

PIANO DI SVILUPPO E COESIONE DEL MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA SICUREZZA ENERGETICA

D.P.C.M. 15.10.2015

Interventi per la bonifica ambientale e rigenerazione urbana dell'area di Bagnoli – Coroglio.

APPALTO MISTO DI SERVIZI DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA PER LA PROGETTAZIONE DEFINITIVA E COORDINAMENTO DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE PER APPALTO INTEGRATO, COMPRESIVO DI SERVIZI DI INDAGINI E DI LAVORI DI TEST DI DIMOSTRAZIONE TECNOLOGICA, OLTRE AI SERVIZI DI DIREZIONE DEI LAVORI E DI COORDINAMENTO DELLA SICUREZZA IN FASE DI ESECUZIONE, AFFERENTE ALL'INTERVENTO DENOMINATO "RIMOZIONE COLMATA, BONIFICA DEGLI ARENILI EMERSI "NORD" E "SUD" E RISANAMENTO E GESTIONE DEI SEDIMENTI MARINI COMPRESI NELL'AREA DI RILEVANTE INTERESSE NAZIONALE DI BAGNOLI-COROGLIO" (NA)"

CIG: 87792756EA – CUP: C65E19000350001 – CUP: C65E19000390001



Presidenza del Consiglio dei Ministri
IL COMMISSARIO STRAORDINARIO DEL GOVERNO
PER LA BONIFICA AMBIENTALE E RIGENERAZIONE URBANA
DELL'AREA DI RILEVANTE INTERESSE NAZIONALE
BAGNOLI - COROGLIO



STAZIONE APPALTANTE



Funzione Servizi di Ingegneria
Direzione Area Tecnica
Ambiente:
Ing. Edoardo Robortella Stacul

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO: Ing. Lorenzo MORRA

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO

_PROGER S.p.A. (mandataria) _FINALCA INGEGNERIA S.r.l.
_AMBIENTE S.p.A. _3BA S.r.l.
_RINA CONSULTING S.p.A. _DHI SRL A SOCIO UNICO
_ARCADIS ITALIA S.r.l. _ASPS Servizi Archeologici s.n.c.

Coordinatore della Progettazione e Responsabile della Integrazione delle Relazioni Specialistiche PMI

_Ing. M. Balzarini (RINA)

Responsabile Paesaggio, Ambiente, Naturalizzazione, Agroalimentare, Zootecnica, Ruralità, Foreste (CAT.P.03)

_Ing. L. Rossi (ARCADIS)

Responsabile Paesaggio, Ambiente, Naturalizzazione, Agroalimentare, Zootecnica, Ruralità, Foreste (CAT.P.01)

_Ing. E. Scanferla (PROGER)

Responsabile Strutture (CAT. S.03)

_Ing. A. Tomarchio (RINA)

Archeologo

_Dott. F. Tiboni (ASPS)

Responsabile Paesaggistica

_Ing. F. Tamburini (AMBIENTE)

Responsabile Aspetti Naturalistici e S.I.A.

_Ing. L. Bertolé (ARCADIS)

Responsabile della Modellazione Numerica

_Ing. A. Pedroncini (DHI)

Responsabile Impianti (CAT. IB.06)

_Ing. G. Morlando (FINALCA)

Responsabile Acustica

_Ing. C. Di Michele (PROGER)

Responsabile Geologia

_Geol. M. Sandrucci (PROGER)

Coor. Sicurezza in fase di Progettazione

_Ing. N. Sciarra (PROGER)

BIM MANAGER

_Geom. G. Pietrolungo (PROGER)

Responsabile Rilievi

_Geol. L. Bignotti (AMBIENTE)

Responsabile Indagini

_Geol. M. Mannocci (AMBIENTE)

Resp. Test dimostrazione Tecno.

-Rimozione Sedimenti

_Geol. R. Costa (ARCADIS)

Resp. Test dimostrazione Tecno.

-Capping

_Geol. P. Mauri (AMBIENTE)

PROGETTO DEFINITIVO

ELABORATO

Relazione tecnica sull'intervento di confinamento in colmata

DATA	NOME	FIRMA
REDATTO 07/2023	Ing. Beatrice Noè	
VERIFICATO 07/2023	Ing. Marco Saleri	<i>ms</i>
APPROVATO 07/2023	Ing. Edoardo Robortella Stacul	
DATA 07/2023		
SCALA		
CODICE FILE		
2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00		

REVISIONE	DATA	AGGIORNAMENTI
Rev. 0	-	EMISSIONE
Rev. 1	-	
Rev. 2	-	



CIG: 87792756EA - CUP: C65E19000350001 - Rimozione Colmata e Bonifica Arenili - CUP: C65E19000390001 - Progettazione e Risanamento Sedimenti Marini

INVITALIA

APPALTO MISTO DI SERVIZI DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA PER LA PROGETTAZIONE DEFINITIVA E COORDINAMENTO DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE PER APPALTO INTEGRATO, COMPRESIVO DI SERVIZI DI INDAGINI E DI LAVORI DI TEST DIDIMOSTRAZIONE TECNOLOGICA, OLTRE AI SERVIZI DI DIREZIONE DEI LAVORI E DI COORDINAMENTO DELLA SICUREZZA IN FASE DIESECUZIONE, AFFERENTE ALL'INTERVENTO DENOMINATO "RIMOZIONE COLMATA, BONIFICA DEGLI ARENILI EMERSI "NORD" E "SUD" E RISANAMENTO E GESTIONE DEI SEDIMENTI MARINI COMPRESI NEL SITO DI RILEVANTE INTERESSE NAZIONALE DIBAGNOLI-COROGLIO (NA)".

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023

Rev.	Descrizione	Preparato	Controllato	Approvato	Data
0	First Issue	3BA	PROGER	SINA	20/07/2023

All rights, including translation, reserved. No part of this document may be disclosed to any third party, for purposes other than the original, without written consent of RINA Consulting S.p.A.



PROGER



ambiente s.p.a.
consulenza & ingegneria
esperienza per l'ambiente

ARCADIS

FINALCA
ingegneria s.r.l.

3BA s.r.l.
engineering and consulting



AS

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023

INDICE

	Pagina
INDICE DELLE FIGURE	2
1 PREMESSA	3
2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO	6
3 DOCUMENTO DI RIFERIMENTO	7
4 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI	8
5 INQUADRAMENTO TERRITORIALE	9
6 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE	10
7 STRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO	13
8 PARAMETRI GEOTECNICI DI RIFERIMENTO	18
9 METODOLOGIA DI CALCOLO	19
9.1 DESCRIZIONE DEL PROGRAMMA	19
9.2 MODELLO CONCETTUALE	19
9.3 MODELLAZIONE DEL TERRENO	20
10 CRITERI DI CALCOLO DELLE OPERE	24
10.1 CENNI NORMATIVI	24
10.2 CARICHI APPLICATI ALLE STRUTTURE	26
10.2.1 Peso proprio	26
10.2.2 Spinta del terreno	26
11 VERIFICHE E RISULTATI PALANCOLE	27
11.1 FASISTICA DI RIMOZIONE DELLA COLMATA	29
11.2 FASI DI CALCOLO – SINGOLA FILA PALACOLE	30
11.3 RISULTATI MODELLO DI CALCOLO	32
11.3.1 Sollecitazioni SLU	32
11.3.2 Spostamenti SLE	34
11.4 FASI DI CALCOLO – DOPPIA FILA PALACOLE	35
11.5 RISULTATI MODELLO DI CALCOLO	39
11.5.1 Sollecitazioni SLU	39
11.5.2 Spostamenti SLE	41
11.6 VERIFICHE STRUTTURALI	42
11.6.1 Palancole AZ 36-700N	43
11.6.2 Puntone HEB200	44
12 VERIFICHE E RISULTATI DIAFRAMMI	46
12.1 FASI DI CALCOLO	47
12.2 RISULTATI MODELLO DI CALCOLO	50
12.2.1 Sollecitazioni SLU	50
12.2.2 Spostamenti SLE	51
12.3 VERIFICHE STRUTTURALI	52
12.3.1 Verifica flessione diaframmi	52
12.3.2 aVerifica taglio diaframmi	54
13 VERIFICHE DI STABILITÀ	55
13.1 SOFTWARE E METODO DI CALCOLO	55
13.1.1 Metodo di Bishop	55
13.1.2 Verifiche di stabilità e fattori di sicurezza	57
13.2 RISULTATI DELLE VERIFICHE	57

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023

Indice delle Tabelle

Tabella 7.1: Stratigrafia di riferimento colmata	16
--	----

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1-1: Ubicazione rappresentativa delle opere in progetto	5
Figura 5-1: Figure Inquadramento geografico del Golfo di Pozzuoli	9
Figura 6-1: stralcio del Foglio 446-447 (Napoli) della Carta Geologica d'Italia in scala 1: 50.000 con relativa legenda	11
Figura 7-1: Sezione geologica schematica della "Depressione di Bagnoli-Fuorigrotta" (semplificata).	13
Figura 7-2: Ubicazione sondaggi ambientali –Appalto Specifico n.2 – Contratto Quadro Indagini di laboratorio e perforazioni (Invitalia S.p.a. 2018)	15
Figura 7-3: A sinistra le curve di livello del top e a destra quelle del bottom (m s.l.m.) dei terreni di riporto costituenti la colmata	15
Figura 7-4: Planimetria con tracce delle sezioni stratigrafiche	17
Figura 7-5: Planimetria con tracce e sezioni stratigrafiche	17
Figura 8-1: Parametri fisico-meccanici del modello geotecnico della colmata e degli arenili	18
Figura 11-1: Ubicazione rappresentativa delle palancole	27
Figura 11-2: Spessore medio terreno insaturo	28
Figura 11-3: Spessore medio terreno saturo	29
Figura 11-4: Inviluppo momento flettente massimo	33
Figura 11-5: Inviluppo sollecitazione di taglio massimo	34
Figura 11-6: Spostamento massimo	35
Figura 11-7: Inviluppo momento flettente massimo	39
Figura 11-8: Inviluppo sollecitazione di taglio massimo	40
Figura 11-9: Inviluppo reazione puntone HEB200	41
Figura 11-10: Spostamento massimo	42
Figura 11-11: Proprietà strutturali palancole	43
Figura 12-1: Ubicazione rappresentativa dei diaframmi	46
Figura 12-2: Inviluppo momento flettente massimo	50
Figura 12-3: Inviluppo sollecitazione di taglio massimo	51
Figura 12-4: Spostamento massimo	52
Figura 12-5: Dominio di resistenza M-N	53
Figura 13-1: Diagramma del corpo libero e poligono della forza per il metodo di Bishop	56
Figura 13-2: Fattore di sicurezza semplificato di Bishop	56
Figura 13-3: sezione di studio in Slope/W	58

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023

1 PREMESSA

Il presente documento è stato preparato nell'ambito dell'*Appalto misto di servizi di ingegneria e architettura per la progettazione definitiva e coordinamento della sicurezza in fase di progettazione per appalto integrato, comprensivo di servizi di indagini e di lavori di test di dimostrazione tecnologica, oltre ai servizi di direzione dei lavori e di coordinamento della sicurezza in fase di esecuzione, afferente all'intervento denominato "rimozione colmata, bonifica degli arenili emersi "Nord" e "Sud" e risanamento e gestione dei sedimenti marini compresi nel Sito di Rilevante Interesse Nazionale di Bagnoli-Coroglio (NA)".*

Il contesto in cui si inseriscono gli interventi di appalto integrato suddetti è stato delineato dal Piano di Risanamento Ambientale e di Rigenerazione Urbana di Bagnoli (PRARU), il cui Stralcio Urbanistico e relative Norme Tecniche Attuative (NTA) sono stati approvati nella Conferenza di Servizi (CdS) del 14 giugno 2019 e adottati dal Commissario con Decreto n. 81 del 21 giugno 2019 e dal Presidente della Repubblica con D.P.R del 6 agosto 2019. Il PRARU prevede che saranno ricostituite le caratteristiche originarie del sito, alterate dalle precedenti attività industriali con, come obiettivo primario, il ripristino della balneabilità dello specchio acqueo antistante il sito, tramite le seguenti azioni:

- Eliminazione degli scarichi incontrollati attualmente attivi
- Risanamento dei sedimenti inquinati a mare
- Ripascimento e bonifica degli arenili emersi
- Rimozione delle scogliere di protezione presso l'arenile Nord e Sud

Il PRARU prevede quindi una nuova configurazione della costa all'interno della baia con le seguenti caratteristiche:

- Rimozione integrale della colmata
- Valorizzazione del Pontile Nord.
- Demolizione dei tre pontili
 - Pontile Sud
 - Pontile Sala Pompe
 - Pontile Città delle Scienze
- Realizzazione spiaggia pubblica nel tratto di lungomare compreso tra l'Arenile Nord e l'Arenile Sud avente le seguenti caratteristiche:
 - 2 km di lunghezza
 - 60 m larghezza minima
 - 120 m larghezza massima
 - 21,3 ettari di superficie
 - Porto turistico a Nisida

Al fine di consentire di completare/realizzare tutti gli interventi necessari e prodromici alla piena rigenerazione urbana definita dal PRARU, INVITALIA ha predisposto il Progetto di Fattibilità Tecnico-Economica per la realizzazione degli interventi di bonifica e risanamento ambientale delle aree a terra e dell'area marina nell'area del Sito di Rilevante Interesse Nazionale di Bagnoli Coroglio (di seguito PFTE) sottoposto a Conferenza di Servizi preliminare conclusasi nell'agosto 2020.

Il PFTE è stato articolato sostanzialmente in tre principali linee di intervento:

- aree a terra, sia di proprietà di INVITALIA che di competenza in qualità di Soggetto Attuatore in quanto ricadenti all'interno del SIN;
- MACROAREA 1: area di colmata, per la quale si deve intendere ricompresa anche la fascia degli arenili emersi a nord (arenile Bagnoli) e a sud (arenile Coroglio) nonché la porzione di sedimenti sui quali insiste l'area di colmata vera e propria;

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023

- **MACROAREA 2:** area marina, comprendente le volumetrie di sedimenti sommersi ricadenti all'interno del SIN, al netto di quelli di cui al punto precedente.

Lo scopo della presente relazione è la verifica delle opere di sostegno da realizzarsi per la rimozione del materiale della colmata e la sua sostituzione con materiale non contaminato.

In particolare si prevede la realizzazione delle seguenti opere di sostegno di due differenti tipologie:

- opere definitive per la protezione e il confinamento del materiale presente al di sotto del pontile nord:
 - o Diaframmi in calcestruzzo di spessore pari a 0.8m e lunghezza pari a 20m
- opere provvisorie per garantire il sostegno del muro perimetrale di Via Caroglio:
 - o Per scavi $h \leq 3.3m$: singola fila di palancole tipo AZ 37-700N di lunghezza pari a 12m
 - o Per scavi $h > 3.3m$: doppia fila di palancole tipo AZ 37-700N di lunghezza pari a 12m e 10m

Di seguito si riporta la l'ubicazione rappresentativa delle opere di sostegno in pianta:

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023



Figura 1-1: Ubicazione rappresentativa delle opere in progetto

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- [1] D.M. 17 gennaio 2018- Norme Tecniche per le Costruzioni.
- [2] Circolare Esplicativa 21/01/2019 n. 7: Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni";
- [3] Circolare LL.PP. del 14.02.1974 n. 11951: Istruzioni relative alla legge 05.11.1971;
- [4] Legge 05.11.1971 n. 1086: "Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio normale e precompresso e a struttura metallica";

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023

3 DOCUMENTO DI RIFERIMENTO

- Foglio 446-447 (Napoli) della Carta Geologica d'Italia in scala 1: 50.000 e note alla carta.
- Evoluzione geomorfologica della depressione Bagnoli-Fuorigrotta: periferia urbana della città di Napoli (F. Russo, G. Calderoni, M. Lombardo, 1998)
- P22041-D-00-GE-RS-REL-01-00: Relazione geologica
- P22041-D-00-GE-RS-REL-04-00: Relazione geotecnica
- P22041-D-00-GE-RS-REL-05-00: Relazione sismica

4 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI

Con riferimento alle normative citate le strutture sono state verificate adottando i seguenti parametri di resistenza dei materiali.

