

COMUNE DI MONOPOLI

PROVINCIA DI BARI

RECUPERO IDROGEOLOGICO DEI SOTTOPASSI FERROVIARI

- PROGETTO ESECUTIVO - 1° stralcio
Sistemazione via Arenazza



PROGETTAZIONE:

Studio Romanazzi - Boscia e Associati S.r.l.

Prof. Ing. Eligio ROMANAZZI (Direttore Tecnico)

Dott. Ing. Giovanni F. BOSCIA (Direttore Tecnico)

Dott. Ing. Sebanino GIOTTA

Dott. Ing. Fabio PACCAPELO

IL R.U.P.:

Geom. Marino MUOLO

Relazione di verifica statica del muro d'ala esistente

ALLEGATO

A.5.4

AGG.

00 Elaborazione progetto esecutivo 1° stralcio
01 Integrazioni richieste con nota mail R.F.I. del 14/10/2014
02 Rielaborazione a seguito di richiesta FF.S 18/06/2015
03 Emesso per consegna finale

DATA

Maggio 2012
Ottobre 2014
Giugno 2015
Novembre 2015

SCALA

SOMMARIO

1. PREMESSA.....	2
2. IPOTESI E VERIFICHE CONDOTTE	2
3. RAPPRESENTAZIONE ED INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI OTTENUTI.....	5
4. DESCRIZIONE INTERVENTO.....	8

1. PREMESSA

Nella presente relazione tecnica strutturale è stata effettuata la verifica statica del muro d'ala esistente a seguito dell'esecuzione dei due fori per il passaggio delle condotte del DN400 e DN700. Nel paragrafo 4 della presente relazione è riportato il particolare di dettaglio dell'innesto di tali tubazioni nel muro d'ala esistente e la descrizione degli accorgimenti tecnici che saranno adottati.

2. IPOTESI E VERIFICHE CONDOTTE

Poiché non è stato possibile acquisire presso l'ufficio tecnico delle FF.SS. la documentazione ufficiale (grafica e descrittiva) contenente i dati alla base delle verifiche strutturali, ovvero la geometria e la dislocazione plano-altimetrica della parete e della sua fondazione, nonché le caratteristiche tecniche e la qualità dei materiali strutturali di cui essa è stata costituita, dette informazioni sono state ricavate come di seguito descritto:

- rilievo condotto *in loco* per quel che concerne lo sviluppo planimetrico e gli spessori della parete. Lo sviluppo planimetrico è individuabile nell'elaborato 8.2 – “*Recapito finale: Planimetria delle opere con distanze dalla ferrovia*”, gli spessori osservati sono due: 80 cm per i primi 5,00 m della parete, 40 cm lungo l'intera spezzata che costituisce la restante parte della parete.
- per quanto attiene l'altezza della parete, è stata ipotizzata un'altezza complessiva maggiore di circa 20 cm rispetto alla profondità del punto più basso delle forature da effettuarsi, ovvero una altezza totale di circa 5,20 m.
- come opera di fondazione, è stata ipotizzata, lungo l'intero sviluppo lineare della parete, la presenza di una trave di fondazione posta simmetricamente rispetto alla parete e caratterizzata da una sezione trasversale rettangolare pari a 2,40 x 0,80 m.
- per quel che riguarda l'individuazione della tipologia di calcestruzzo e delle barre d'armatura con cui è stata confezionata la parete, esse sono state individuate in ragione dell'impegno statico della parete, nonché di quelle che erano, all'epoca della sua realizzazione, le tipologie di calcestruzzo e di barre d'armature solitamente impiegate per opere similari; in tale ottica è stato individuato un calcestruzzo di classe R_{ck} 300 ed armature del tipo Feb 44k. Per quel che riguarda i diametri delle barre d'armature, si è ipotizzata la presenza di barre ϕ 22 per i ferri verticali e barre ϕ 18 per le armature di ripartizione orizzontali, entrambe con spaziatura 20 cm.

Le verifiche di resistenza sono state condotte in ottemperanza alle seguenti normative vigenti:

- **D.M. 14.01.2008** *Norme Tecniche sulle Costruzioni.*
- **Circ. Min. n. 217 del 02 febbraio 2009** *Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.*
- **D.M. LL. PP. 11-03-88** *Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.*
- **Circolare Ministeriale del 24-07-88, n. 30483/STC.**
- **Legge 02-02-74 n. 64, art. 1 - D.M. 11-03-88** *Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e*

sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

In tale ambito, è stato adottato il metodo di verifica agli stati limite; per quanto concerne il tipo di analisi utilizzata, si è proceduto effettuando una analisi dinamica lineare con determinazione dei modi di vibrare della costruzione (analisi modale).

