

RELAZIONE DI ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI

Nella presente relazione si riportano alcuni controlli effettuati per verificare l'attendibilità dei risultati forniti dal software impiegato. Infatti, al capitolo 10 delle NTC 14-01-2008, è specificato che spetta al progettista il compito di sottoporre i risultati a controlli che ne comprovino l'attendibilità.

Di seguito, vengono elencati e sinteticamente illustrati i controlli svolti, specificando di volta in volta i metodi e gli schemi semplificati utilizzati.

1. FUNZIONALITÀ E CARATTERISTICHE CODICE DI CALCOLO

EdiLus consente di modellare la struttura, di effettuare il dimensionamento e le verifiche di tutti gli elementi strutturali e di generare gli elaborati grafici esecutivi.

È una procedura integrata dotata di tutte le funzionalità necessarie per consentire il calcolo completo di una struttura mediante il metodo degli elementi finiti (FEM); la modellazione della struttura è realizzata tramite elementi Beam (travi e pilastri) e Shell (platee, pareti, solette), anche su suolo elastico alla Winkler.

L'input della struttura avviene per oggetti (travi, pilastri, solai, solette, pareti, etc.) in un ambiente grafico integrato; il modello di calcolo agli elementi finiti, che può essere visualizzato in qualsiasi momento in una apposita finestra, viene generato dinamicamente dal software sulla base delle impostazioni effettuate dal progettista.

Apposite funzioni consentono la creazione e la manutenzione di archivi Sezioni, Materiali e Carichi; tali archivi sono generali, nel senso che sono creati una tantum e sono pronti per ogni calcolo, potendoli comunque integrare/modificare in ogni momento.

L'utente non può modificare il codice ma soltanto eseguire delle scelte come:

- definire i vincoli di estremità per ciascuna asta (vincoli interni) e gli eventuali vincoli nei nodi (vincoli esterni);
- modificare i parametri necessari alla definizione dell'azione sismica;
- definire condizioni di carico;
- definire gli impalcati come infinitamente rigidi nel proprio piano ai fini dell'analisi sismica (tutto o in parte) o meno.

L'elemento può essere definito di forma quadrangolare o triangolare ed è composto da quattro triangoli a deformazione lineare, con 25 gradi di libertà interni condensati a livello di elemento. Ogni nodo dell'elemento può trasmettere tre componenti di traslazione e tre rotazioni.

È possibile definire un qualunque numero di materiali a comportamento isotropo, con caratteristiche meccaniche eventualmente dipendenti dalla temperatura. Sono assegnabili carichi termici (mediante l'assegnazione delle temperature nodali), pressioni costanti o idrostatiche sulle facce, accelerazioni, gradiente termico lungo lo spessore. È possibile la definizione dell'elemento su suolo elastico.

L'analisi dinamica può essere eseguita attribuendo la densità dei materiali o masse concentrate ai nodi. In uscita sono date le forze e i momenti riferiti al centroide dell'elemento e al suo sistema locale. Sono inoltre calcolati gli sforzi totali, gli sforzi principali e la sigma di von Mises sulla faccia superiore e inferiore.

Il materiale utilizzato nel calcolo ha un comportamento isotropo ed omogeneo con un legame costitutivo elastico-lineare. I parametri atti a definire le sue caratteristiche meccaniche sono il modulo di elasticità longitudinale E ed il coefficiente di Poisson. Le altre caratteristiche del materiale sono costituite dal peso specifico e dal coefficiente di dilatazione termico. Il modulo elastico tangenziale G è calcolabile con la seguente formula, nota dalla teoria dell'elasticità:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

Il modulo elastico longitudinale E è sempre positivo ed il coefficiente di Poisson ν deve soddisfare la seguente limitazione:

$$0 < \nu \leq 0.5$$

I nodi nell'analisi FEM hanno una notevole importanza in quanto rappresentano i punti in cui vengono definite le funzioni interpolanti degli spostamenti (funzioni di forma). Dopo la risoluzione del sistema di equazione lineare che governa l'equilibrio della struttura è possibile conoscere gli spostamenti di tutti i nodi della struttura, che rappresentano le uniche incognite del problema.