Calcestruzzo C25/30

Resistenza caratteristica a compressione:	$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 24.90 \text{ MPa}$
Resistenza media a compressione:	$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 32.90 \text{ MPa}$
Modulo Elastico:	$E_{cm} = 22000 \cdot (f_{cm}/10)^{0.3} = 31447.16 \text{ MPa}$
Resistenza di calcolo a compressione:	$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 0.85 \cdot f_{ck} / 1.5 = 14.11 \text{ MPa}$
Resistenza a trazione media:	$f_{ctm} = 0.3 \cdot f_{ck}^{2/3} = 2.55 \text{ MPa}$
Resistenza a trazione:	$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} = 1.79 \text{ MPa}$
Resistenza a trazione di calcolo:	$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.19 \text{ MPa}$

Acciaio per palancole S355

Per spessori $t \leq 40 \text{ mm}$

Tensione di rottura caratteristica	$f_{tk} \geq 510 \text{ MPa}$
Tensione di snervamento caratteristica	$f_{yk} \geq 355 \text{ MPa}$

Per spessori $40 \text{ mm} < t \leq 80 \text{ mm}$

Tensione di rottura caratteristica	$f_{tk} \geq 470 \text{ MPa}$
Tensione di snervamento caratteristica	$f_{yk} \geq 335 \text{ MPa}$

Coefficienti di sicurezza

Resistenza delle sezioni di Classe 1-2-3-4	$\gamma_{M0} = 1.05$
Resistenza all'instabilità delle membrane	$\gamma_{M1} = 1.05$
Resistenza nei riguardi della frattura	$\gamma_{M2} = 1.25$
Modulo elastico	$E_s = 210000 \text{ MPa}$

Acciaio per barre di armatura B450C

Tensione di rottura caratteristica	$f_{tk} \geq 540 \text{ MPa}$
Tensione di snervamento caratteristica	$f_{yk} \geq 450 \text{ MPa}$
Tensione di snervamento di calcolo	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = f_{yk} / 1.15 = 391.3 \text{ MPa}$
Allungamento caratteristico	$\geq 7.5\%$
Modulo elastico	$E_s = 210000 \text{ MPa}$

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023

5 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

La piana di Bagnoli-Coroglio è un'area pianeggiante che affaccia sul Mar Tirreno nel settore orientale del Golfo di Pozzuoli, tra Pozzuoli e Napoli.

In particolare, l'area è delimitata ad ovest dal centro abitato di Bagnoli, a Nord da Fuorigrotta ad est dalla Collina di Posillipo e dall'Isola di Nisida, elemento di pregio paesaggistico. La piana e i rilievi che la circondano rappresentano parte integrante del complesso sistema vulcanico dei Campi Flegrei che, con la sua attività, ha determinato l'attuale configurazione strutturale del territorio.

La Piana di Bagnoli-Coroglio si sviluppa per circa 4 km, in senso SW-NE, in un territorio prevalentemente pianeggiante che va dalla linea di costa ad una quota di circa 50 m s.l.m. L'area ha una superficie di circa 7.5 km² e ha una forma quadrilatera trapezoidica.

L'area oggetto di intervento è densamente urbanizzata e presenta una viabilità sviluppata che si articola tra i diversi centri urbani: Bagnoli, Rione Cavalleggeri, Fuorigrotta e Posillipo. La viabilità dell'area è costituita da:

- ✓ Via Bagnoli e Via Diocleziano, al limite settentrionale del SIN
- ✓ Via Coroglio, tra la Colmata e l'area a terra, al limite occidentale del SIN.
- ✓ Via Pasquale Leonardi Cattolica e i suoi proseguimenti Via Cavalleggeri d'Aosta e Via Campegnà, in prossimità della Collina di Posillipo, al limite meridionale del SIN.
- ✓ Via Nisida che collega l'Isola di Nisida sia con il SIN che con la Discesa Coroglio e quindi con la Collina di Posillipo.
- ✓ Via Enrico Coccia, che attraversa nella parte centrale il SIN
- ✓ Le strade che fanno parte della rete stradale principale più vicine all'area sono: il tratto della Tangenziale di Napoli da Pozzuoli a Fuorigrotta e il tratto di SP 303 che comprende Via Solfatara, Via San Gennaro Agnano, Viale John Fitzgerald Kennedy e Via Giulio Cesare
- ✓ Linea metropolitana dalla fermata Bagnoli – Agnano Terme, Agnano, Cavalleggeri Aosta, Napoli Campi Flegrei e Napoli Piazza Leopardi, che costeggia esternamente al perimetro del SIN gli abitati di Bagnoli, Rione Cavalleggeri e Fuorigrotta
- ✓ L'area portuale prossima al sito del Porto di Pozzuoli

Il focus sulla viabilità è stato inserito sia in relazione alla possibile movimentazione dei materiali coinvolti nel processo di bonifica da/per le aree di trattamento e/o deposito, sia in relazione alle considerazioni espresse nel presente documento per valutare l'eventuale interazione dei luoghi oggetto dello studio rispetto alle particolari condizioni di rischio vulcanico.



Figura 5-1: Figure Inquadramento geografico del Golfo di Pozzuoli

Fonte: Google Heart

6 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

Geologicamente, la città di Napoli ricade nel Foglio 446-447 (Napoli) della Carta Geologica d'Italia in scala 1: 50.000. La città è compresa nella Piana Campana che rappresenta un profondo graben carbonatico, come conseguenza delle fasi tettoniche del Pliocene superiore e nel Quaternario, colmato da depositi piroclastici e alluvionali associati a frequenti depositi marini e palustri; in conseguenza di ciò, l'assetto e la costituzione geolitologica del territorio derivano non soltanto dai processi tettonici che hanno dato origine alla Piana Campana, ma anche dai successivi eventi vulcanici dei Campi Flegrei e del Somma-Vesuvio.

Nello specifico l'area di Bagnoli, situata ad Ovest della città di Napoli si trova in corrispondenza dell'areale vulcanico dei Campi Flegrei. La struttura dei Campi Flegrei è fortemente condizionata dai due grandi eventi ignimbritici che hanno eruttato enormi volumi di magma e causato due sprofondamenti calderici 39mila anni fa, con l'eruzione dell'Ignimbrite Campana, e 15mila anni fa, con l'eruzione del Tufo Giallo Napoletano.

Entrambe sono eruzioni Pliniane e hanno avuto un'evoluzione simile, iniziando con una fase da colonna sostenuta che ha depositato prodotti da caduta, seguita dal collasso della colonna eruttiva con la formazione di correnti piroclastiche che hanno accumulato spesse successioni piroclastiche. Al contrario, lo stile eruttivo dei due eventi, e, conseguentemente, i tipi di depositi sono notevolmente diversi. Quella dell'Ignimbrite Campana è un'eruzione magmatica e la fase esplosiva è controllata dai gas interni mentre quella del Tufo Giallo Napoletano è una delle rare eruzioni di tipo freatopliniano.

Il graben nel quale è posizionato l'area di progetto è denominato depressione tettonica di Bagnoli-Fuorigrotta e si trova ad Ovest della città di Napoli.

Situata tra il campo policroterico di Agnano e la dorsale di Posillipo, la depressione di Bagnoli-Fuorigrotta deve il suo assetto all'attività vulcanica e tettonica legata alla storia eruttiva dei Campi Flegrei degli ultimi 12 mila anni.

La serie sedimentaria che costituisce il riempimento della depressione è costituita principalmente da sedimenti di origine vulcanica subaerei e marini depositatisi in un'area caratterizzata da prevalente subsidenza. A questi sedimenti sono spesso intercalati depositi alluvionali, limno-palustri e paleosuoli.

La depressione si è individuata, come bacino di sedimentazione marina, con il collasso vulcano-tettonico che, 12 mila anni fa circa, originò la caldera Flegrea. Essa fu ristretta e confinata spazialmente dalla costruzione, in seguito a numerose eruzioni prevalentemente esplosive, del campo policroterico di Agnano che, in due fasi distinte, tra 11 e 3.7 mila anni fa circa, contribuì all'aggradazione della depressione bacinale con conseguente avanzamento della linea di costa e formazione del Terrazzo di Bagnoli-Fuorigrotta.

Tra 5.5 e 3.7 mila anni fa, avvenne l'ultima fase di grande attività del campo di Agnano (eruzioni di Celle-Monte Sant'Angelo, Monte Spina, La Solfatara, Monte Olibano, Astroni, ecc.).

La risalita eustatica del livello marino insieme ad una marcata subsidenza di natura bradisismica consentirono che a valle del Terrazzo, nella Piana di Coroglio, continuasse la sedimentazione marina, intervallata da episodi continentali di tipo limno-palustri. Da circa 1.8 ka, con la formazione di un cordone dunare lungo la costa, la Piana di Coroglio ha assunto l'attuale fisionomia. Da questo momento essa è stata oggetto solo di movimenti verticali bradisismici la cui entità è stata tale che il mare non ha più potuto avanzare su di essa.

Di seguito si riporta lo stralcio del Foglio 446-447 (Napoli) della Carta Geologica d'Italia in scala 1: 50.000.

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023

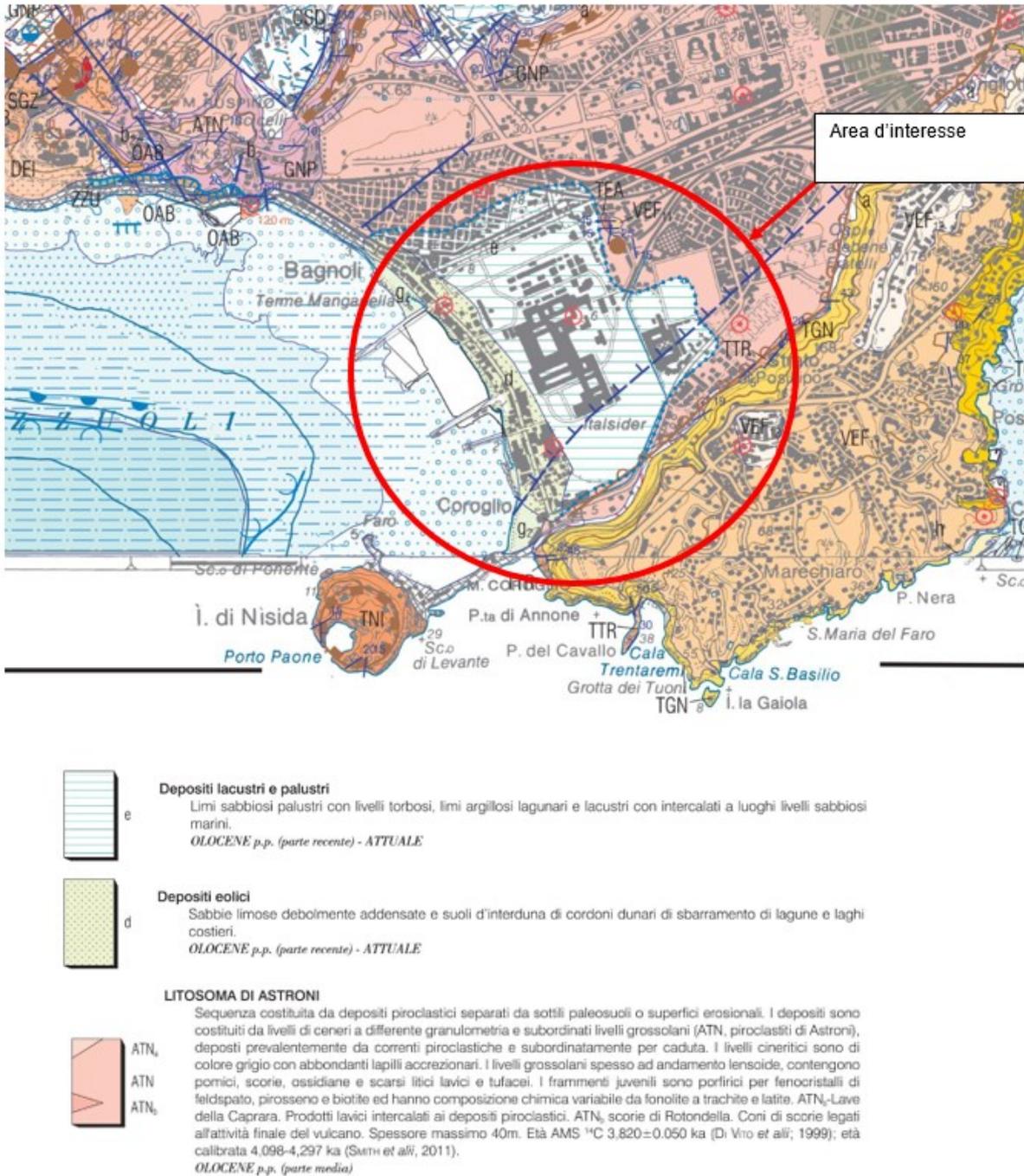


Figura 6-1: stralcio del Foglio 446-447 (Napoli) della Carta Geologica d'Italia in scala 1: 50.000 con relativa legenda

L'attività vulcanica di Astroni viene evidenziata all'interno del Foglio 446-447 (Napoli) della Carta Geologica d'Italia in scala 1: 50.000 come litosoma di Astroni (ATN). Trattasi di una sequenza complessa costituita da depositi piroclastici separati da sottili paleosuoli o superfici erosionali. I depositi sono costituiti prevalentemente da livelli di

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023

cenieri a differenti granulometrie e subordinati livelli grossolani. I livelli cineritici sono di colore grigio generalmente ricchi di lapilli e spesso coesivi.

Dopo questa fase si alternarono i numerosi eventi di trasgressione e regressione marina che diedero origine ai depositi che occupano attualmente la gran parte dell'area ex Italsider, trattasi di sabbie e limi di ambiente litorale attuale e recente. Si tratta di depositi generalmente poco addensati, sovente rimaneggiati e localmente coalescenti con depositi antropici costituiti da scorie di lavorazione. Sono anche presenti depositi di origine palustre a granulometria prevalentemente limosa con livelli torbosi.

La depressione risulta colmata con prodotti di diversi ambienti deposizionali e diverse dinamiche sedimentologiche (oscillazioni del livello medio mare, alluvioni, lagune, paludi, eruzioni vulcaniche, etc.) che hanno caratterizzato l'evoluzione geologica di questo settore di territorio.

L'area della colmata nello specifico è caratterizzata in massima parte da terreno di riporto antropico che costituisce una coltre di spessore variabile.

I detriti accumulati, costituiti da materiale assai eterogeneo per natura, dimensioni e grado di compattazione, formano i terreni di riporto, cioè terreni la cui messa in posto è stata determinata dall'uomo. Nei depositi antropici si può trovare di tutto: materiale naturale in ogni granulometria ed origine, scarti di cava, manufatti e frammenti di laterizi, prodotti residuali dell'attività industriale, costituito da loppe di altoforno, scorie di acciaieria, pezzame lateritico frammentati a terreni vulcanici rimaneggiati, stratificati e distribuiti con spessori diversi in funzione della trasformazione, nel corso dei decenni, dei processi industriali, poggiati su un sub-strato formato in prevalenza da depositi limo-palustri e dunari.

Pertanto, caratterizzare un deposito antropico è un processo piuttosto complesso, poiché composto la tessitura è caotica.

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023

7 STRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO

Il territorio in cui risulta ubicata l'ex area industriale di Bagnoli ha risentito dell'intensa attività vulcanica e tettonica (bradisismo) degli ultimi millenni, alternata alle oscillazioni del livello del mare, che hanno contribuito nel tempo al riempimento della depressione tettonica di Bagnoli, con depositi caratterizzati da una forte disomogeneità sia in senso verticale che orizzontale.

