sostegno di nuova realizzazione.

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

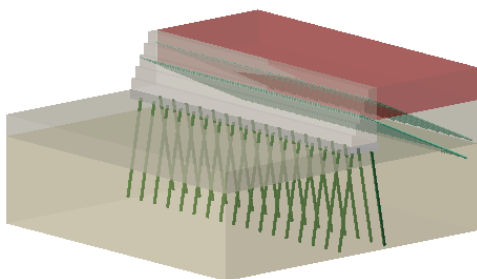


Modello di calcolo e risultati analisi globale FEM
con stato delle molle non lineari

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.



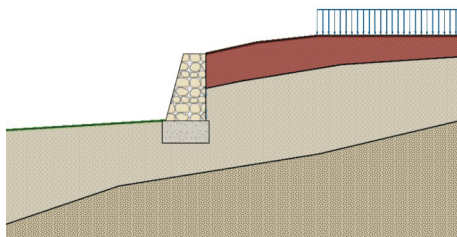
Muro a gabbioni con tiranti e micropali di fondazione

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

- ♦ coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v , 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;
- ♦ imporre un livello a monte e a valle anche per fasi;
- ♦ elaborare analisi *steady state* tramite moto di filtrazione agli elementi finiti.



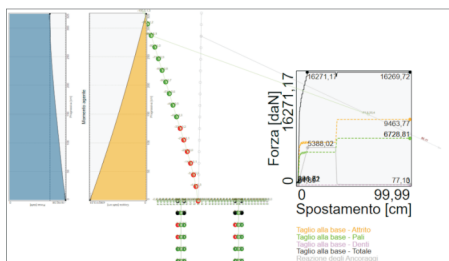
Muro a gravità in pietrame

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 $\lambda=\lambda_u$;

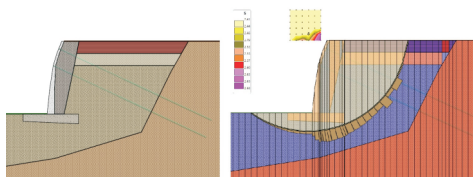
- ◆ le due analisi precedenti gestite anche per fasi costruttive;
- ◆ valutazione dei muri esistenti con calcolo degli indicatori di rischio sismico e statico ζ_E -SLV - ζ_{SI} -SLU;
- ◆ analisi di stabilità con superfici circolari o generiche tramite i metodi MEL (*Fellenius, Bishop, Janbu* e GLE);
- ◆ 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/couluumn 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.



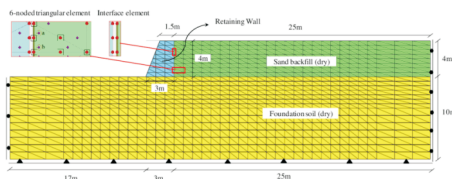
Muro a mensola
Analisi di stabilità globale con approccio sismico pseudostatico

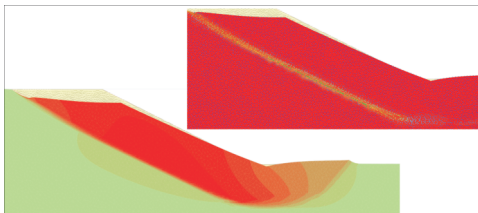
In presenza di elementi in c.a. non lineari è possibile visualizzare i seguenti stati di danno delle cerniere plastiche:

- ◆ 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 redistribuzione delle sollecitazioni.

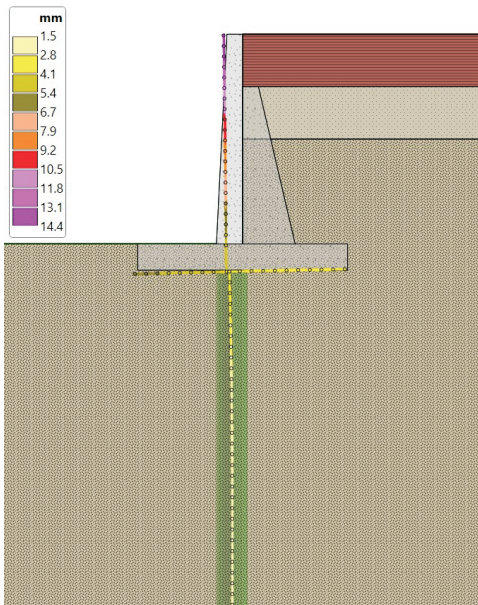
Nel caso di **analisi FEM** di tipo *steady state della filtrazione*, è possibile visualizzare qualsiasi grandezza legata al moto: pressioni, linee di flusso, equipotenziali, portate e gradienti locali, necessari per effettuare le verifiche idrauliche a sifonamento e sollevamento di fondo scavo. Infine, 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.