Ai fini della determinazione dell'azione sismica è stato ipotizzato un suolo di fondazione appartenente alla cat. A, un tipo di costruzione 2 (per una vita nominale $VN \geq 50$ anni), una classe d'uso II con conseguente individuazione dello stato limite di danno (SLD stato limite d'esercizio) e dello stato limite di salvaguardia della vita (SLV stato limite ultimo).

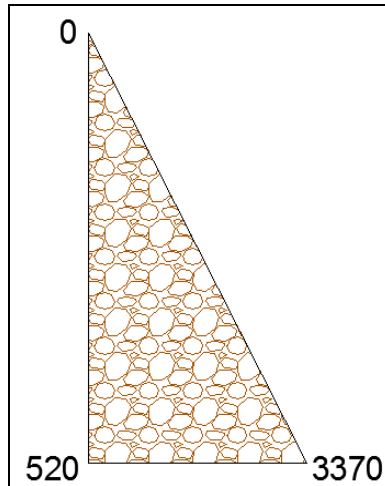
Altresì, per quanto concerne la geometria della parete, la qualità del calcestruzzo con cui è costituita, la qualità, il diametro ed il passo delle armature al suo interno, poiché non è stato possibile acquisire presso l'ufficio tecnico delle FF.S. la documentazione ufficiale (grafica e descrittiva) contenente tali informazioni, esse sono state ricavate come di seguito descritto:

- rilievo condotto in loco per quel che concerne lo sviluppo planimetrico e gli spessori della parete. Lo sviluppo planimetrico è individuabile nell'elaborato 8.2 – "Recapito finale: Planimetria delle opere con distanze dalla ferrovia", gli spessori osservati sono due: 80 cm per i primi 5,00 m della parete, 40 cm lungo l'intera spezzata che costituisce la restante parte della parete.
- per quanto attiene l'altezza della parete, è stata ipotizzata un'altezza complessiva maggiore di circa 20 cm rispetto alla profondità del punto più basso delle forature da effettuarsi, ovvero una altezza totale di circa 5,20 m.
- come opera di fondazione, è stata ipotizzata, lungo l'intero sviluppo lineare della parete, la presenza di una trave di fondazione posta simmetricamente rispetto alla parete e caratterizzata da una sezione trasversale rettangolare pari a 2,40 x 0,80 m.

per quel che riguarda l'individuazione della tipologia di calcestruzzo e delle barre d'armatura con cui è stata confezionata la parete, esse sono state individuate in ragione dell'impegno statico della parete, nonché di quelle che erano, all'epoca della sua realizzazione, le tipologie di calcestruzzo e di barre d'armature solitamente impiegate per opere similari; in tale ottica è stato individuato un calcestruzzo di classe Rck 300 ed armature del tipo Feb 44k. Per quel che riguarda i diametri delle barre d'armature, si è ipotizzata la presenza di barre $\phi 22$ per i ferri verticali e barre $\phi 18$ per le armature di ripartizione orizzontali, entrambe con spaziatura 20 cm.

Per quanto attiene l'analisi dei carichi agenti sulla parete, è stata calcolata la spinta del terrapieno, supposto presente solo da un lato della parete e per un'altezza di 5,20 m pari rispetto a quella della parete stessa; in particolare, per il calcolo della spinta permanente e sismica sulle pareti verticali a contatto con il terrapieno esterno è stata utilizzata la teoria di Rankine considerando un coefficiente di spinta attiva pari a 0,32 in condizioni statiche e pari a 0,36 in condizioni sismiche, come risulta dall'applicazione della formula di Mononobe-Okabe riportata nell'Eurocodice 8 *Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture*.