Processi di urbanizzazione ed industrializzazione hanno portato ad una completa trasformazione morfologica del territorio e di conseguenza del "naturale" substrato geologico; infatti, si rinvencono, sia in affioramento che in profondità, depositi di riempimento e di colmata costituiti da terreno di riporto formato anche da una componente di materiale litoide di provenienza industriale frammisto a prodotti cineritici rimaneggiati che hanno ricoperto in modo disuniforme l'intera piana a costituire un nuovo orizzonte litologico

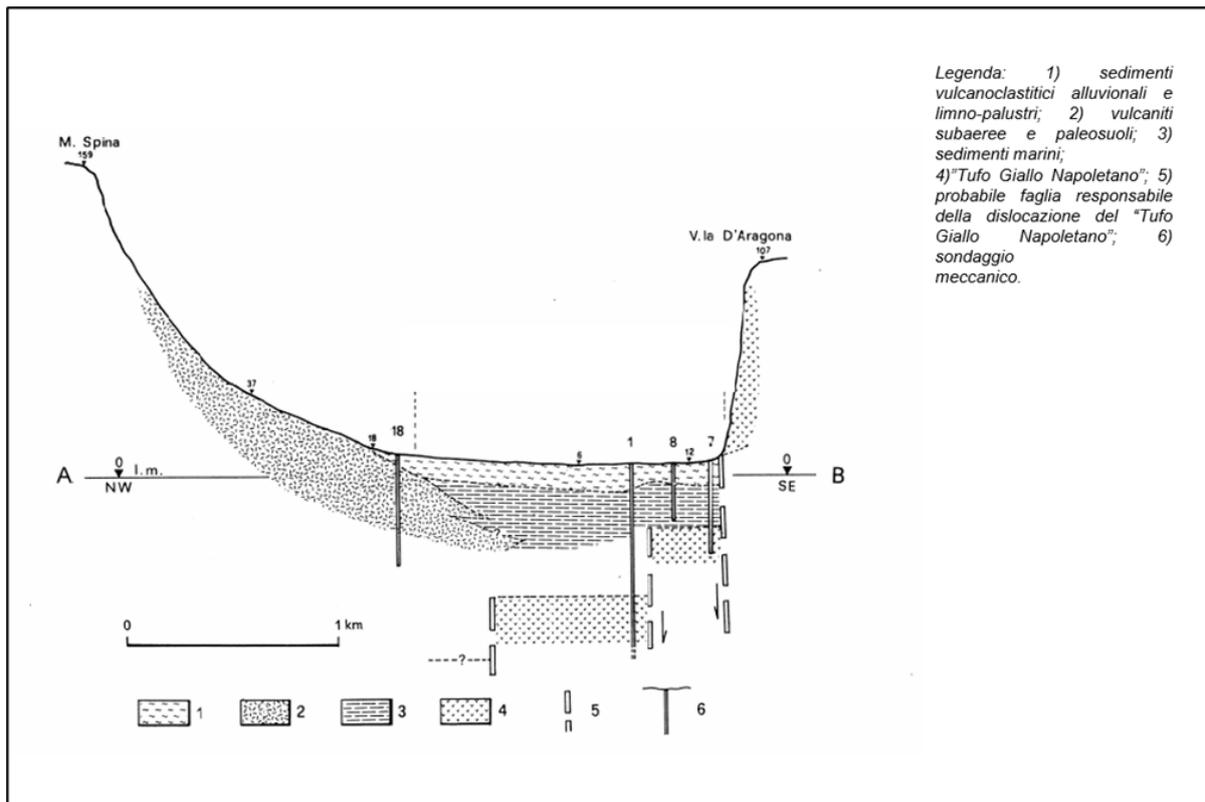


Figura 7-1: Sezione geologica schematica della "Depressione di Bagnoli-Fuorigrotta" (semplificata).

Le stratigrafie dei sondaggi analizzate, che si spingono oltre la coltre dei terreni di riporto, evidenziano le circostanze sopra descritte, infatti, si rinvencono a diverse profondità sedimenti di origine marina, paleosuoli e sedimenti fini depositi in ambienti a bassa energia di carattere lagunare o palustre (torbe, limi).

Nei depositi antropici si rileva una notevole eterogeneità di materiali; in particolare, si distinguono: materiale naturale in ogni granulometria ed origine, scarti di cava, manufatti e frammenti di laterizi, prodotti residuali dell'attività industriale, costituito da loppe di altoforno, scorie di acciaieria, pezzame lateritico frammisti a terreni vulcanici rimaneggiati, stratificati e distribuiti con spessori diversi in funzione della trasformazione, nel corso dei decenni, dei processi industriali, poggiati su un sub-strato formato in prevalenza da depositi limno-palustri e dunari.

In studi precedenti, si è cercato di definire la distribuzione areale del terreno di riporto, quantificandone anche lo spessore. Per far questo sono stati elaborati i dati provenienti da esame n. 346 stratigrafie di sondaggi geognostici provenienti da diverse campagne d'indagine realizzate nel tempo.

Questo studio ha permesso di definire la sequenza stratigrafica di seguito descritta dall'alto verso il basso:

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

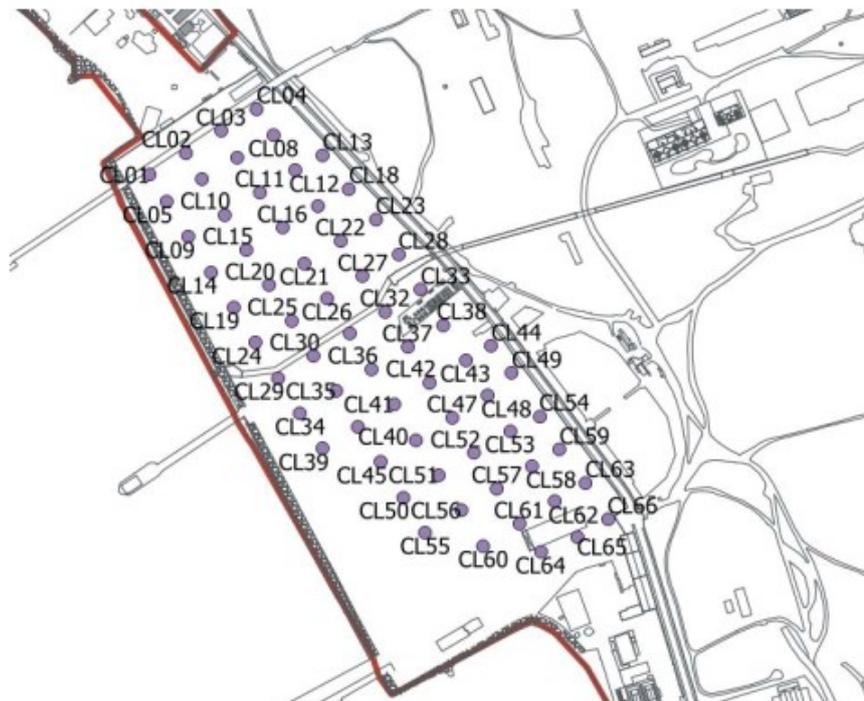
Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023

- ✓ Deposito di colmata: Costituisce il materiale di riporto antropico e piroclastiti rimaneggiate di spessore variabile da 2 a 9 metri.
- ✓ Prodotti del Vulcano Astroni (3700 anni b.p.) – piroclastite cineritica fine, di colore grigio, inglobante lapilli pomicei centimetrici; dal punto di vista granulometrico ascrivibile a sabbia da media a finissima. Spessore variabile da 4 a 10 m;
- ✓ Prodotti dei Vulcani Agnano-Montespina (4500 anni b.p.) – depositi pomiceo-cineritici e colate piroclastiche, intercalate a banchi coriacei saldati. Nelle parti distali si rinvencono depositi pomicei di ricaduta di colore rosato; sono presenti lapilli pomicei e litici centimetrici. Granulometricamente ascrivibile ad una sabbia molto grossolana e media. Spessore variabile da 7 a 10 m;
- ✓ Prodotti del Vulcano Santa Teresa – Ceneri costituite da scorie scure anche di 4-5 cm, immerse in matrice sabbiosa pomicea. Ascrivibile granulometricamente ad una sabbia grossolana e media. Spessore variabile da 10 a 20 metri.
- ✓ Sabbie fossilifere – sabbie a granulometria media grossolana con resti fossili di origine marina. Alla base si rinviene un deposito grossolano di spiaggia.
- ✓ Cineriti – cinerite di colore grigio-verde con rari inclusi pomici e frammenti litici. Ascrivibile granulometricamente ad una sabbia fine-silt. Spessore investigativo variabile da 6 a 13 m.

I 66 sondaggi realizzati nell'ambito dell'Appalto Specifico n.2 del Contratto Quadro per le perforazioni e le indagini di laboratorio del SIN Bagnoli-Coroglio per la caratterizzazione stratigrafica ed ambientale della Colmata e riportati all'interno della Relazione geologica, idrogeologica e sismica redatta per il PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA - BONIFICA E RISANAMENTO AMBIENTALE per INVITALIA evidenziano che lo spessore della coltre dei riporti, insistente su un'area in pianta di 202734 m², oscilla da un minimo di 1.50 m ad un massimo di 8.80 m, con una media pari a 4.82 m.

Da un calcolo grossolano, considerando l'area in pianta moltiplicata per lo spessore medio, è quindi possibile individuare un volume indicativo dei terreni di riporto in Colmata pari a circa 976810 m³.

Nella seguente figura viene rappresentata l'ubicazione dei n.66 sondaggi eseguiti in colmata per l'Appalto Specifico n.2.



RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023

Figura 7-2: Ubicazione sondaggi ambientali –Appalto Specifico n.2 – Contratto Quadro Indagini di laboratorio e perforazioni (Invitalia S.p.a. 2018)

L'implementazione geostatistica dei dati a disposizione ha permesso di individuare le quote del tetto della colmata (superficie topografica) e quota del letto della colmata (bottom dei terreni di riporto). Si riportano di seguito le immagini che rappresentano le due configurazioni.

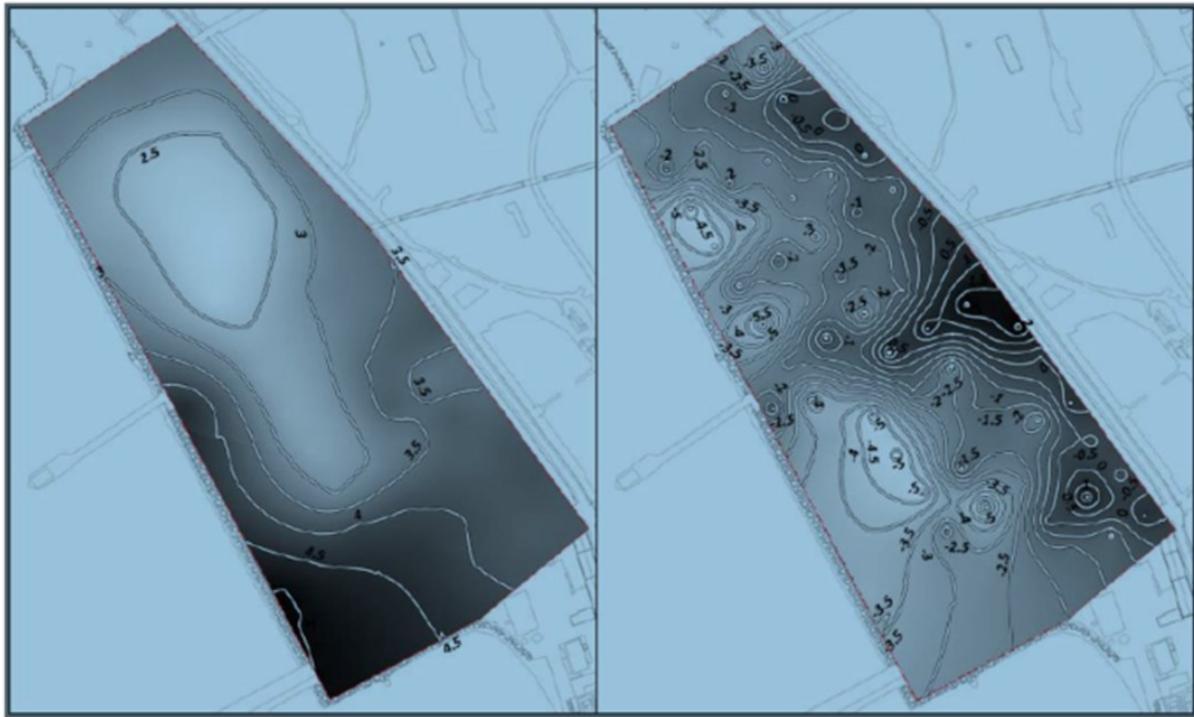


Figura 7-3: A sinistra le curve di livello del top e a destra quelle del bottom (m s.l.m.) dei terreni di riporto costituenti la colmata

Da una interpretazione delle curve di livello che rappresentano il bottom dei terreni costituenti il riempimento della colmata, si può ragionevolmente dire che la quota identificata come zero, espressa in m sul livello del mare, potrebbe essere grossolanamente interpretata come la linea di costa preesistente la colmata.

Dal punto di vista stratigrafico, la colmata risulta quindi costituita da due differenti strati il primo costituito dal riporto antropico e lo strato di base invece rappresenta il sedimento naturale. Nello specifico all'interno del primo strato si trova un telo di HDPE che suddivide il corpo vero e proprio della colmata e gli ultimi accumuli di riporti. Il corpo della colmata è costituito da terreno di riporto formato principalmente da sabbia limosa o da sabbia debolmente limosa/limo sabbiosa tra debolmente ghiaiosa e ghiaiosa con clasti eterogenei ed eterometrici. Lo strato di base, rappresentante il sedimento naturale, è costituito principalmente sabbia medio fine, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia limosa.

Lo spessore medio dei riporti è di circa 4,82 m con massimi di 8,80 (dato scaturito dai sondaggi dell'Appalto Specifico n.2); tale livello giace su sabbie ascrivibile all'antica spiaggia o fondali.

La sequenza stratigrafica dei terreni presenti nell'area in esame può essere ricostruita attraverso le stratigrafie di sondaggio relative alla campagna di indagini di Luglio 2019 (Appalto specifico n.5 – Indagini geotecniche finalizzate alla determinazione dei parametri fisico meccanici dei terreni nell'ambito dell'Accordo Quadro avente ad oggetto servizi di analisi di laboratorio, indagini e sondaggi nel Sito di Rilevante Interesse Nazionale di Bagnoli – Coroglio), anche se, per quanto riguarda la colmata e gli arenili le indagini disponibili sono scarse.