I nodi vengono creati in automatico dal programma che provvede ad inserirli nelle discontinuità strutturali, nell'intersezione degli elementi strutturali ed internamenti ad oggetti bidimensionali (platee, solette, pareti) dopo la creazione della mesh.

Le componenti di spostamento e rotazione dei nodi nello spazio rappresentano i gradi di libertà del nodo. Ogni nodo ha dunque sei gradi di libertà (tre traslazioni e tre rotazioni rispetto al sistema di riferimento globale).

Gli eventuali vincoli applicati ai nodi sopprimono i gradi di libertà i quali vengono ignorati come incognite ed utilizzati ai fini del calcolo delle reazioni vincolari. Le reazioni vincolari vengono esplicitate in direzione dei gradi di libertà bloccati.

Lo spostamento di un nodo può anche essere limitato mediante l'applicazione di molle che rappresentano delle rigidità aggiuntive applicate ai nodi.

Sui nodi possono applicarsi anche delle forze o dei momenti concentrati.

Ogni modellazione di una struttura può essere eseguita imponendo delle relazioni cinematiche tra gli spostamenti dei nodi chiamati slave e gli spostamenti di un nodo "rappresentativo" denominato master. Nel caso di impalcato rigido la relazione cinematica che lega i nodi slave dell'impalcato a quello master è rappresentato dal campo di spostamenti di un corpo rigido.

La presente nota chiarisce alcuni aspetti relativi all'uso del legame master/slave.

- 1) Un nodo master può appartenere a qualunque tipo di elemento.
- 2) Un nodo slave può appartenere ad elementi beam e shell.
- 3) Un nodo master può ricevere i contributi di rigidità e massa da nodi slave.
- 4) Un nodo master può quindi anche non essere connesso ad alcun elemento. In tal caso i gradi di libertà non accoppiati a slave devono essere soppressi
- 5) Le forze concentrate su nodi slave sono ricondotte al nodo master, eventualmente aggiungendo gli opportuni momenti di trasporto.
- 6) Le masse concentrate su nodi slave sono ricondotte al nodo master, eventualmente aggiungendo gli opportuni momenti di inerzia polari $m_i(x_m-x_s)_2$, $m_i(y_m-y_s)_2$, $m_i(z_m-z_s)_2$ (tutti quelli interessati dall'accoppiamento rigido).
- 7) Il Microsap utilizza la definizione della matrice di massa 'a masse concentrate'; le matrici di massa degli elementi sono diagonali con soli termini traslanti. La matrice di massa globale è diagonale e può ricevere sia componenti di traslazione e rotazione tramite la linea dati 'carichi concentrati' del modulo SOLVE.
- 8) Le relazioni di equilibrio dell'impalcato rigido definito, ad esempio, su un piano parallelo a xy sono:

$$\begin{Bmatrix} R_x \\ R_y \\ M_z \end{Bmatrix} = M \begin{bmatrix} 1 & 0 & y_0 \\ 0 & 1 & -x_0 \\ y_0 & -x_0 & r_0^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{u}_x \\ \ddot{u}_y \\ \ddot{u}_{zz} \end{Bmatrix}$$

dove R_x , R_y , M_z , \ddot{u}_x , \ddot{u}_y e \ddot{u}_{zz} sono le componenti dei vettori forza e accelerazione del nodo master, x_0, y_0 sono le coordinate del baricentro della massa M dell'impalcato rispetto al nodo master e r_0 è il raggio d'inerzia polare rispetto al master. Si deduce quindi che, nel caso di presenza di impalcati rigidi (e solo in questo caso), è possibile riprodurre l'esatta relazione di equilibrio solo se $x_0=0$ e $y_0=0$, cioè solo posizionando il nodo master in corrispondenza del baricentro delle masse dell'impalcato rigido.