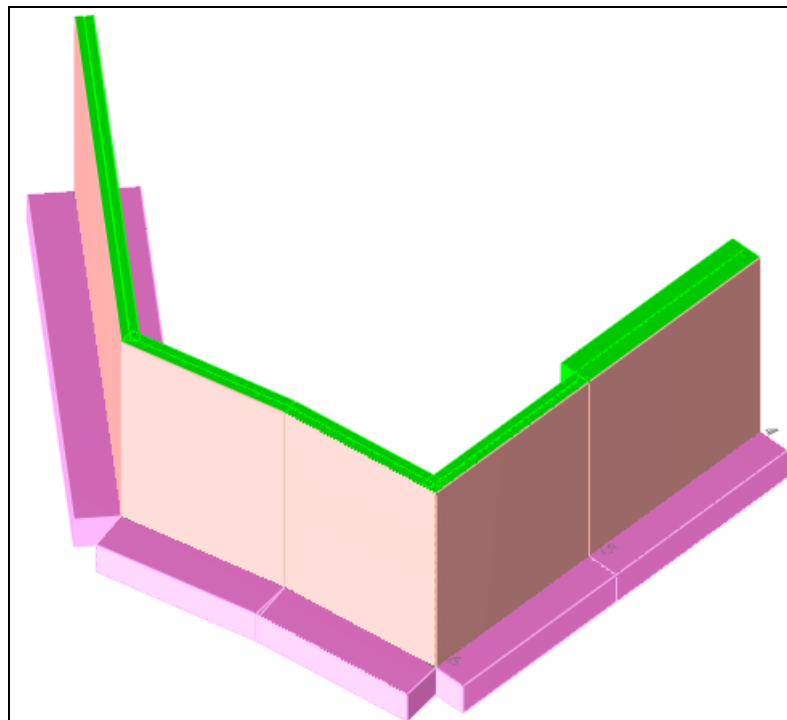
L'immagine successiva rappresenta graficamente l'azione del terrapieno sulla facciata della parete (il peso del terreno è stato posto pari a 1.800 daN/mc):



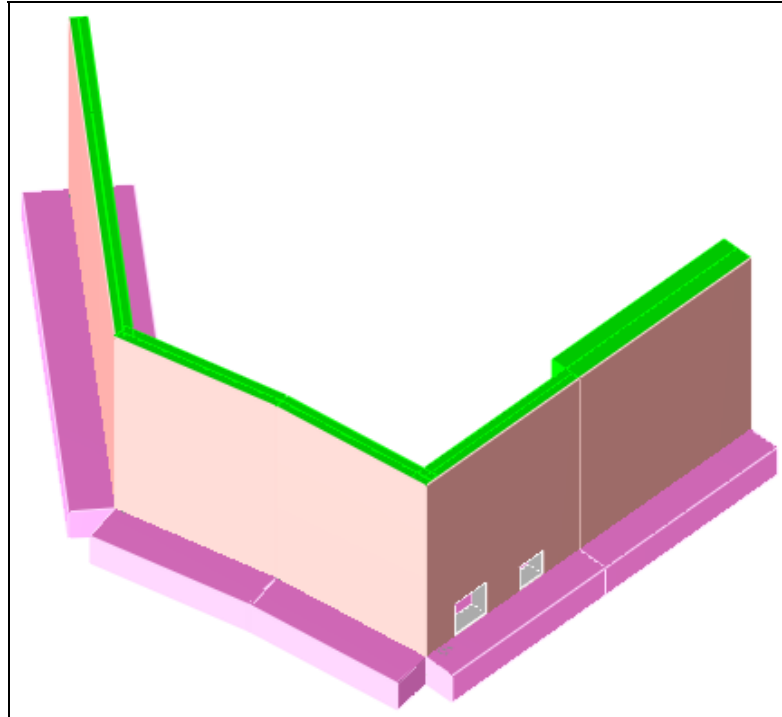
Rappresentazione grafica spinta terrapieno (misure in cm, carichi in daN/mq)

Come già precisato nel paragrafo precedente, sono state condotte le verifiche nelle due configurazioni prima e dopo l'intervento, ovvero prima e dopo l'effettuazione delle due forature necessarie per consentire la posa in opera delle condotte (DN 400 la minore e DN 700 la maggiore) previste nel progetto esecutivo.