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

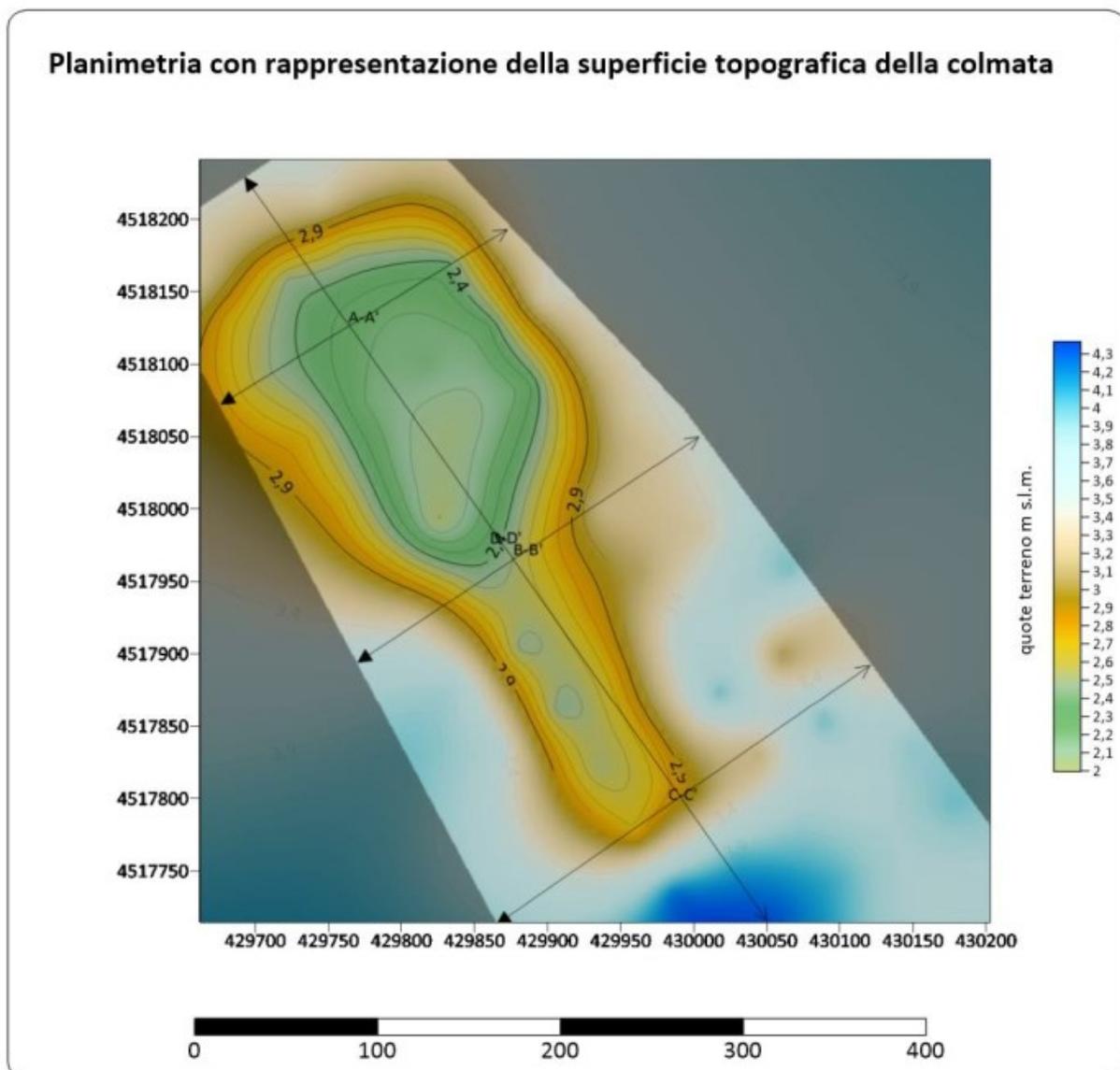
Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023

I terreni della colmata, quindi possono essere discretizzati attraverso una campagna di 24 prove SPT, che sostanzialmente hanno permesso di riconoscere solo due principali litologie, come descritto dalla relazione nel progetto di Fattibilità Tecnico Economica, ovvero il terreno di riporto antropico e le antiche sabbie marine di origine vulcanica. Dai dati relativi alle prove sugli arenili nord e sud e con i dati delle elaborazioni eseguite su materiali simili nell'area di terra, si ricava il seguente modello geologico per la colmata:

Tabella 7.1: Stratigrafia di riferimento colmata

Strato	Profondità [m]	Litologia
1	0-5	Riporto
2	>5	Sabbia grossolana – addensata (DM)

Di seguito si riporta la ricostruzione della superficie topografica del substrato nei pressi della colmata attraverso l'interpretazione dei sondaggi realizzati. La traccia mostra con triangolo nero il principio della sezione e con freccia la fine. Tutte le sezioni devono essere interpretate con il principio (triangolo nero) a sinistra e la fine (freccia) a destra.



RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023

Figura 7-4: Planimetria con tracce delle sezioni stratigrafiche

Nella pagina seguente sono illustrate le sezioni stratigrafiche che mostrano l'andamento dei riporti al di sopra del substrato geologico costituito prevalentemente da sabbie.

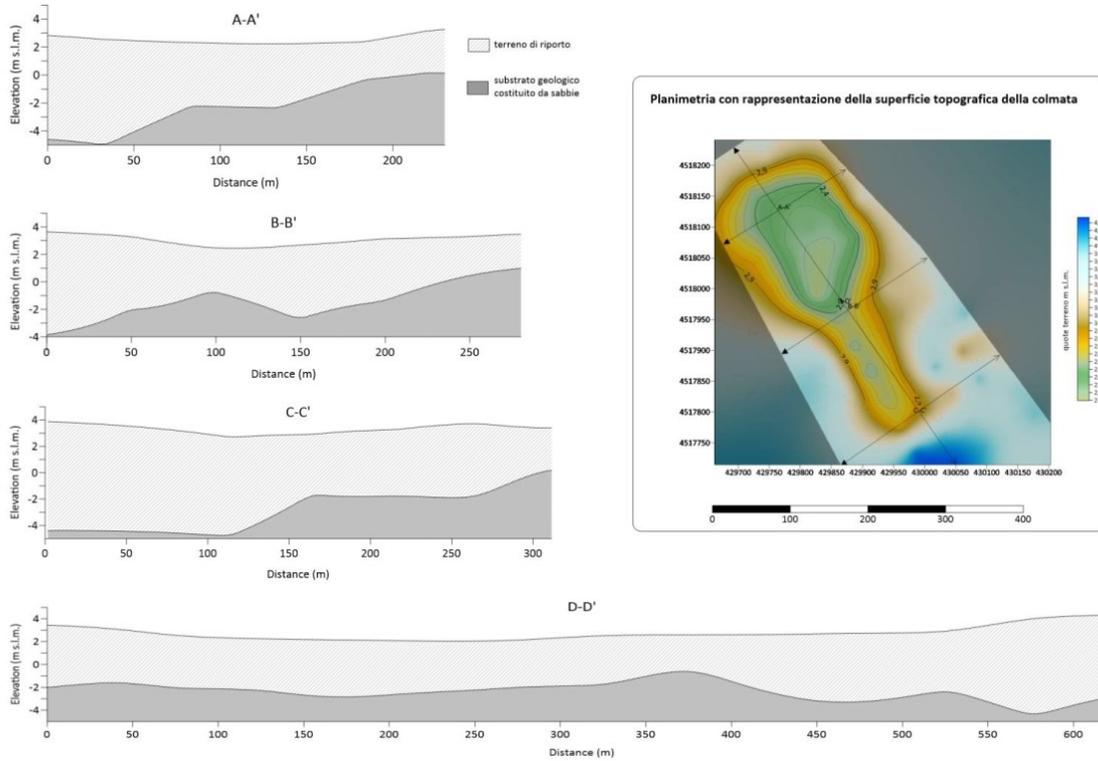


Figura 7-5: Planimetria con tracce e sezioni stratigrafiche

Gli arenili nord e sud sono caratterizzati dall'assenza di riporti mentre il substrato è lo stesso dell'area della colmata. Si può assegnare quindi la presenza di sabbia grossolana – addensata a partire dal p.c.

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023

8 PARAMETRI GEOTECNICI DI RIFERIMENTO

I parametri geotecnici di riferimento adottati per le verifiche delle opere di sostegno sono stati dedotti dalla relazione geotecnica P22041-D-00-GE-RS-REL-04-00 e sono riportati nella tabella seguente:

Caratteristiche Geotecniche	Profondità	Spessore	Y_{sat}	φ'	c
	[m]	[m]	[kN/m ³]	[°]	[kPa]
Riporto (Rp)	0-5	0-5	16-18	25-30	-
Sabbia grossolana - addensata (DM)	>5	>5	18-20	30-35	0-3

Figura 8-1: Parametri fisico-meccanici del modello geotecnico della colmata e degli arenili

9 METODOLOGIA DI CALCOLO

Le verifiche della paratia sono state condotte con il codice di calcolo agli elementi finiti ParatiePlus 2022, che permette di studiare l'interazione terreno – struttura simulando il comportamento sforzi-deformazioni del terreno.

La paratia viene modellata con elementi di trave caratterizzati dalla rigidità flessionale EJ, mentre il terreno viene simulato attraverso molle elastoplastiche connesse ai nodi della paratia. L'analisi consente di studiare la successione delle fasi di costruzione, con la conseguente determinazione degli spostamenti e delle sollecitazioni della paratia nelle varie fasi realizzative. Nelle verifiche i coefficienti di spinta attiva k_a e passiva k_p sono stati calcolati considerando l'attrito terreno-paratia ($\delta = 0.5$).

9.1 DESCRIZIONE DEL PROGRAMMA

ParatiePlus analizza il comportamento meccanico di una struttura flessibile di supporto di uno scavo in terra o roccia, ponendo l'accento sull'interazione locale "tra la parete e il terreno".

ParatiePlus non permette lo studio di problemi che coinvolgono un movimento del lato esteso dello scavo, in quanto ParatiePlus non permette lo sviluppo di moti rigidi del muro o di parti di deposito rispetto ad altre parti del terreno.

Lo scopo principale di ParatiePlus è quindi il calcolo delle deformazioni a flessione e a taglio delle azioni e dell'appoggio laterale del muro, e la valutazione di tutte quelle variabili legate a queste.

Lo studio di un muro flessibile è condotto attraverso una simulazione numerica della realtà: il programma stabilisce e risolve un sistema di equazioni algebriche la cui soluzione permette di riprodurre abbastanza realisticamente il comportamento reale del contenimento.

La simulazione numerica è quella offerta dal metodo degli elementi finiti.

La schematizzazione in elementi finiti avviene in questo modo:

- analizzando un problema piano (nel piano YZ): i gradi di libertà nodali attivi sono il movimento laterale e la rotazione fuori piano: gli spostamenti verticali sono automaticamente vincolati (quindi le quote nelle pareti verticali assiali non sono calcolate);
- il supporto flessibile del muro adeguato è schematizzato da un insieme di elementi finiti BEAM verticali;
- la terra, che spinge contro il muro (da monte a valle eda) e che reagisce in modo articolato alle deformazioni del muro, è simulata attraverso un doppio letto di molle elasto-plastiche collegate agli stessi nodi del muro;
- i tiranti, puntoni, piastre, cedendo i supporti o fissi, sono riassunti per mezzo di molle puntuali convergenti in alcuni punti (nodi) del muro dove anche i fattori convergono elementi BEAM e il terreno.

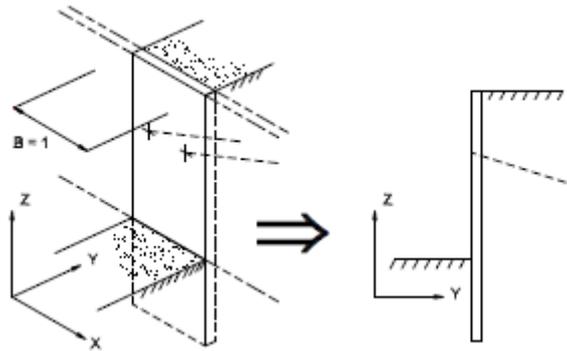
9.2 MODELLO CONCETTUALE

PARATIE è un codice agli elementi finiti non lineare per l'analisi del comportamento meccanico di strutture flessibili di contenimento della terra durante tutte le fasi intermedie di uno scavo aperto.

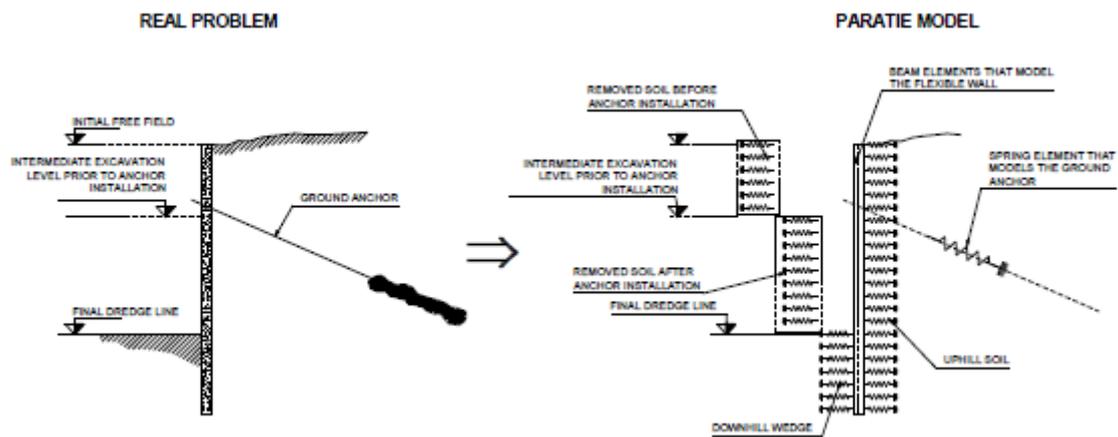
Il problema attuale è ridotto a un problema di piano, in cui viene analizzata una fetta di muro larga un'unità, come indicato nella figura seguente. Pertanto PARATIE non è adatto a modellare geometrie di scavo in cui gli effetti tridimensionali possono giocare un ruolo importante.

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023



Nella modellazione dell'interazione suolo-muro, viene adottato l'approccio Winkler molto semplice e diffuso. Il muro di contenimento è modellato per mezzo di elementi beam con rigidità flessionale trasversale EJ ; il suolo è modellato per mezzo di una doppia matrice di molle elastoplastiche indipendenti; in ogni punto della griglia del muro, due molle opposte convergono al massimo.



Secondo il modello di Winkler, si assume che il comportamento di ogni molla del terreno sia totalmente disaccoppiato dal comportamento degli elementi adiacenti: l'effettiva interazione tra le diverse regioni del terreno è totalmente lasciata al muro di sostegno.

L'andamento reale di un processo di scavo è riprodotto in tutti i passi intermedi, per mezzo di un'analisi STATICA INCREMENTALE. A causa del comportamento elastoplastico degli elementi del suolo, ogni passo in generale dipende dalla soluzione dei passi precedenti. In corrispondenza di ogni nuovo passo, la soluzione è ottenuta per mezzo di uno schema iterativo Newton-Raphson (vedi Bathe (1996))

PARATIE calcola solo il comportamento laterale del muro di sostegno: in ogni punto nodale solo lo spostamento laterale e la rotazione fuori piano (intorno all'asse X) sono attivati come gradi di libertà indipendenti.

9.3 MODELLAZIONE DEL TERRENO

L'interazione tra un muro di sostegno e il suolo è un problema geotecnico complesso che può essere risolto con diversi gradi di approssimazione. Forse, l'approccio più comunemente usato, nel campo della ricerca, è rappresentato dalla soluzione di un modello bidimensionale ad elementi finiti a deformazione piana. Questo metodo permette una precisa descrizione geometrica e della variazione dei parametri del suolo; quando si usano programmi avanzati agli elementi finiti (o alle differenze finite), si possono anche includere modelli costitutivi abbastanza complessi e realistici per il comportamento del suolo. Tuttavia, in pratica, un modello bidimensionale (o a volte

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023

tridimensionale) agli elementi finiti può essere ragionevolmente utilizzato solo nella fase finale della progettazione, quando lo scavo finale e il layout della parete sono stati definiti.

Per le fasi intermedie di progettazione, così come per la progettazione di strutture con un basso grado di complessità, un metodo numerico più semplice come PARATIE può essere molto utile, poiché molte iterazioni preliminari di progettazione per tentativi ed errori possono essere eseguite praticamente a costo zero. A questo scopo, PARATIE implementa uno schema numerico molto semplice, in cui il suolo è modellato da un array di molle di Winkler; in effetti, questo approccio è già stato adottato da molti altri autori (vedi Bowles (1988)).