9) Nel caso di analisi dinamica di edifici multipiano ad impalcati rigidi sarà definito, per ogni impalcato, un nodo master nel baricentro delle masse dell'impalcato.

EdiLus provvede in automatico a creare le condizioni di carico da applicare alla struttura. Quelle generalmente create in automatico sono:

Carichi permanenti
Carichi verticali (accidentali)
Carico da neve
Carichi termici
Carichi sismici.

Nei carichi permanenti vengono computati il peso proprio della struttura e gli elementi non strutturali (solai, balconi, tamponature) con relativi sovraccarichi di tipo permanente. Nei carichi verticali vengono computati tutti i carichi accidentali relativamente alle reali superfici d'influenza dei diversi elementi non strutturali su quelli strutturali.

I carichi termici vengono generati in automatico dal programma una volta definito per i vari elementi finiti il gradiente termico.

Anche i carichi sismici sono generati in automatico dal programma.

Il carico sismico verticale viene generato localmente per i vari elementi una volta settato per essi le seguenti tipologie:

Membratura orizzontale con luce maggiore di 20 m
Struttura di tipo spingente
Struttura a sbalzo.
Membratura non ricadente nelle precedenti tipologie.

EdiLus provvede anche a prendere in conto automaticamente gli effetti dell'eccentricità accidentale, quando previsti in funzione della Normativa e del tipo di analisi sismica.

Il programma EdiLus presenta, oltre a un'estesa libreria di condizioni di carico predefinite, anche la possibilità di creare nuove condizioni di carico in modo da modellare qualsiasi tipo di azione esterna di cui il progettista abbia necessità.

EdiLus, consente l'esecuzione dei seguenti tipi di analisi:

- Analisi Statica Lineare.
- Analisi Lineare Dinamica Modale.

Al termine del calcolo delle sollecitazioni, EdiLus procede in automatico al progetto e alla verifica delle armature degli elementi strutturali.

Il dimensionamento delle membrane allo SLU avviene col seguente procedimento:

1. si costruiscono le combinazioni in base al D.M. 14.01.2008, ottenendo un insieme di sollecitazioni;
2. si combinano tali sollecitazioni con quelle dovute alla azione del sisma (in base al D.M. 14.01.2008);
3. per sollecitazioni semplici (flessione retta, taglio, torsione) si individuano i valori minimo e massimo con cui progettare o verificare l'elemento considerato; per sollecitazioni composte (pressoflessione retta/deviata) vengono eseguite le verifiche per tutte le possibili combinazioni e solo a seguito di ciò si individua quella che ha originato il minimo coefficiente di sicurezza.

Illustriamo in dettaglio il procedimento seguito per i pilastri, che sono sollecitati sempre in regime di pressoflessione deviata, e per le travi per le quali non è possibile semiprogettare a pressoflessione retta:

per tutte le terne M_x , M_y , N , individuate secondo la modalità precedentemente illustrata, si calcola il coefficiente di sicurezza con un procedimento iterativo in base all'armatura adottata; se per almeno una di queste terne esso è inferiore all'unità, si incrementa l'armatura variando il diametro delle barre utilizzate e/o il numero delle stesse in maniera iterativa fino a quando il coefficiente di sicurezza risulta maggiore o al più uguale all'unità per tutte le terne considerate.

Nei tabulati di calcolo, per brevità, non potendo riportare una così grossa mole di dati, si riporta la terna M_x , M_y , N che ha dato luogo al minimo coefficiente di sicurezza. Ma è possibile esportare in un file formato ".CSV" (formato che può essere aperto e gestito con Microsoft Excel), tutte le sei caratteristiche delle sollecitazioni per ogni combinazione di carico, per ciascuna sezione di ogni singolo elemento. In questo modo si possono

visualizzare tutte le terne M_x , M_y , N (presso flessione deviata) o le coppie M , N (presso flessione retta) con relativo coefficiente di sicurezza.