Pertanto, mentre la prima verifica si riferisce alla configurazione relativa alla parete esistente e priva delle forature previste, la seconda verifica si riferisce alla configurazione relativa alla parete esistente su cui sono state eseguite le n. 2 forature previste; le due immagini successive rappresentano i modelli strutturali implementati nel software di calcolo utilizzato (SISMICAD vers. 11.7):



Modello strutturale parete priva delle forature previste

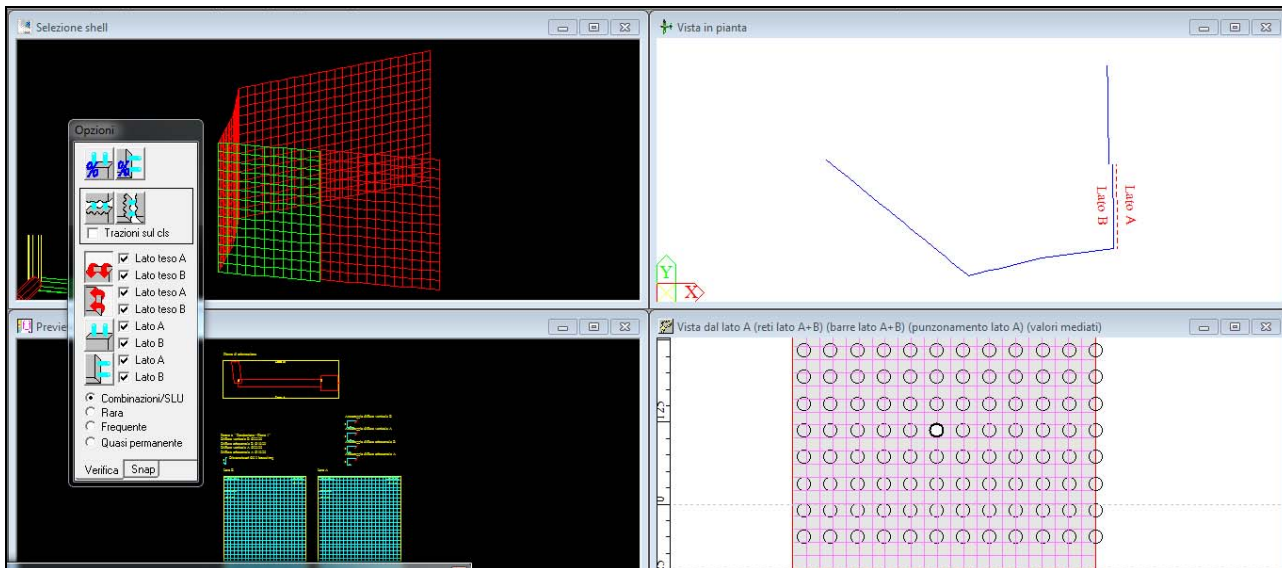


Modello strutturale parete con forature quadrate da effettuarsi (quella minore di lato 700 mm per l'alloggiamento della condotta DN 400, quella maggiore di lato 1000 mm per l'alloggiamento della condotta DN 700)

Il confronto tra le due verifiche è avvenuto in corrispondenza di due nodi reciprocamente vicini ed ubicati nelle immediate vicinanze delle forature da effettuarsi ed ha mirato ad accertare che il coefficiente di sicurezza rispetto al raggiungimento di entrambi gli stati limite previsti fosse, in entrambi i casi, maggiore dell'unità. Ad ogni buon conto, per completezza di esposizione, si allegano alla presente relazione i due tabulati completi e relativi alle due configurazioni verificate.

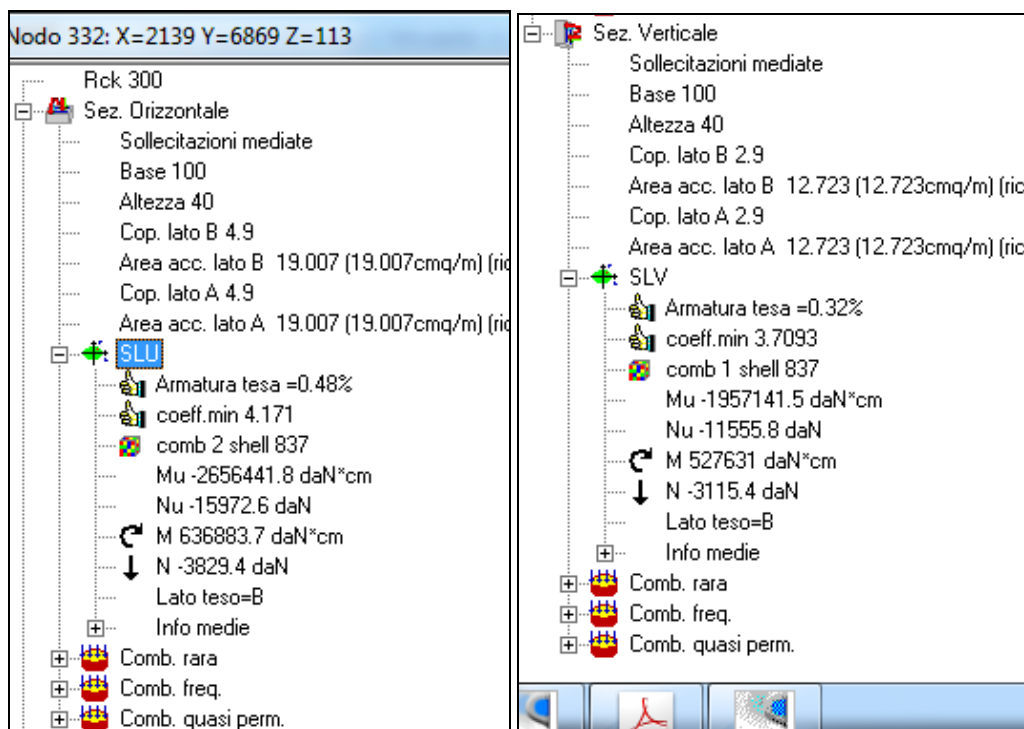
3. RAPPRESENTAZIONE ED INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI OTTENUTI