Ciò che è originale in PARATIE è il modello costitutivo delle semplici molle lineari del suolo, in cui sono stati inclusi la maggior parte degli aspetti osservati del comportamento del suolo. In particolare, la rigidità della molla del suolo non dovrebbe dipendere solo dalle proprietà del suolo, ma anche dalla geometria della parete e dalla flessibilità della parete (vedi, per esempio, Jamiolkowski & Pasqualini (1979)). Questo aspetto è stato automaticamente incluso in PARATIE.

Nonostante le caratteristiche di modellazione abbastanza complesse e complete nel modello del suolo di PARATIE, i dati di input richiesti da PARATIE sono rappresentati dai soliti parametri di resistenza e flessibilità. Naturalmente, l'affidabilità dei risultati ottenuti dipende molto dall'accuratezza nella stima dei parametri.

Parametri costitutivi:

I parametri costitutivi del suolo possono essere divisi in due famiglie: parametri di spinta e parametri di compressibilità (o flessibilità).

I coefficienti di spinta sono il coefficiente a riposo K_0 , il coefficiente attivo K_A e il coefficiente passivo K_P .

Il coefficiente a riposo influenza lo stato di sollecitazione iniziale del suolo prima di qualsiasi fase di scavo. K_0 lega la sollecitazione orizzontale effettiva σ'_h alla sollecitazione verticale effettiva σ'_v per mezzo della seguente relazione:

$$\sigma'_h = K_0 \sigma'_v$$

K_0 dipende dalla resistenza del terreno, attraverso l'angolo di attrito ϕ' , e attraverso la storia geologica OCR:

$$K_0 = K_0^{NC} (OCR)^n$$

dove:

$$K_0^{NC} = 1 - \sin \phi'$$

È il coefficiente di spinta a riposo ($OCR=1$). OCR è il rapporto di sovraconsolidazione del terreno e m è un parametro empirico, abitualmente assume valori tra 0.4 e 0.7. (Ladd et al. (1977), Jamiolkowski et al. (1979)).

Attraverso i valori K_A e K_P opportunamente selezionati, l'angolo di attrito di suolo-parete e la pendenza della superficie del suolo possono essere presi in considerazione; i valori selezionati in NAVFAC (1986) o da Caquot & Kerisel (1948) sono raccomandati.

I limiti estremi di stress orizzontale effettivo sono dati da

$$\sigma_A' = K_A \sigma_v' - 2c' \sqrt{K_A} \text{ or}$$

$$\sigma_P' = K_P \sigma_v' + 2c' \sqrt{K_P}$$

dove il primo valore è la tensione minima per il suolo in condizioni attive e il secondo la tensione massima corrispondente alla condizione passiva. c' è la coesione drenata. Alcune modifiche sarebbero necessarie per tenere conto dell'adesione delle pareti a .

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023

$$\sigma A' = KA\sigma v' - c'Kac \text{ with } Kac = 2\sqrt{KA(1 + ac')} \leq 2.56\sqrt{KA}$$

$$\sigma P' = KP\sigma v' + c'Kpc \text{ with } Kpc = 2\sqrt{KP(1 + ac')} \leq 2.56\sqrt{KP}$$

E è un certo modulo di rigidità del terreno mentre L è una certa lunghezza di scala. In PARATIE, le molle forzate sono generate a distanza finita, quindi la rigidità di ogni molla è:

D dipende dalla densità della maglia degli elementi finiti; il parametro L è di default selezionato automaticamente dal programma. In sostanza, questo parametro rappresenta una lunghezza caratteristica che è diversa tra le regioni di terreno in valle e in monte. Per i terreni in pendenza (che sono molto spesso in stato attivo):

$$LA = 23lA \tan \alpha (45^\circ - \phi' / 2)$$

Mentre a valle (zona passiva):

$$LP = 23lP \tan \alpha (45^\circ + \phi' / 2)$$

LA e LP sono

$$l_a = \min \{l, 2H\}$$

$$l_p = \min \{l - H, H\}$$

Dove

l = lunghezza totale del muro

H = altezza di scavo

Dettagli di questa assunzione possono essere trovati in Becci & Nova (1987).

Oltre alle equazioni predefinite discusse sopra, è stata inclusa la possibilità di modificare il fattore L secondo la richiesta dell'utente. Due fattori di scala, verso l'alto o verso il basso, possono essere assegnati ad ogni strato di terreno; poi i fattori L sono calcolati come segue:

$$LA = a_{up} \cdot lA \text{ terreno a monte}$$

$$LP = a_{down} \cdot lA \text{ terreno a valle}$$

Per esempio, prendendo $\phi' = 35^\circ$, i fattori predefiniti di salita e discesa sarebbero circa 0,35 e 1,28. Quando si ha a che fare con terreni argillosi in condizioni non drenate, i valori predefiniti possono essere in qualche modo troppo bassi per il lato passivo. Quindi un valore verso il basso pari a circa 2 può essere più accurato in questo caso.

Il modulo del suolo E dipende dalla storia delle sollecitazioni e dall'incremento locale delle sollecitazioni, come mostrato in Becci & Nova (1987).

E può essere molto frequentemente correlato alla sollecitazione media effettiva mediante l'equazione

$$E = R \left(\frac{p}{p_a} \right)^n$$

in cui p_a è la pressione atmosferica, mentre R e n sono parametri sperimentali. Naturalmente, impostando $n=0$ si ottiene un modulo costante, mentre, se n è impostato a 1, si ottiene la tipica variazione di modulo per argille normalmente consolidate.

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023

R è diverso tra la compressione vergine e i percorsi di carico di scarico-ricarico. I valori di riferimento per R e n sono riportati da Janbu (1963). Tali parametri variano in un intervallo molto ampio: per una sabbia, n può essere tra 0,2 e 1,0 e R tra 8 e 200 MPa (un'esperienza pratica utilizzando PARATIE in un ambiente di suolo sabbioso ghiaioso è riportata da BARLA et al., (1988)). Per le argille NC n1. I valori di R per le argille italiane si trovano in Jamiolkowski et al. (1979).

Poiché lo stato di sollecitazione iniziale non è isotropo, la rigidità del suolo in compressione vergine è attualmente inferiore alla rigidità misurata in una prova triassiale drenata e consolidata isotropicamente.

Se $n=0$, il modulo R in compressione vergine può essere identificato con il solito modulo di Young. Per i terreni sabbiosi, una stima di E può essere ottenuta secondo una delle seguenti equazioni.

$$E \cong (2 \div 3)N_{SPT} \quad (MPa)$$

oppure

$$E \cong (0.8 \div 1)G_0$$

Dove N_{spt} è il conteggio dei colpi SPT e G_0 è il modulo di taglio a piccola deformazione.

Il modulo di scarico-ricarico è attualmente da 3 a 10 volte più alto del modulo vergine per le argille, mentre di solito è da 1,5 a 3 più alto per le sabbie.

Si noti che, in PARATIE, può essere utilizzato anche il modulo del sottofondo tradizionale, trascurando così alcune delle caratteristiche più interessanti del programma. Valori tipici del modulo del sottofondo possono essere trovati in Cestelli-Guidi (1984), Scott (1981), Bowles (1988).

10 CRITERI DI CALCOLO DELLE OPERE

In ottemperanza con la normativa vigente, i calcoli sono condotti con il metodo semi-probabilistico agli stati limite.

Le verifiche di sicurezza relative agli stati limite ultimi (SLU) e le analisi relative alle condizioni di esercizio (SLE) sono state effettuate nel rispetto dei criteri delle NTC2018.

In generale, le analisi degli stati limite di esercizio (SLE) sono utilizzate per ottenere informazioni circa gli spostamenti attesi sotto i carichi di esercizio e per verificarne l'ammissibilità nei confronti della funzionalità dell'opera.

Le analisi agli stati limite ultimi (SLU) sono impiegate per le verifiche di resistenza degli elementi strutturali e per le verifiche geotecniche.

10.1 CENNI NORMATIVI

I criteri per la verifica e il dimensionamento di seguito esposti si applicano a tutte le opere che hanno funzione di sostegno quali muri e berlinesi.

In accordo con quanto prescritto dalla Normativa vigente, per ogni Stato Limite Ultimo (SLU) deve essere rispettata la seguente condizione:

$$E_d < R_d$$

in cui E_d rappresenta il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione, mentre R_d è il valore di progetto della resistenza. Per quanto concerne le azioni di progetto E_d , queste possono essere determinate applicando i coefficienti parziali sulle azioni caratteristiche, oppure, successivamente, sulle sollecitazioni prodotte dalle azioni caratteristiche.

Le azioni sull'opera di sostegno sono quelle dovute al peso proprio del terreno e del materiale di riempimento, ai sovraccarichi e all'acqua. In particolar modo, nella valutazione dei sovraccarichi a tergo di un'opera di sostegno, è necessario tenere in conto dell'eventuale presenza di costruzioni, di depositi di materiale, di veicoli in transito o di apparecchi di sollevamento.

I valori dei coefficienti parziali da assumersi per la determinazione degli effetti delle azioni nelle verifiche agli Stati Limite Ultimi sono riportati nella seguente tabella (Tab. 6.2.I delle NTC 2018):

Tabella 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{Q1}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023

Il valore di progetto della resistenza R_d può essere determinato in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, opportunamente ridotto in funzione del coefficiente parziale specificato nella Tab 6.2.II delle NTC2018:

Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	γ_φ	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_f	1,0	1,0

Le analisi finalizzate al dimensionamento strutturale nelle quali si consideri l'interazione terreno – struttura si dovranno eseguire con i valori caratteristici dei parametri geotecnici, amplificando l'effetto delle azioni con i coefficienti parziali del gruppo A1, così come previsto al §6.2.4.2 della normativa vigente.

Per il calcolo e la verifica si devono considerare i seguenti stati limite ultimi, accertando che le resistenze superino le azioni agenti per ciascuno stato limite considerato:

- SLU di tipo geotecnico (GEO)
 - Collasso per rotazione intorno a un punto dell'opera (atto di moto rigido);
 - Collasso per carico limite verticale;
 - Sfilamento di uno o più ancoraggi;
 - Instabilità del fondo scavo;
 - Instabilità globale del complesso opera di sostegno – terreno.
- SLU di tipo strutturale (STR)
 - Raggiungimento della resistenza di uno o più sistemi di contrasto;
 - Raggiungimento della resistenza della struttura della paratia.

La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno – terreno deve essere effettuata secondo l'approccio 1, con la Combinazione 2 (A2+M2+R2) tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I. Le rimanenti verifiche devono essere effettuate secondo l'Approccio 2, con la combinazione (A1+M1+R3).

COEFFICIENTE	R2
γ_R	1,1

Nelle condizioni di esercizio, gli spostamenti dell'opera di sostegno e del terreno circostante devono essere valutati per verificarne la compatibilità con la funzionalità dell'opera e con la sicurezza e funzionalità di manufatti adiacenti, anche a seguito di modifiche indotte sul regime delle pressioni interstiziali.

10.2 CARICHI APPLICATI ALLE STRUTTURE

10.2.1 Peso proprio

Il peso proprio della struttura è calcolato in base alla geometria degli elementi strutturali e al peso specifico assunto per i materiali (CLS) pari a:

$$\gamma_{cls}=25.0 \text{ kN/m}^3$$

Il software di calcolo computa automaticamente il peso proprio degli elementi strutturali.

10.2.2 Spinta del terreno

La spinta del terreno viene solitamente calcolata dai software considerando la storia di carico dell'opera di sostegno, in diverse fasi di costruzione, considerando la pressione attiva (K_a) e la pressione passiva (K_p).

L'attrito terreno-struttura sarà considerato sul lato attivo e passivo durante la fase temporanea della costruzione ma non in condizioni permanenti di lungo termine. Pertanto, nelle analisi, l'angolo di attrito della parete δ è uguale a:

$$\delta = \frac{1}{2} \varphi \text{ per diaframmi, pali e micropali durante la fase di costruzione.}$$

$$\delta = 0^\circ \text{ per diaframmi (strutture permanenti) in condizione di lungo termine.}$$

11 VERIFICHE E RISULTATI PALANCOLE

Nel seguente paragrafo si riportano le verifiche delle due file di palancole previste a protezione dello scavo in corrispondenza del muro in via Coroglio.



Figura 11-1: Ubicazione rappresentativa delle palancole

In funzione dell'altezza di scavi si prevede l'infissione di una o due file di palancole.

Di seguito si riportano le caratteristiche delle palancole adottate nelle verifiche:

- Palancoleto A:
 - o Profilo AZ 36-700N
 - o Lunghezza 12m
 - o Acciaio S355

- Palancoleto B:

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023

- Profilo AZ 36-700N
- Lunghezza 10m
- Acciaio S355

A sostegno dello scavo tra le due palancole si prevede l'utilizzo di un puntone in acciaio di tipo HEB200 posto ad interasse 3m.

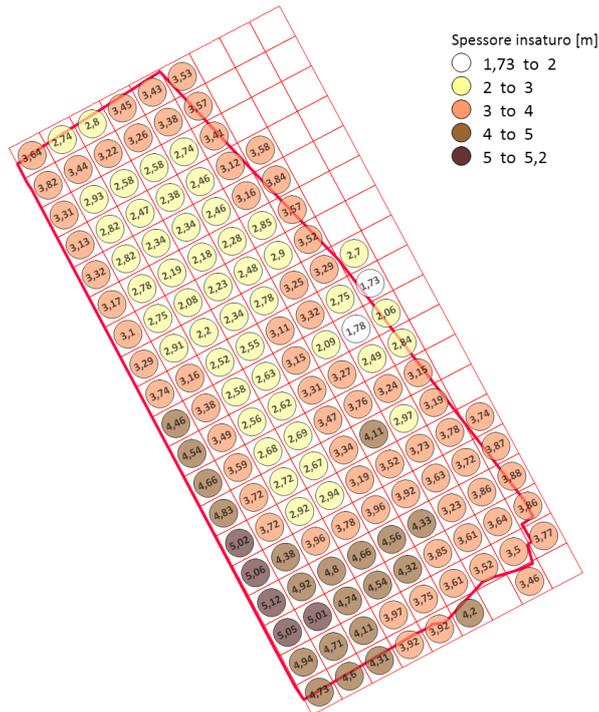


Figura 11-2: Spessore medio terreno insaturo

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023

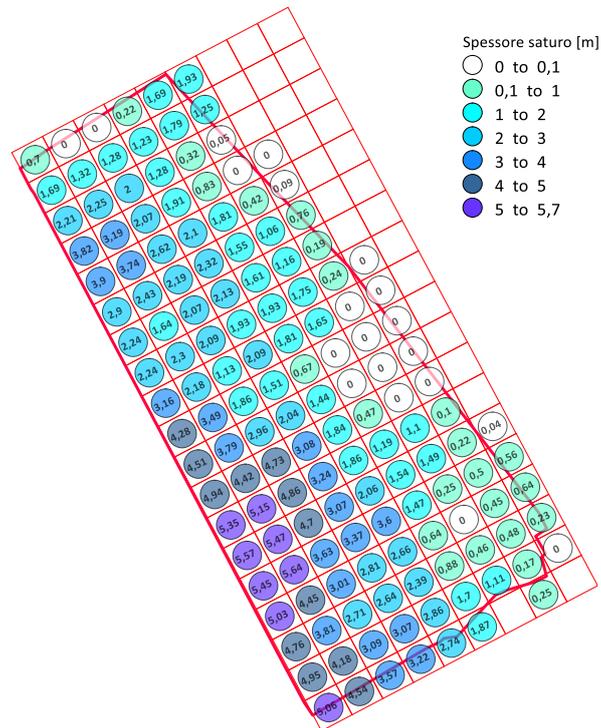


Figura 11-3: Spessore medio terreno saturo

L'altezza massima di scavo è data dalla somma degli spessori massimi misurati nella stessa cella di terreno insaturo e di terreno saturo riscontrati in corrispondenza dell'opera di Progetto.