Una volta semiprogettate le armature allo SLU, si procede alla verifica delle sezioni allo Stato Limite di Esercizio con le sollecitazioni derivanti dalle combinazioni rare, frequenti e quasi permanenti; se necessario, le armature vengono integrate per far rientrare le tensioni e la eventuale fessurazione entro i massimi valori previsti dalla norma.

RISULTATI SINTETICI

Il presente documento riporta gli elaborati grafici sintetici in conformità a quanto previsto nel par. 10.2 del D.M. 14 gennaio 2008.

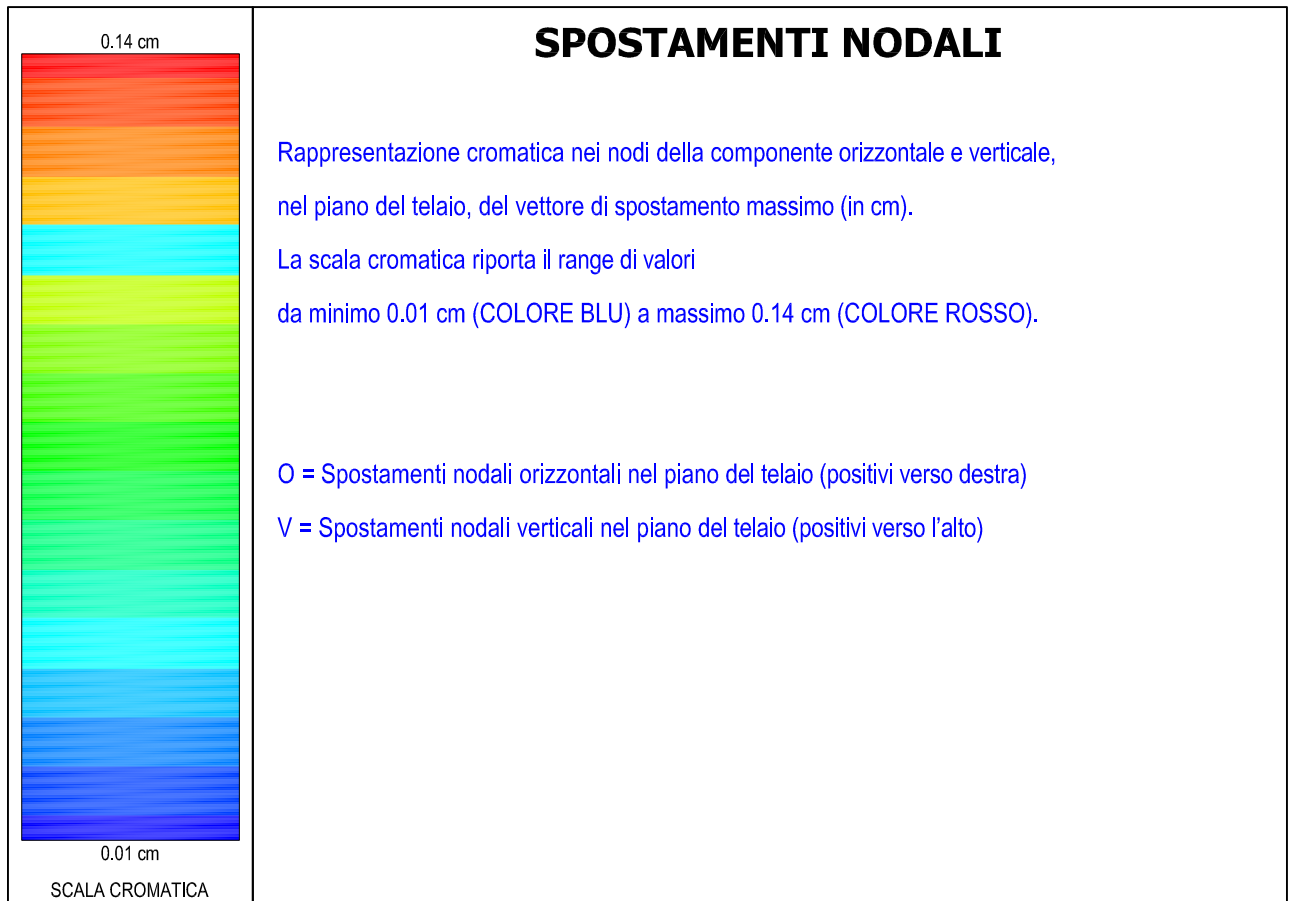
Tali elaborati hanno lo scopo di riassumere il comportamento della struttura relativamente al tipo di analisi svolta e possono riportare informazioni sintetiche e schemi relativi a sollecitazioni e sforzi, spostamenti e deformazioni, reazioni vincolari, etc.