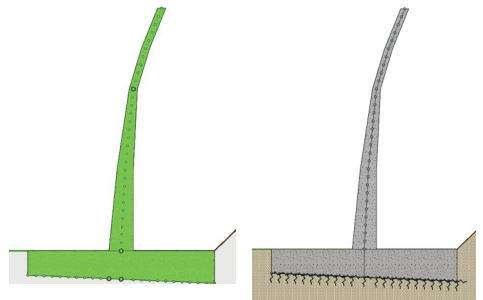
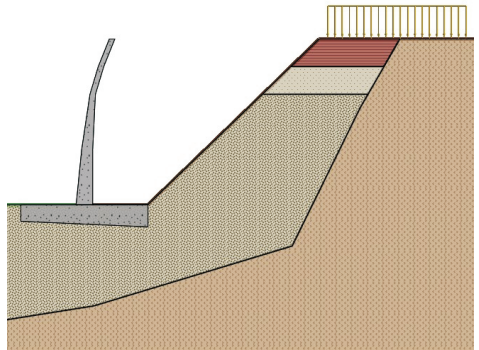
Analisi di stabilità con tecnica SFR

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

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.

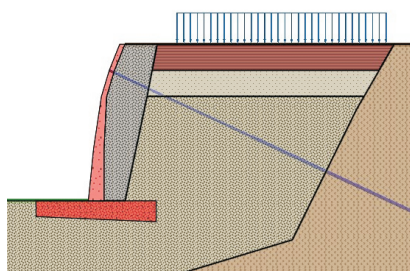


Analisi per fasi: input, verifiche e modello di calcolo (Scavo e realizzazione del muro di sostegno)

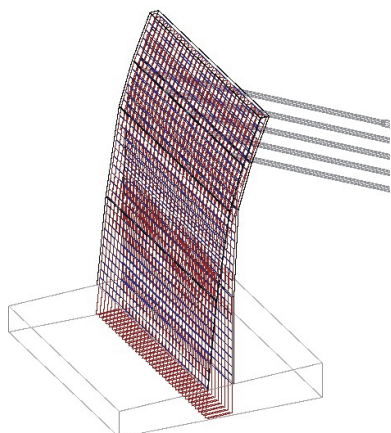
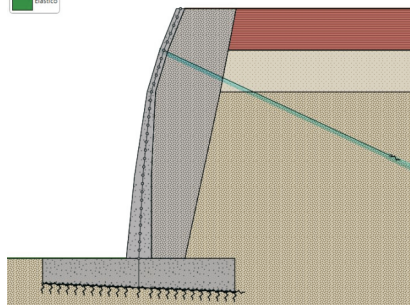
Il software Muri Next , per ogni fase costruttiva , consente di personalizzare:

- ◆ 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.



Tipo
Elastico



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.

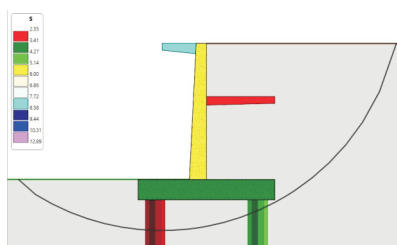
Le **verifiche geotecniche** dipendono dalla tipologia del muro e dalla presenza di pali, micropali, tiranti e puntoni.

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

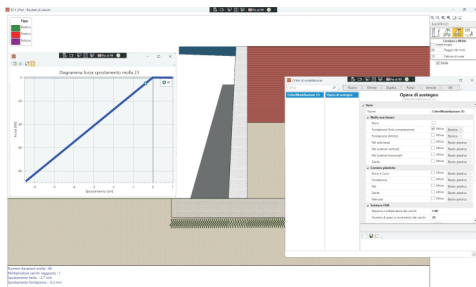
- ♦ Verifica a capacità portante con i metodi *Terzaghi, Meyerhof, Hansen, Vesic* in condizioni statiche e sismiche con metodo alla *Paolucci-Pecker* e *Maugeri-Motta*.
- ♦ Verifiche in condizioni drenate e non drenate;
- ♦ Verifiche a scorrimento con resistenza alla *Coulomb* in funzione della superficie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

Il calcolo dei cedimenti 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

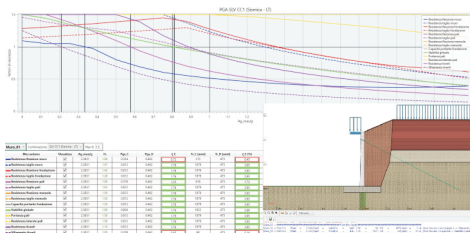


Criteri di modellazione

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).