Nella verifica relativa alla situazione antecedente di parete priva di forature è stato considerato un nodo ubicato in una porzione di muratura immediatamente limitrofa alla zona oggetto d'intervento; in particolare è stato individuato il nodo identificato con il progressivo n. 332 di coordinate spaziali assolute $X = 2139$, $Y = 6869$, $Z = 113$ (dove la X e la Y sono coordinate planimetriche, mentre Z rappresenta l'altezza rispetto allo spiccatto della parete); in figura:



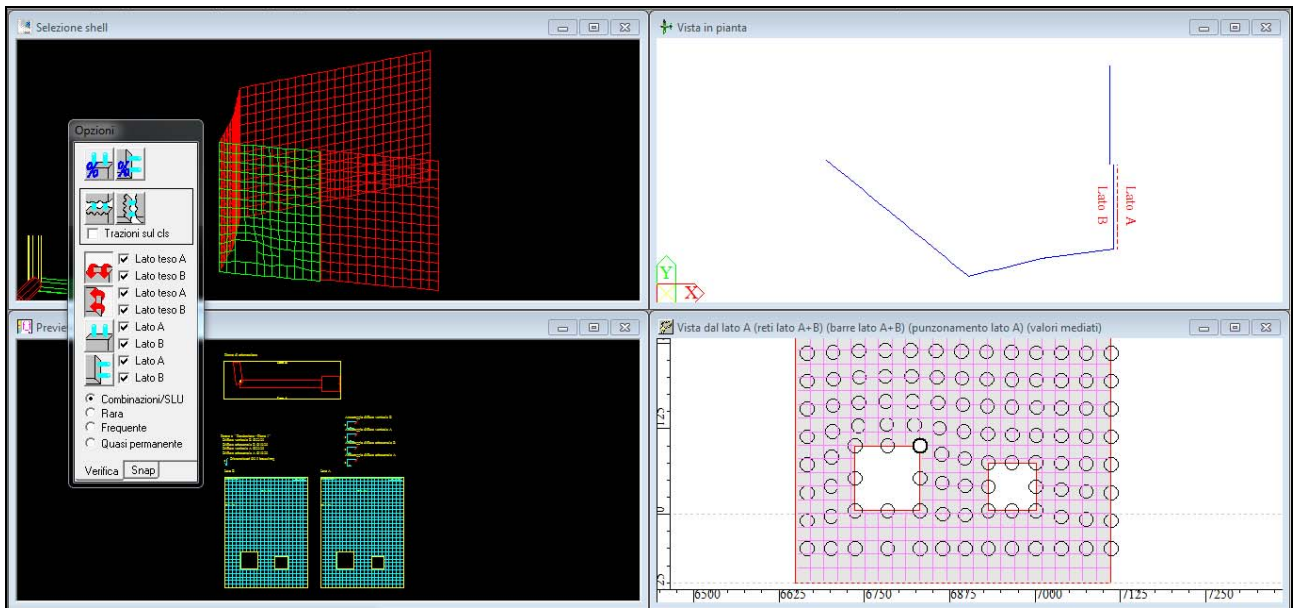
Schermata principale di verifica della parete tipo: in basso a destra individuazione del nodo n. 332 (circonferenza in grassetto con sfondo bianco)

Si mostra nel seguito la schermata rappresentativa delle verifiche allo stato limite ultimo per il succitato nodo n. 332:



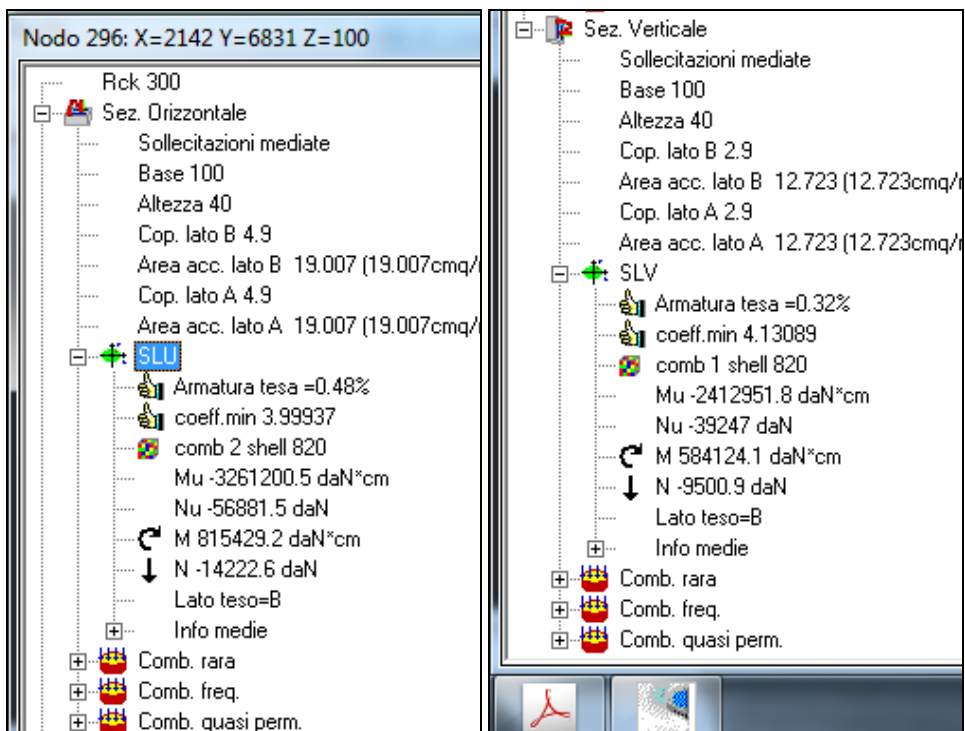
Rappresentazione della verifica agli stati limite ultimi per il nodo 332; come può facilmente evincersi, i coefficienti di sicurezza sono pari a 4,171 (SLU – sezione orizzontale) e 3,71 (SLV – sezione verticale)

Vediamo cosa accade alle verifiche quando si ipotizza la presenza di una foratura all'interno della parete; in tale ambito è stato individuato un nodo ubicato proprio in corrispondenza della foratura quadrata di lato 100 cm, ovvero il nodo identificato con il progressivo n. 296 di coordinate spaziali assolute $X = 2142$, $Y = 6831$, $Z = 100$. In figura si ha:



Schermata principale di verifica della parete tipo: in basso a destra individuazione del nodo n. 296 (circonferenza in grassetto con sfondo bianco)

Si mostra nel seguito la schermata rappresentativa delle verifiche allo stato limite ultimo per il succitato nodo n. 296:



Rappresentazione della verifica agli stati limite ultimi per il nodo 296; come può facilmente evincersi, i coefficienti di sicurezza sono pari a 3,999 (SLU – sezione orizzontale) e 4,130 (SLV – sezione verticale)

Dal confronto tra i coefficienti di sicurezza si evince che in entrambi i casi (assenza e presenza della foratura) tale parametro subisce variazioni in percentuale poco significative (dell'ordine del 2÷3 %); ciò si spiega considerando il notevole sviluppo lineare della parete piena rispetto alle dimensioni delle forature: lo sviluppo lineare delle zone ove si verificano deviazioni delle linee di flusso delle forze (dovute alla presenza delle forature) rappresentano un piccola percentuale rispetto all'intero sviluppo lineare della parete; ciò si traduce nella circostanza che anche l'aliquota del carico verticale che è costretto a deviare

rappresenta una contenuta percentuale del valore assoluto del carico complessivo e riesce ad ingenerare deboli concentrazioni di tensione non in grado di far raggiungere ai materiali strutturali lo stato limite ultimo.