Al fine delle verifiche della misura della sicurezza, si riportano delle rappresentazioni che ne sintetizzano i valori numerici dei coefficienti di sicurezza nelle sezioni significative della struttura stessa.

Per ogni singolo elaborato grafico, contenente un telaio, una parte della struttura o la struttura nel suo insieme, si riportano indicazioni sulle convenzioni adottate e sulle unità di misura, nonché disegni, schemi grafici e mappature cromatiche che schematizzano il comportamento complessivo della struttura.

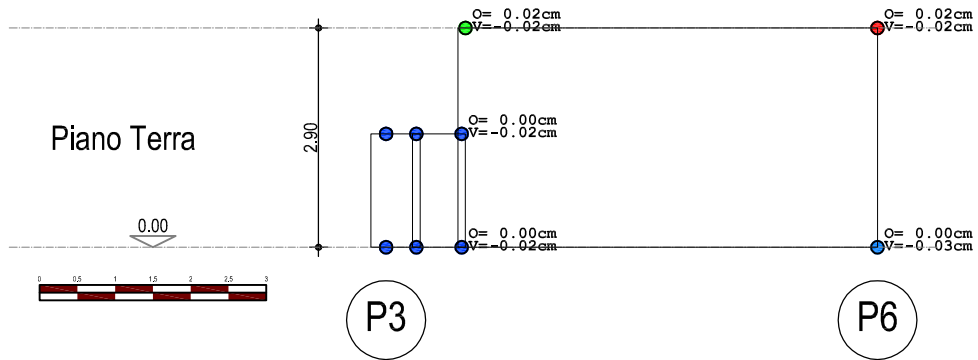
Grazie alle mappature a colori, per ciascun tipo di risultato, si fornisce un quadro chiaro e sintetico: è possibile rilevare agevolmente il valore delle diverse grandezze in base al colore assunto dagli elementi della struttura. Ogni colore rappresenta un determinato valore, dal blu (corrispondente generalmente al valore minimo) al rosso (generalmente valore massimo), passando attraverso le varie sfumature di colore corrispondenti ai valori intermedi.

Prima di ogni tipologia di risultato è riportata la scala cromatica con l'indicazione numerica del valore minimo e massimo.