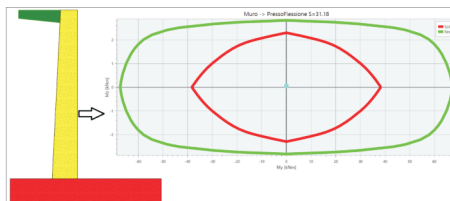
In presenza di fondazioni miste superficiali/profonde, è possibile considerare sia la compartecipazione di entrambi i sistemi, sia la possibilità di utilizzare, ad esempio, i micropali come riduttori di cedimenti.



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 cedimenti 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:

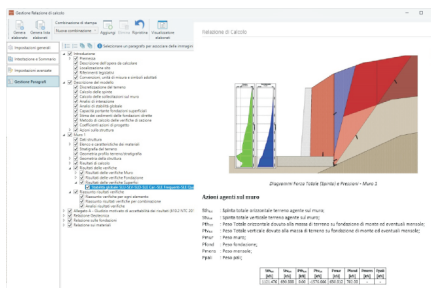
- ♦ Il modello di *Newmark*;
- ♦ Il metodo di *Richard-Elms and Whitman* e *Liao*;

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.

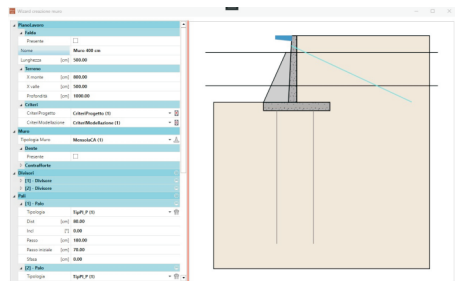


Relazione di calcolo personalizzabile

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

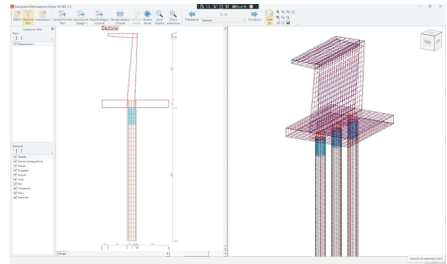
Nell'ambito dello stesso intervento, con il programma Muri Next si possono analizzare, progettare e verificare più tipologie di muro.

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 **Criterio 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.

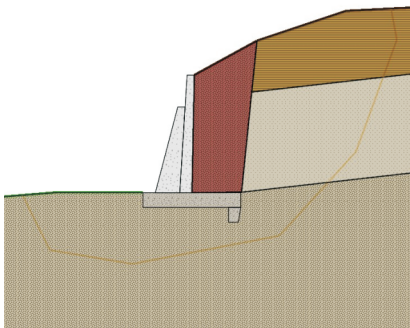
L'output prevede, per ognuno dei moduli:

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

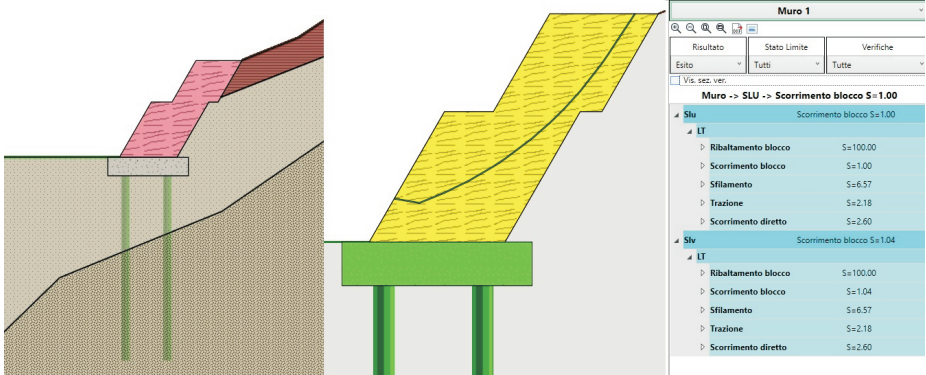
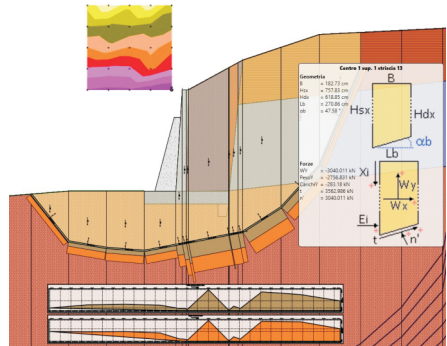