In generale, il tabulato allegato nel seguito descrive e rappresenta le verifiche della parete nella configurazione post intervento, ovvero dopo l'effettuazione delle due forature necessarie per consentire la posa in opera delle condotte (DN 400 la minore e DN 700 la maggiore) previste nel progetto esecutivo.

In tale ambito, per quel che riguarda le verifiche a taglio della parete, esse sono state condotte alle seguenti quote:

1. + 6 cm da estradosso trave di fondazione, ovvero in corrispondenza della prima sezione orizzontale della parete (alla quota minore) ridotta a causa della presenza delle due forature;
2. + 74 cm da estradosso fondazione, ovvero in corrispondenza dell'ultima sezione orizzontale della parete (alla quota maggiore) ridotta a causa della presenza delle due forature;
3. + 104 cm da estradosso fondazione, ovvero in corrispondenza dell'ultima sezione orizzontale della parete ridotta a causa della presenza della foratura di dimensioni maggiori;
4. Quota estradosso parete (poco significativa data l'entità dei carichi agenti).

L'immagine proposta a pag. 82 del tabulato rappresenta graficamente quanto appena espresso. Tali verifiche sono consistite nell'accertare che, in corrispondenza delle succitate sezioni, la massima azione tagliante di progetto ($V_{d,max}$) risulti sempre inferiore rispetto alla massima resistenza a taglio della sezione con le armature ipotizzate (V_{Rd}).

4. DESCRIZIONE INTERVENTO

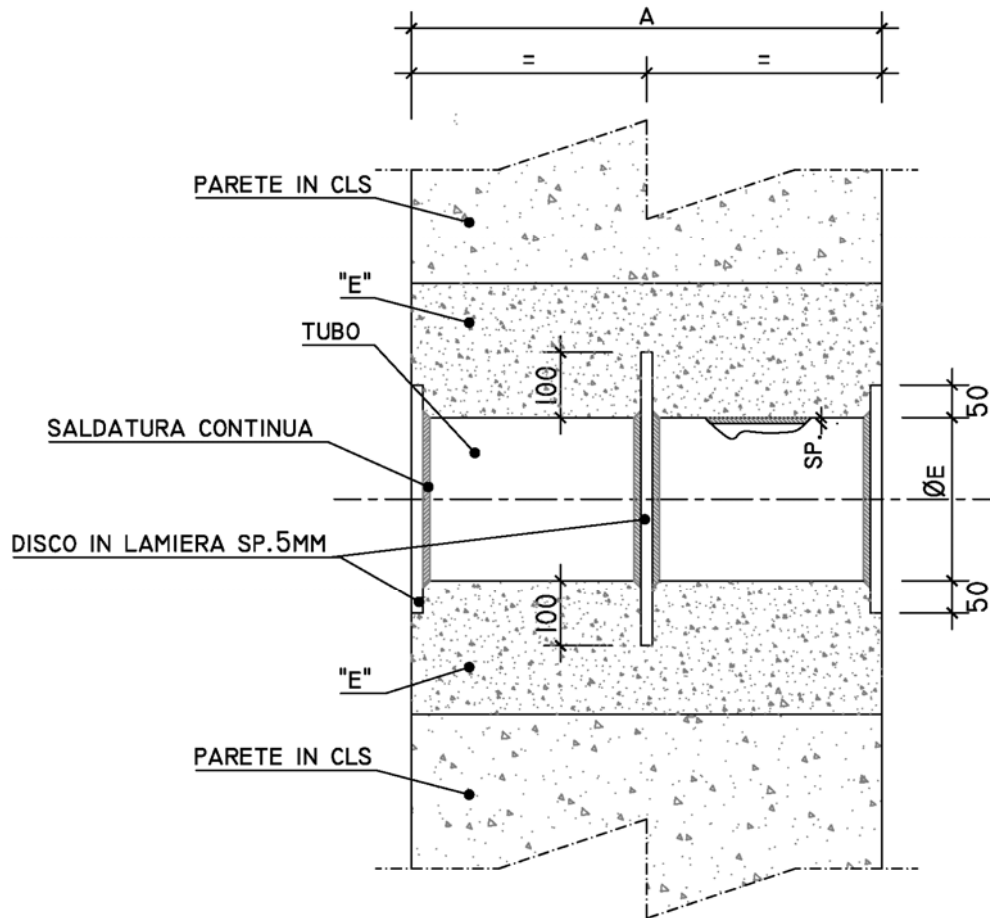
Come da titolo segue la descrizione delle modalità operative con cui intende procedersi durante le fasi esecutive dell'intervento:

- 1) demolizione delle n. 2 aree quadrate di lati 700 mm e 1000 mm all'interno della parete in calcestruzzo, eseguite mediante idrodemolizione del solo calcestruzzo lasciando in opera le barre d'armatura presenti, fino alla completa rimozione dell'intero spessore della parete, pari a circa 40 cm.
- 2) taglio delle barre d'armatura rimaste a nudo in corrispondenza della zona centrale destinata ad accogliere la tubazione prevista in progetto.
- 3) fissaggio di un tronco di tubazione in acciaio (DN 400 nella foratura di lato $d_1 = 700$ mm e DN 700 nella foratura di lato $d_2 = 1.000$ mm) all'interno della foratura, completo di n. 3 anelli in acciaio saldati in continuo lungo la superficie laterale del tronco stesso e puntualmente alle barre d'armature non tagliate e rimaste a nudo; le notevoli capacità statiche dell'acciaio, unitamente alla rigidità flessionale dell'elemento unico costituito dalla tubazione circolare e dagli anelli di irrigidimento crea un **effetto arco** per le linee di flusso delle tensioni in corrispondenza della foratura tale da impedire l'instaurarsi di fenomeni di concentrazione di tensione all'interno della parete in calcestruzzo armato nei punti immediatamente sovrastanti e sottostanti le forature.
- 4) fornitura e posa in opera di barre d'armatura aggiuntive del tipo B450C conformi al *D.M. 14.01.2008 NTC* in corrispondenza delle estremità delle forature, adeguatamente saldate sia alle barre d'armatura già presenti, sia agli anelli circolari solidali al tronco di condotta in acciaio, al fine di scongiurare la

possibilità d'insorgenza di lesioni nel calcestruzzo derivanti da concentrazioni di tensioni di trazione.

- 5) bonifica dei ferri rimasti a nudo mediante robusta spazzolatura o sabbiatura, con applicazione successiva di uno specifico protettivo ad effetto passivante e inibitore della corrosione rispondente ai principi definiti nella UNI EN 1504/9 (*"Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture in calcestruzzo: definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità. Principi generali per l'uso dei prodotti e sistemi"*) e ai limiti di accettazione indicati nella relativa UNI EN 1504/7 (*"Reinforcement corrosion protection"*), tipo MAPEFER della MAPEI, EMACO NanoCrete AP della BASF o similari.
- 6) preparazione della superficie d'aggrappo, costituita dalla superficie laterale delle forature eseguite, mediante accurata pulizia dalle sostanze o depositi estranei (elementi che possono pregiudicare l'adesione, quali ruggine, olio, grassi, pellicole superficiali o sfarinati), il tutto al fine di ottenere una superficie di aggrappo sana e resistente.
- 7) applicazione di adesivo epossidico fluido, privo di solventi, bicomponente, per incollaggi, riprese di getto ed ancoraggi, da applicarsi sulla superficie laterale delle forature eseguite, rispondente ai risponde ai limiti di accettazione indicati nella UNI EN1504/3 (tipo CONCRETSIVE FLUIDO della BASF o similari).
- 8) reintegrazione dello spessore di parete rimossa con speciale malta cementizia, premiscelata, tixotropica, ad espansione contrastata in aria, resistente agli agenti aggressivi dell'ambiente, contenente fibre in poliacrilonitrile e rinforzata con fibre inorganiche flessibili e durevoli caratterizzate da lunghezza 12 mm, diametro 14 μm , resistenza a trazione 1.700 MPa, modulo elastico 72000 MPa, rispondente ai limiti di accettazione indicati nella UNI EN 1504/3 (tipo EMACO FORMULA TIXOFIBER, MAPEGROUT RAPIDO della MAPEI o similari).

STANDARD DI INGHISAGGIO TRONCHETTO IN PARETE ESISTENTE



"E" - PARETE IN CLS	
1	TAGLIO E DEMOLIZIONE
2	SPAZZOLATURA FERRI DI ARMATURA; TRATTAMENTO MEDIANTE APPLICAZIONE DI DUE MANI DI UN PRODOTTO BICOMPONENTE A BASE CEMENTIZIO-POLIMERICA, INIBITORE DI CORROSIONE
3	POSA IN OPERA DI MALTA CEMENTIZIA TIXOTROPICA FIBRORINFORZATA