Data la variabilità dell'altezza di scavo totale si sono considerate due condizioni di scavo in funzione delle quali si prevede l'infissione di una sola fila di palancole oppure l'infissione della doppia fila di palancole (altezza di scavo massima):

- doppia fila di palancole: previste per altezze di scavo superiore a 3m, in particolare l'analisi è stata effettuata considerando la massima altezza di scavo pari a 4.62m, data dalla somma di 3.37m di terreno insaturo e di 1.25m di terreno saturo.
- singola fila di palancole: previste per altezze di scavo inferiori o uguali a 3m, in particolare l'analisi è stata eseguita per un'altezza di scavo massima pari a 3.29m, corrispondente allo spessore del solo terreno saturo in corrispondenza della parte centrale dell'opera.

Nel caso in cui durante lo scavo in terreno saturo si incontrasse la falda, è necessario prevedere opportuni sistemi di aggotamento.

11.1 FASISTICA DI RIMOZIONE DELLA COLMATA

Per la rimozione della colmata in prossimità del muro di via Coroglio, si procederà per campi di 40m di estensione. Verranno installate le palancole su due campi adiacenti e a seguito della rimozione della colmata verrà realizzato il ripascimento parziale del campo per permettere l'estrazione delle palancole. A questo punto sarà possibile rimuovere il materiale nel secondo campo contestualmente alla rimozione delle palancole nel primo e l'installazione delle stesse nel terzo campo, proseguendo fino alla fine della colmata.

Le fasi sono riassunte di seguito:

1. Installazione palancole campo 1

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

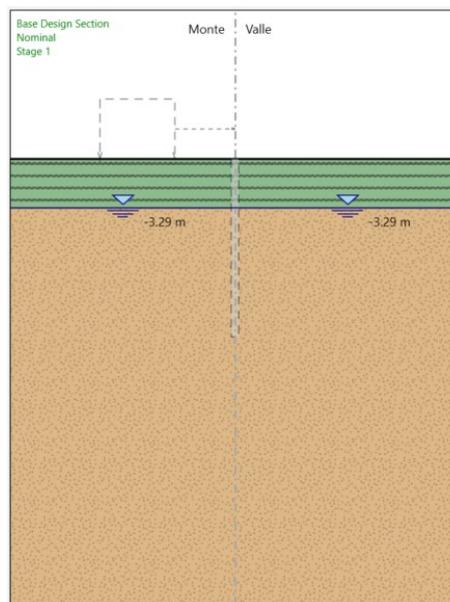
Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023

2. Installazione palancole campo 2
3. Rimozione colmata campo 1
4. Ripascimento parziale della cella afferente il campo 1 per permettere l'estrazione delle palancole
5. Rimozione colmata campo 2 ed estrazione palancole campo 1
6. Ripascimento parziale della cella afferente il campo 2 per permettere l'estrazione delle palancole ed installazione delle palancole nel campo 3

11.2 FASI DI CALCOLO – SINGOLA FILA PALANCOLE

Le verifiche delle palancole sono state eseguite secondo le seguenti fasi di calcolo:

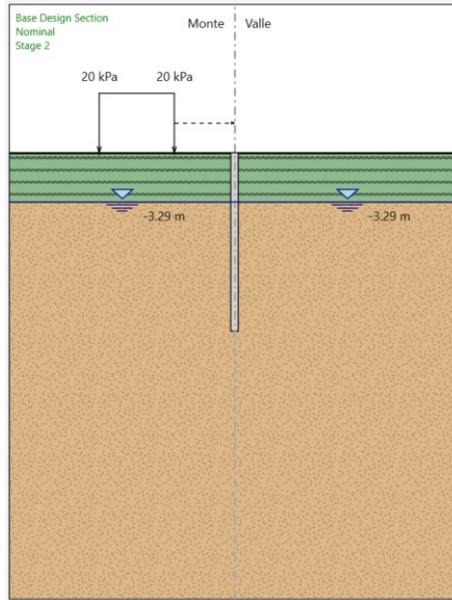
- Fase geostatica



- Infissione palancole e attivazione carico stradale di 20kPa

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

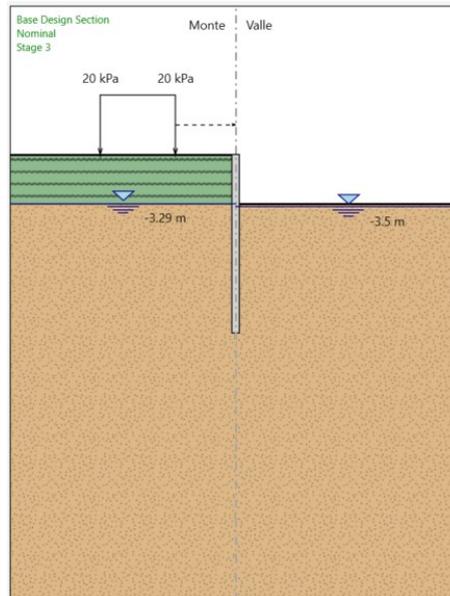
Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023



RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023

- Scavo a -3.29m da testa palancoato



11.3 RISULTATI MODELLO DI CALCOLO

Nel seguente capitolo si riportano i risultati della modellazione effettuata con Paratie Plus.

11.3.1 Sollecitazioni SLU

Involuppo momento flettente:

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023

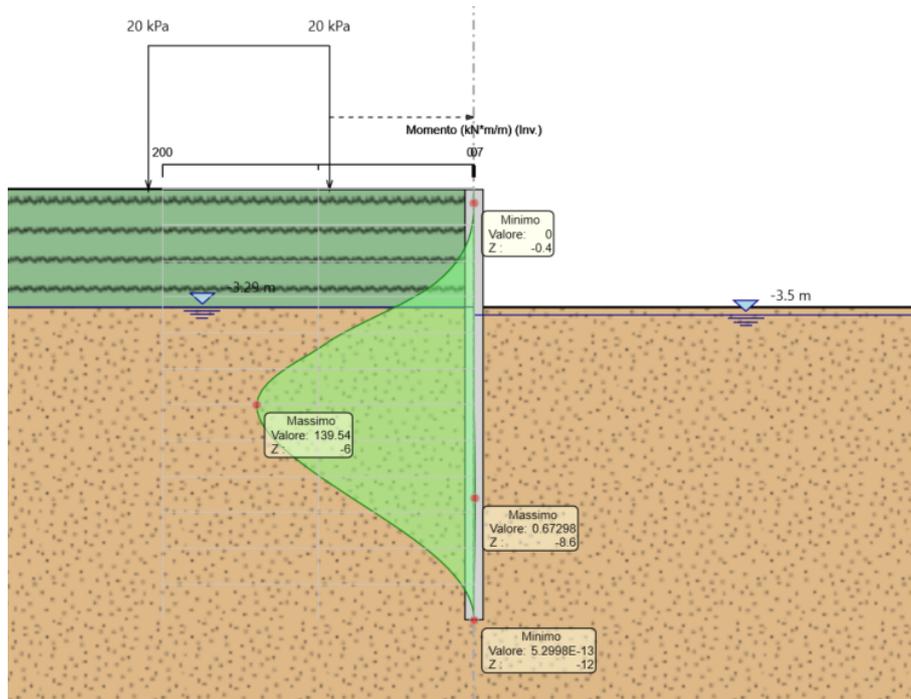


Figura 11-4: Involuppo momento flettente massimo

Il momento flettente massimo agente sul palancoleto risulta pari a 139.54 kNm/m

Involuppo sollecitazione di taglio:

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023

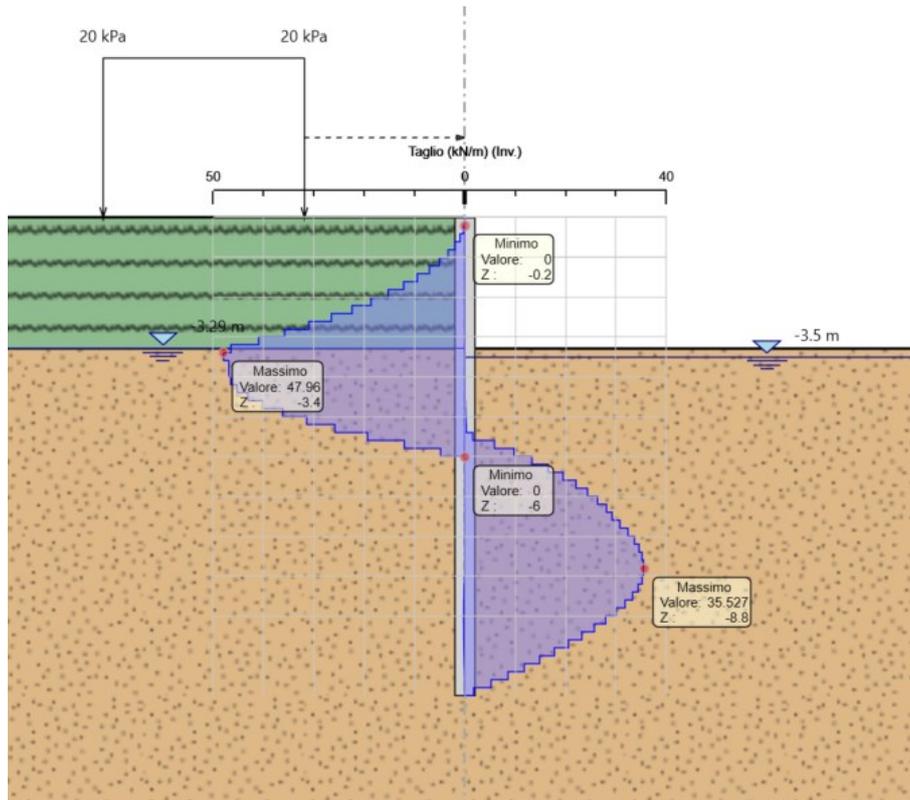


Figura 11-5: Involuppo sollecitazione di taglio massimo

La sollecitazione di taglio massimo agente sul palancolato risulta pari a 47.96 kN/m

11.3.2 Spostamenti SLE

Nella seguente immagine si riporta l'andamento dello spostamento delle palancole nella combinazione SLE:

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023

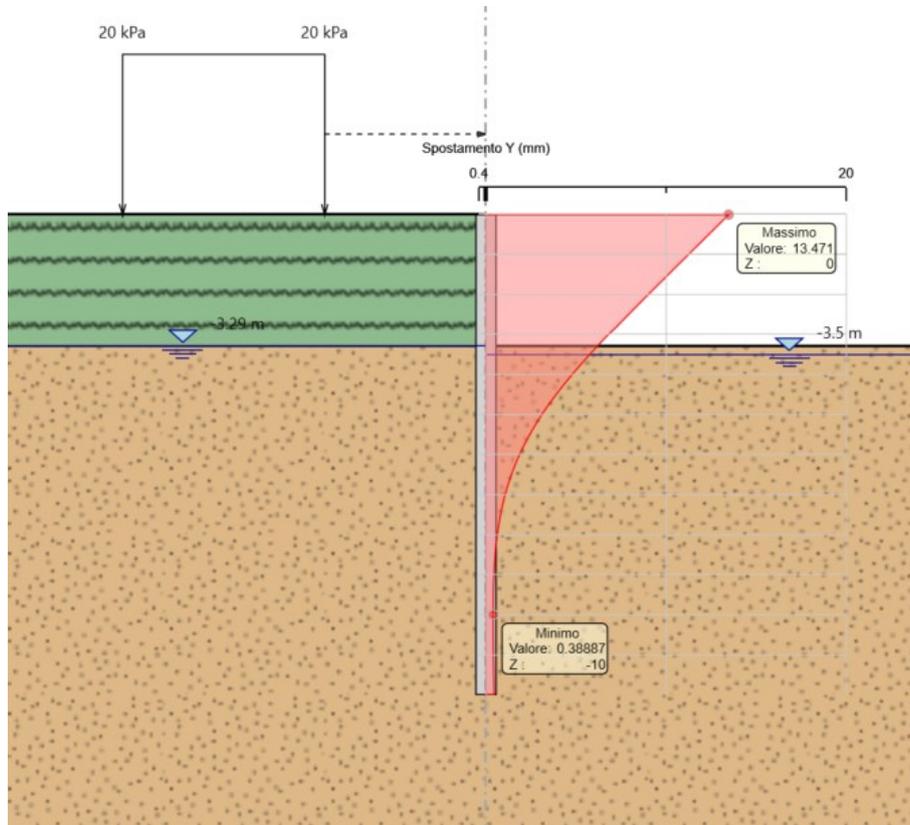


Figura 11-6: Spostamento massimo

Lo spostamento massimo che si ottiene in testa alla paratia risulta essere pari a 13.47 mm, il cedimento ottenuto risulta compatibile con l'opera in Progetto.

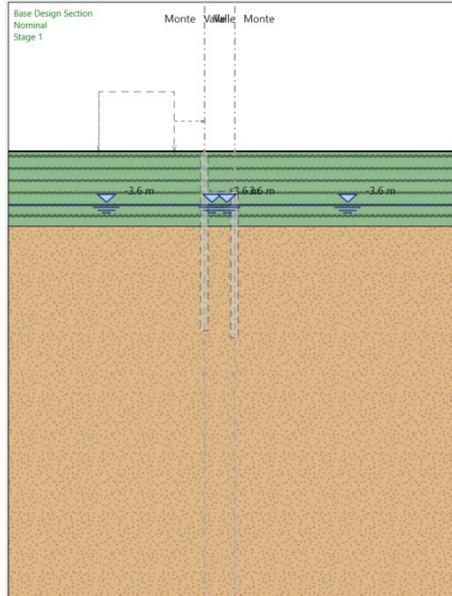
11.4 FASI DI CALCOLO – DOPPIA FILA PALACOLE

Le verifiche delle palancole sono state eseguite secondo le seguenti fasi di calcolo:

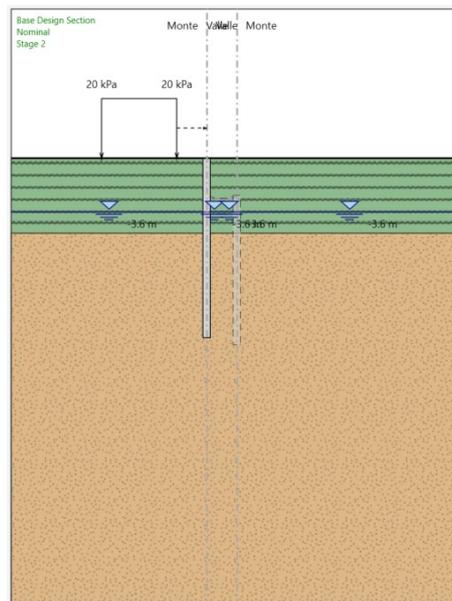
RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023

- Fase geostatica



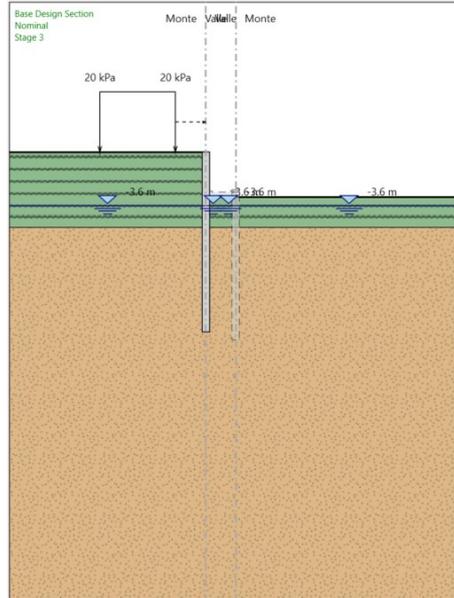
- Infissione palancolato A e attivazione carico stradale di 20kPa