Armature 3D

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



Verifica di superfici di scivolamento prefissate dall'utente



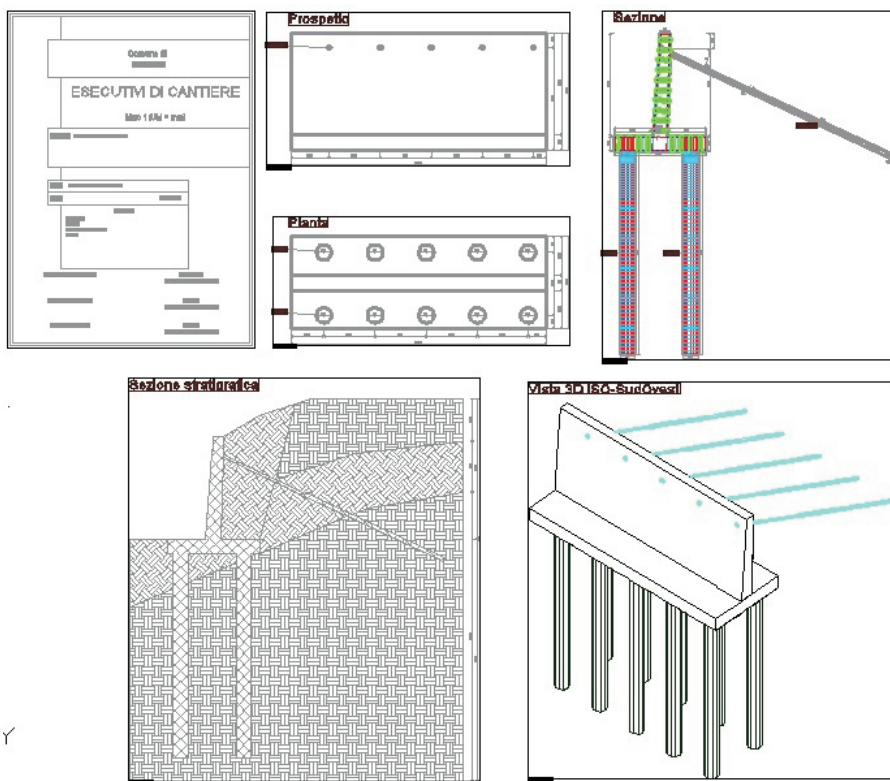
Analisi e verifica di terre rinforzate

- ♦ 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.

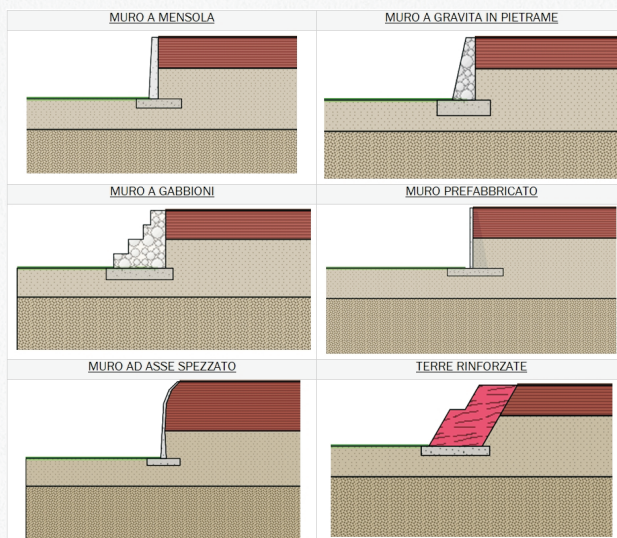
La relazione di calcolo (esportabile nei formati docx e PDF) può essere personalizzata componendo i documenti secondo le diverse esigenze oppure inserendo in ogni paragrafo degli output dei risultati del calcolo o delle verifiche o della graficizzazione.



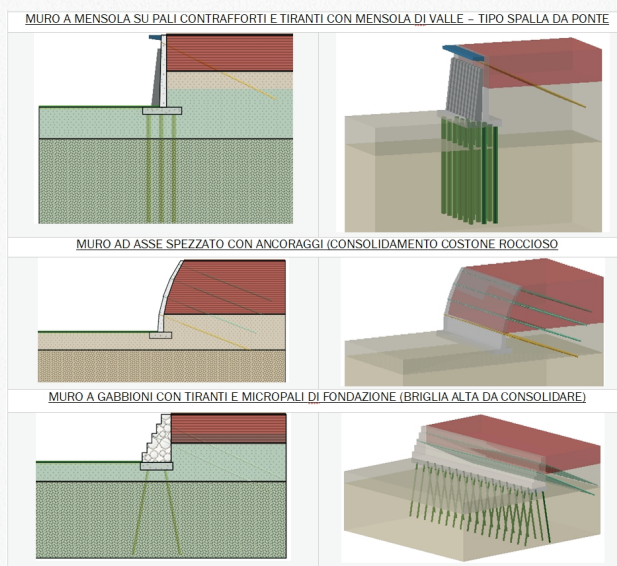
Generazione automatica tavole esecutivi di cantiere

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