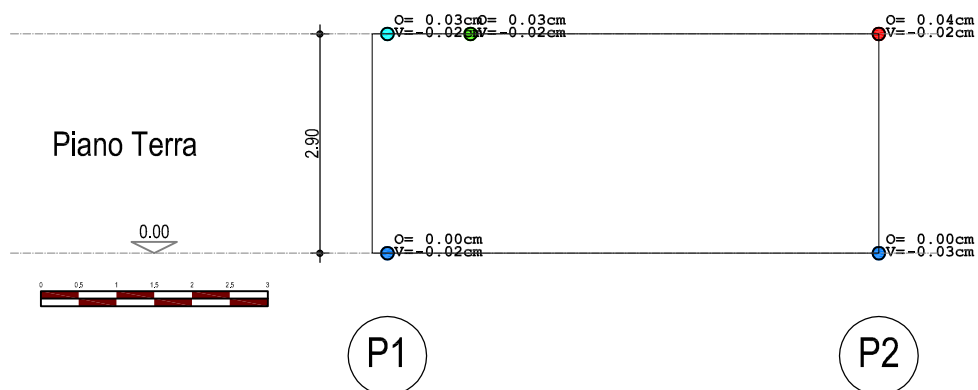
Telaio P3-P4-P5-P6

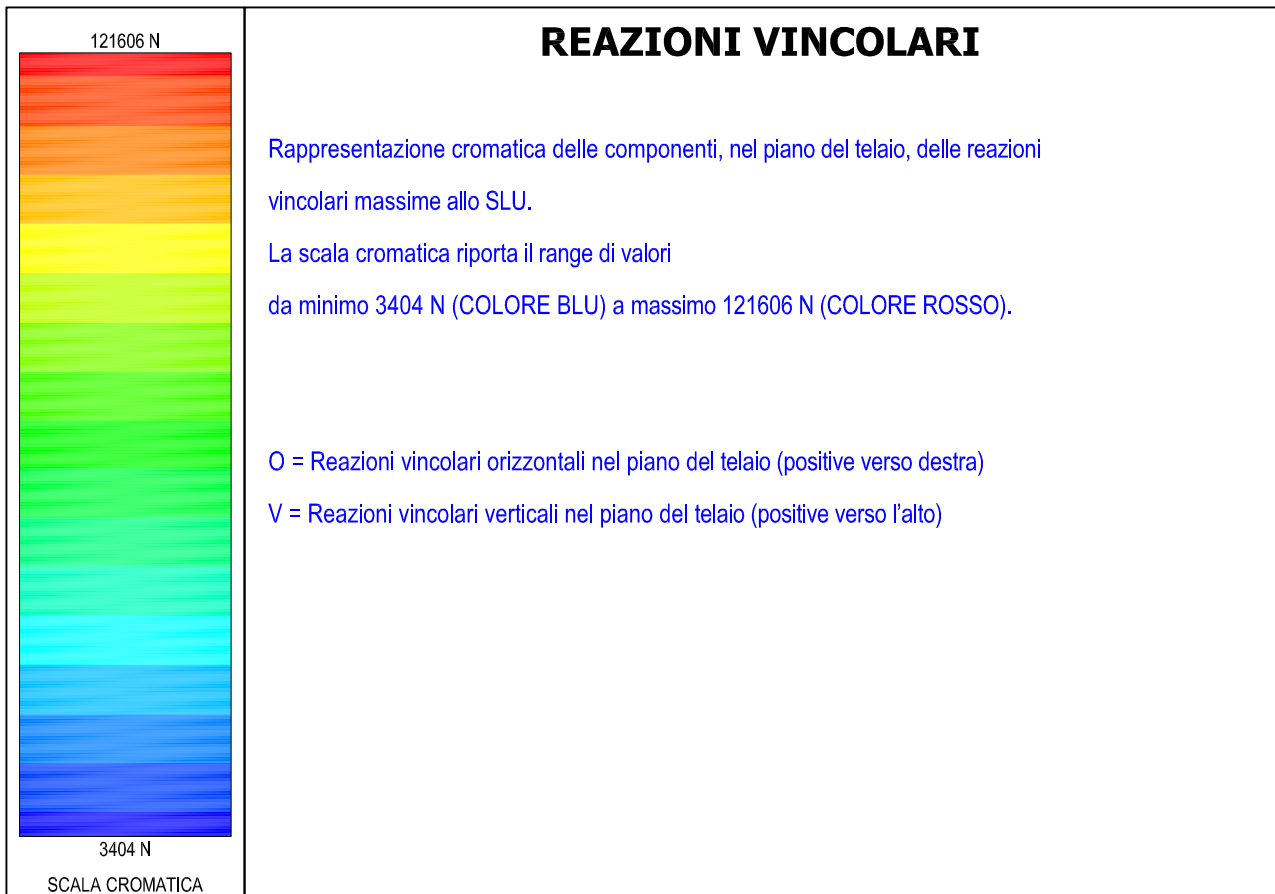
SPOSTAMENTI NODALI



Telaio P1-P2

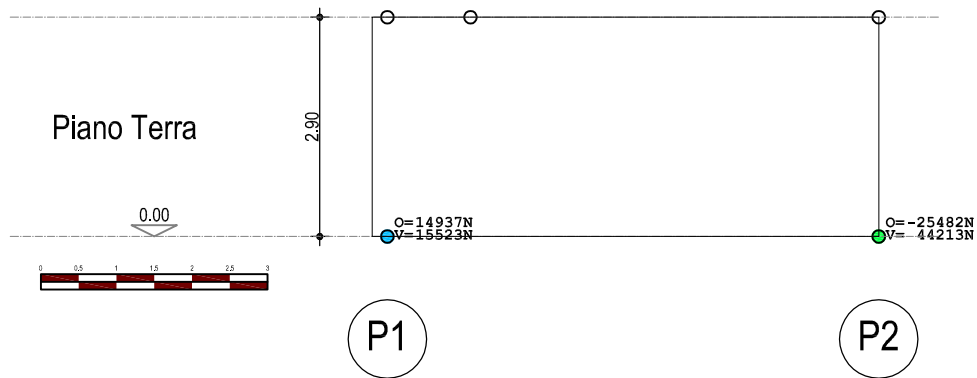