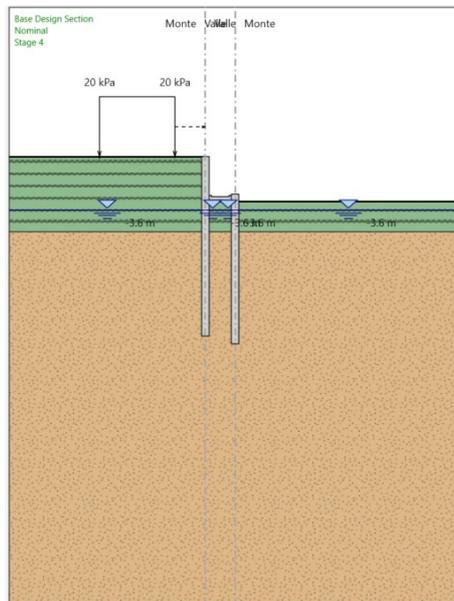
RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023

- Scavo a -3m da testa palancolato A



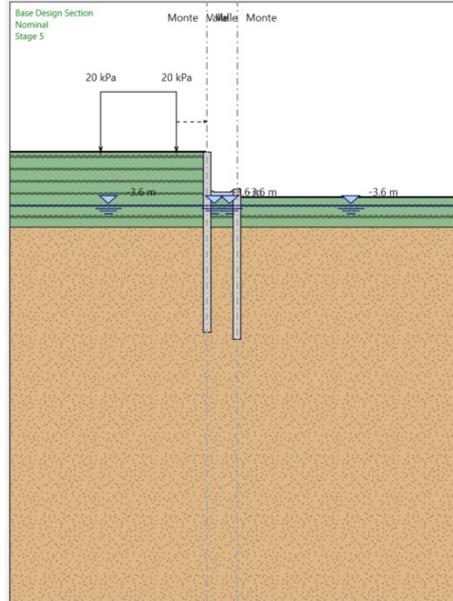
- Infissione palancolato B



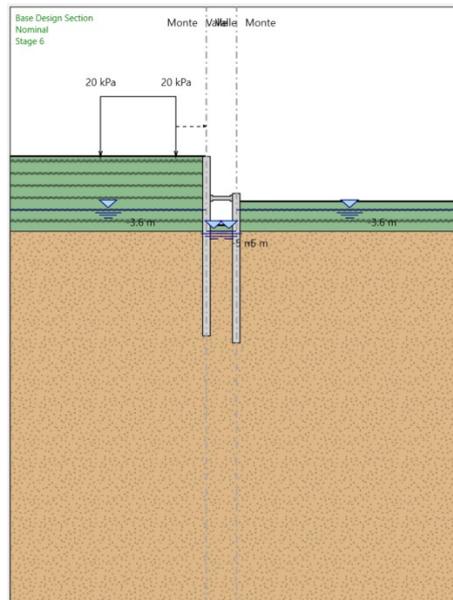
RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023

- Installazione puntone in testa a palancole B



- Scavo a -4.62m da testa palancole A



11.5 RISULTATI MODELLO DI CALCOLO

Nel seguente capitolo si riportano i risultati della modellazione effettuata con Paratie Plus.

11.5.1 Sollecitazioni SLU

Inviluppo momento flettente:

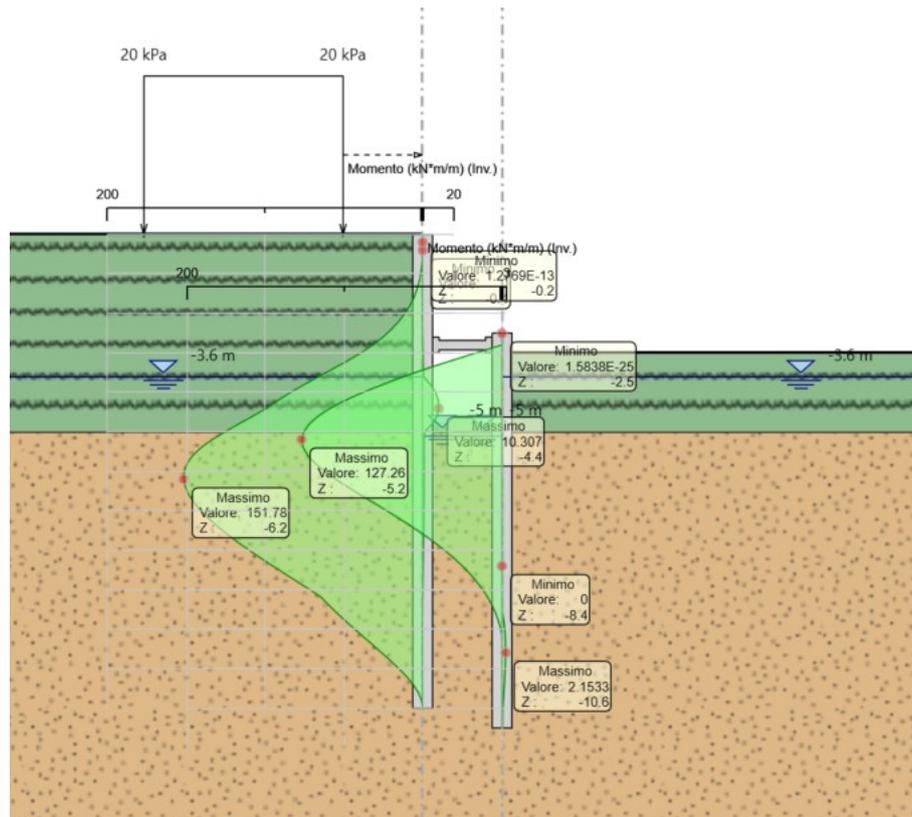


Figura 11-7: Inviluppo momento flettente massimo

Il momento flettente massimo agente sul palancoleto risulta pari a 151.78 kNm/m

Inviluppo sollecitazione di taglio:

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023

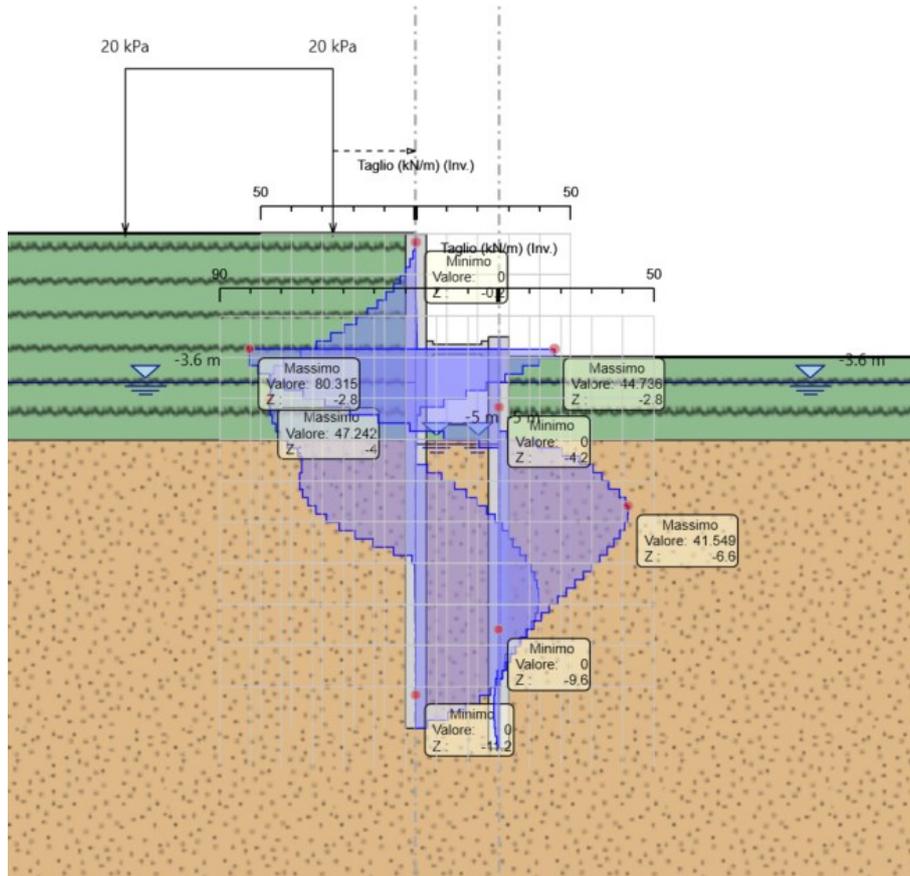


Figura 11-8: Inviluppo sollecitazione di taglio massimo

La sollecitazione di taglio massimo agente sul palancole risulta pari a 80.32 kN/m

Inviluppo reazione puntone HEB200:

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023

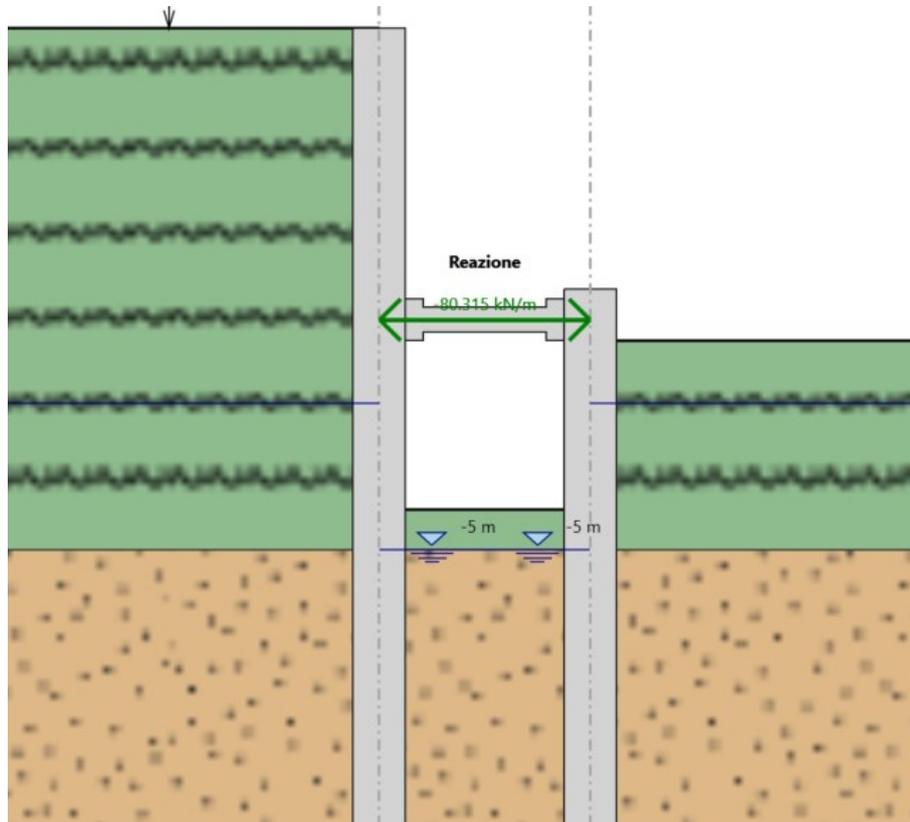


Figura 11-9: Inviluppo reazione puntone HEB200

La reazione massima nel puntone HEB200 risulta pari a 80.32 kN/m

11.5.2 Spostamenti SLE

Nella seguente immagine si riporta l'andamento dello spostamento delle palancole nella combinazione SLE:

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023

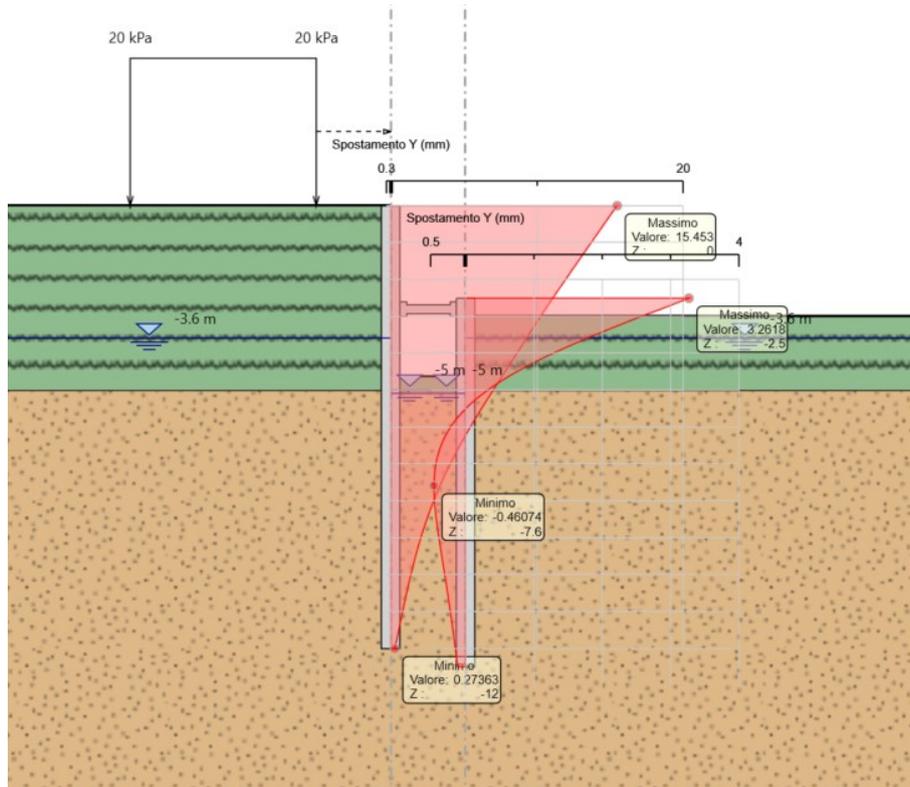


Figura 11-10: Spostamento massimo

Lo spostamento massimo che si ottiene in testa alla paratia risulta essere pari a 15.45 mm, il cedimento ottenuto risulta compatibile con l'opera in Progetto.

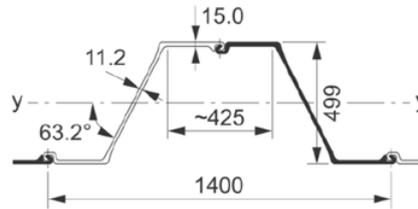
11.6 VERIFICHE STRUTTURALI

Di seguito si riportano le verifiche degli elementi strutturali.

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023

11.6.1 Palancole AZ 36-700N



Section	Width	Height	Thickness		Sectional area	Mass		Moment of inertia	Elastic section modulus	Static moment	Plastic section modulus	Class ¹⁾					
	b mm	h mm	t mm	s mm		single pile kg/m	wall kg/m ²					S 240 GP	S 270 GP	S 320 GP	S 355 GP	S 390 GP	S 430 GP
AZ 36-700N	700	499	15.0	11.2	216	118.6	169	89610	3590	2055	4110	2	2	2	2	2	2

¹⁾ Classification according to EN 1993-5. Class 1 is obtained by verification of the rotation capacity for a class-2 cross-section. A set of tables with all the data required for design in accordance with EN 1993-5 is available from our Technical Department.

Figura 11-11: Proprietà strutturali palancole

Momento flettente

$$M_{Sd,max} = 151.78 \text{ kNm/m}$$

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3590 \cdot 0.355}{1.10} = 1158.6 \text{ kNm/m}$$

$$M_{Sd} < M_{c,Rd} \rightarrow OK$$

La verifica risulta quindi soddisfatta.

Taglio

$$V_{Sd,max} = 80.32 \text{ kN/m}$$

$$h_w = \frac{0.80 \cdot 499}{\sin 63.2^\circ} = 447 \text{ mm}$$

$$\frac{h_w}{t_w} < 72\varepsilon = 72 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 58.6$$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{447}{14} = 31.9$$

$$A_v = 447 \cdot 14 = \frac{6258 \text{ mm}^2}{0.70 \text{ m}} = 8940 \text{ mm}^2/\text{m}$$

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{8940 \cdot (0.355 / \sqrt{3})}{1.10} = 1665.8 \text{ kN/m}$$

$$V_{Sd} < V_{pl,Rd} \rightarrow OK$$

La verifica risulta quindi soddisfatta.