SPOSTAMENTI NODALI





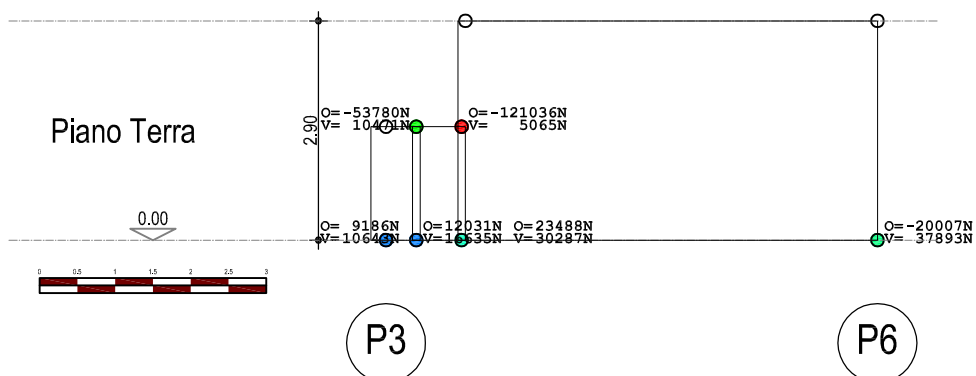
Telaio P1-P2

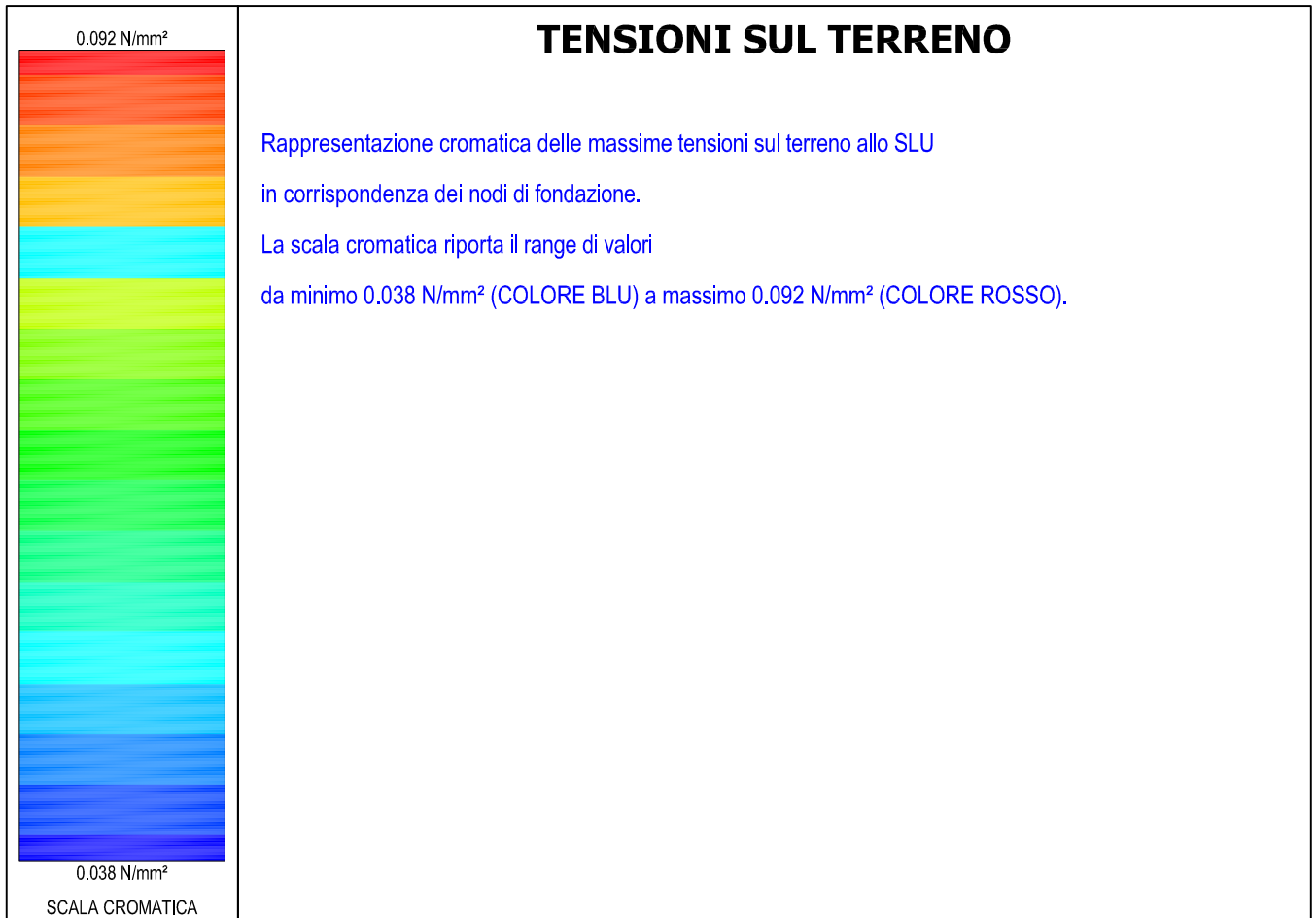
REAZIONI VINCOLARI



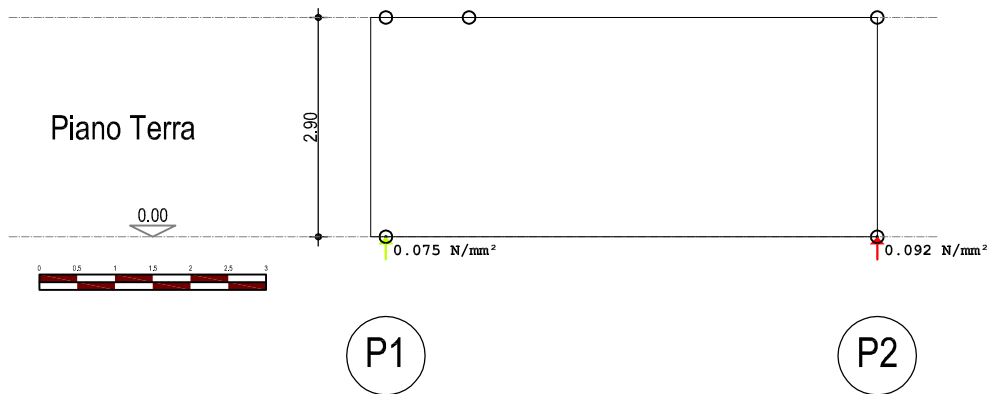
Telaio P3-P4-P5-P6

REAZIONI VINCOLARI





Telaio P1-P2
TENSIONI SUL TERRENO



TENSIONI SUL TERRENO
Telaio P3-P4-P5-P6