11.6.2 Puntone HEB200

$$N_{Sd,max} = 80.32 \text{ kN/m} \cdot 3 \text{ m} = 241 \text{ kN}$$

Caratteristiche geometriche del profilo:

Altezza della sezione trasversale	h	200 [mm]
Larghezza della sezione trasversale	b _f	200 [mm]
Spessore dell'anima	t _w	9 [mm]
Spessore dell'ala	t _f	15 [mm]
Raggio di raccordo	r	18 [mm]
Area della sezione trasversale	A	7810 [mm ²]
Altezza della sezione trasversale al netto delle ali	h _w	170 [mm]
Altezza del pannello d'anima	c _w	134 [mm]

Caratteristiche meccaniche del profilo:

Momento d'inerzia della sezione trasversale attorno all'asse forte	I _y	5,696E+07 [mm ⁴]
Modulo di resistenza elastico attorno all'asse forte	W _{el,y}	5,696E+05 [mm ³]
Modulo di resistenza plastico attorno all'asse forte	W _{pl,y}	6,425E+05 [mm ³]
Area resistente a taglio nel piano dell'anima	A _{v,z}	2483 [mm ²]
Raggio d'inerzia attorno all'asse forte	i _y	85,4 [mm]
Momento d'inerzia della sezione trasversale attorno all'asse debole	I _z	2,003E+07 [mm ⁴]
Modulo di resistenza elastico attorno all'asse debole	W _{el,z}	2,003E+05 [mm ³]
Modulo di resistenza plastico attorno all'asse debole	W _{pl,z}	3,058E+05 [mm ³]
Area resistente a taglio nel piano delle ali	A _{v,y}	6280 [mm ²]
Raggio d'inerzia attorno all'asse debole	i _z	50,7 [mm]
Momento d'inerzia torsionale	I _t	5,928E+05 [mm ⁴]
Costante di Warping	I _w	1,711E+11 [mm ⁶]

Classificazione della sezione in pura compressione

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023

Coefficiente dipendente dal tipo di acciaio	ε	0,814 [-]
Rapporto tra la dimensione del pannello d'anima ed il suo spessore	ρ_{web}	14,89 [-]
Larghezza del pannello d'ala	c_f	77,50 [mm]
Spessore del pannello d'ala	t_f	15,00 [mm]
Rapporto tra la dimensione del pannello d'ala ed il suo spessore	ρ_{flange}	5,17 [-]
Classificazione del pannello d'anima	$CL_{N,web}$	1
Classificazione del pannello d'ala	$CL_{N,flange}$	1
Classificazione della sezione per compressione pura	CL_N	1

Verifiche di resistenza a compressione pura:

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{7810 \cdot 355}{1.05} = 2640.5 \text{ kN/m}$$

$$N_{Sd,max} < N_{Rd} \rightarrow OK$$

La verifica risulta quindi soddisfatta.

12 VERIFICHE E RISULTATI DIAFRAMMI

Nel seguente paragrafo si riportano le verifiche delle due file di diaframmi previste a protezione dello scavo in corrispondenza del pontile Nord di Bagnoli.



Figura 12-1: Ubicazione rappresentativa dei diaframmi

Si prevede l'infissione di due file di diaframmi a distanza di 1m dal pontile.

- Diaframmi:
 - o Spessore 0.8 m
 - o Lunghezza 20 m

Come elemento di contrasto in testa ai diaframmi è stata inserita una trave in calcestruzzo di dimensioni 0.5mx0.5m interasse 3m.

Conformemente al progetto di rimozione della colmata, lo scavo massimo previsto risulta pari a 10m.

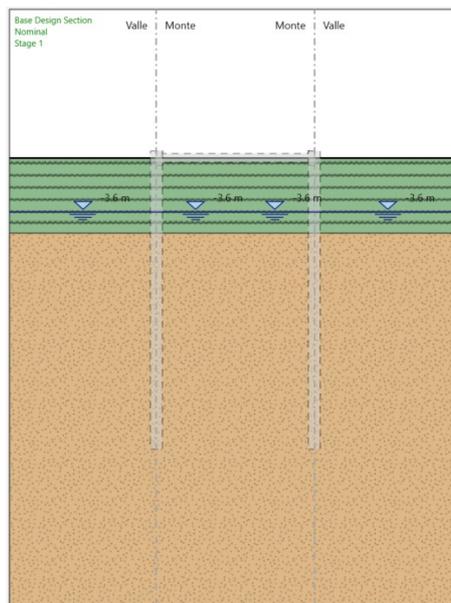
RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023

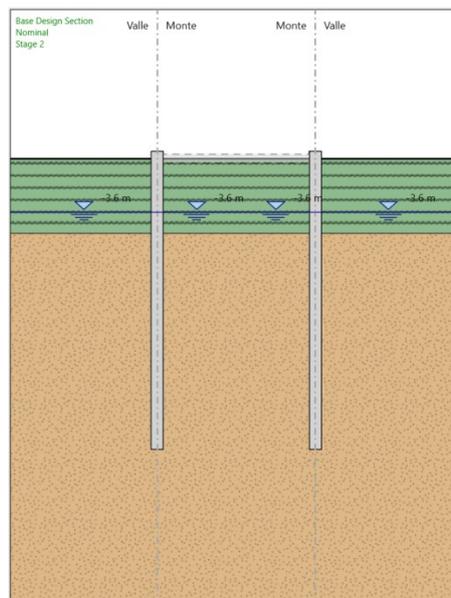
12.1 FASI DI CALCOLO

Le verifiche dei diaframmi sono state eseguite secondo le seguenti fasi di calcolo:

- Fase geostatica



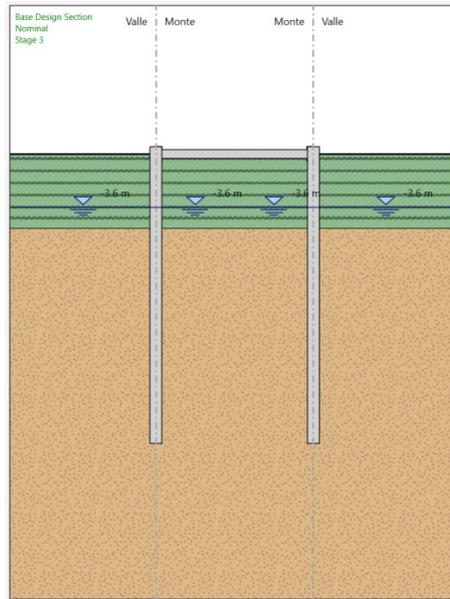
- Realizzazione diaframmi



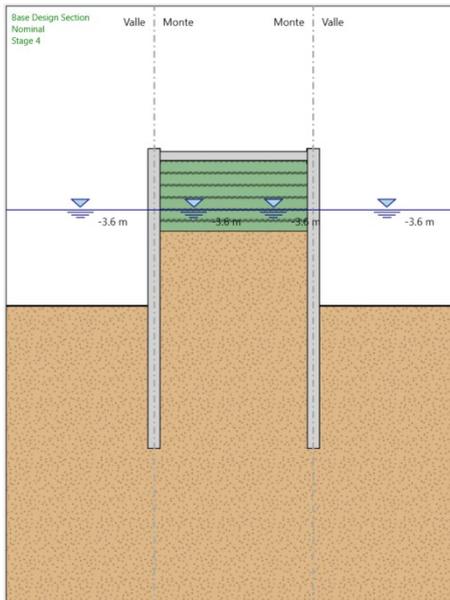
RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023

- Installazione trave di contrasto in testa ai diaframmi



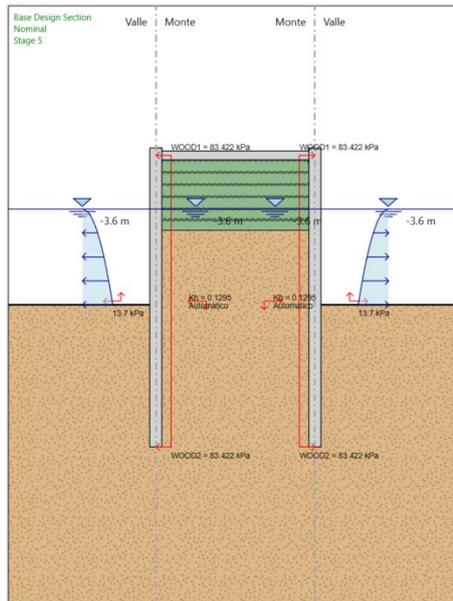
- Scavo a -5.5m da testa diaframmi



RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023

- Applicazione carico sismico



12.2 RISULTATI MODELLO DI CALCOLO

Nel seguente capitolo si riportano i risultati della modellazione effettuata con Paratie Plus.

12.2.1 Sollecitazioni SLU

Inviluppo momento flettente:

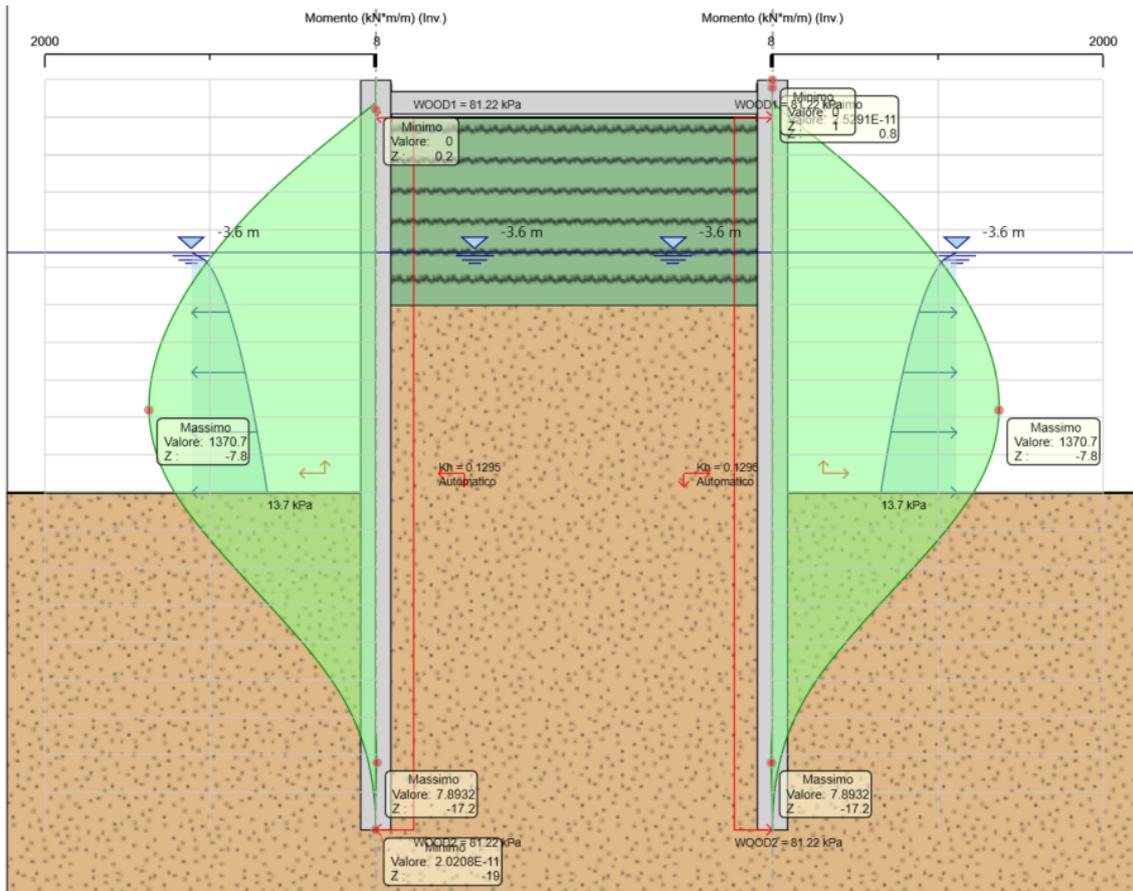


Figura 12-2: Inviluppo momento flettente massimo

Il momento flettente massimo agente sui diaframmi risulta pari a 1370.7 kNm/m

Inviluppo sollecitazione di taglio:

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023

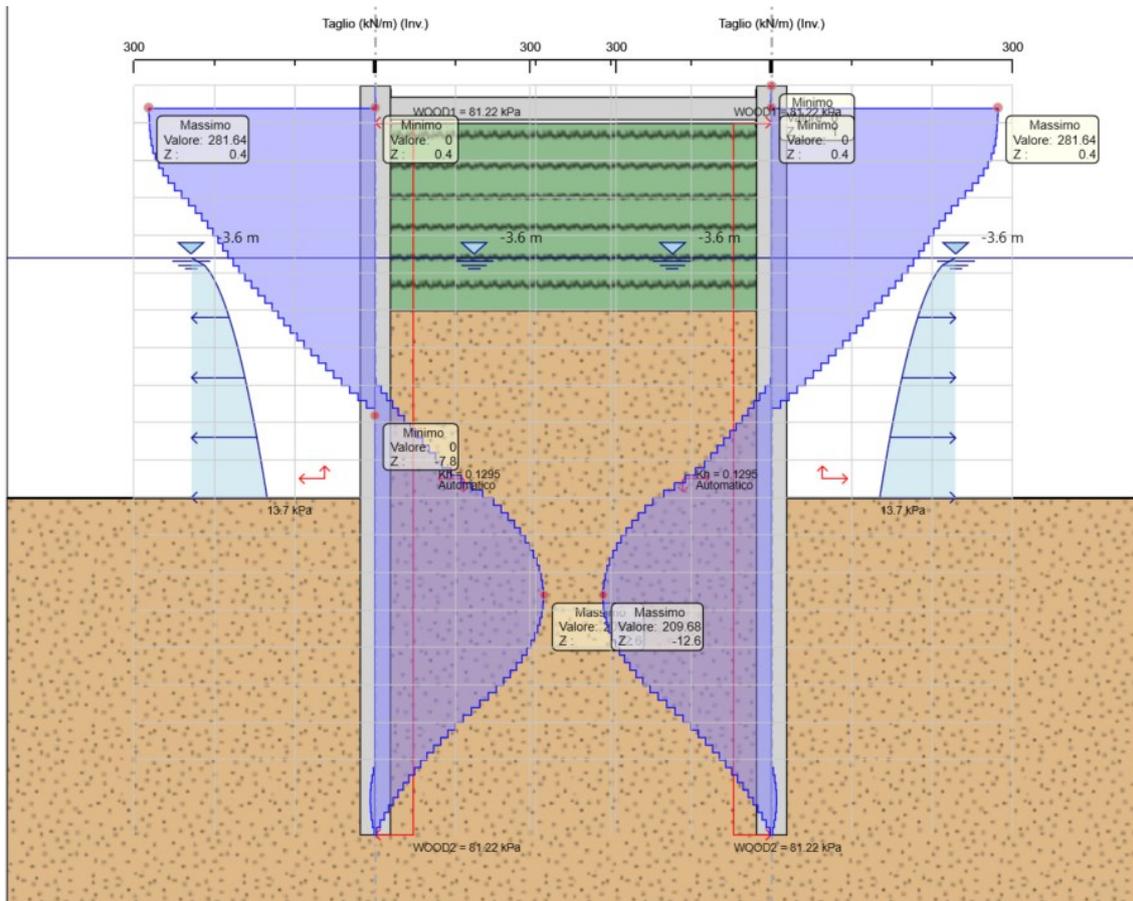


Figura 12-3: Involuppo sollecitazione di taglio massimo

La sollecitazione di taglio massimo agente sui diaframmi risulta pari a 281.64 kN/m

12.2.2 Spostamenti SLE

Nella seguente immagine si riporta l'andamento dello spostamento dei diaframmi nella combinazione SLE:

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023

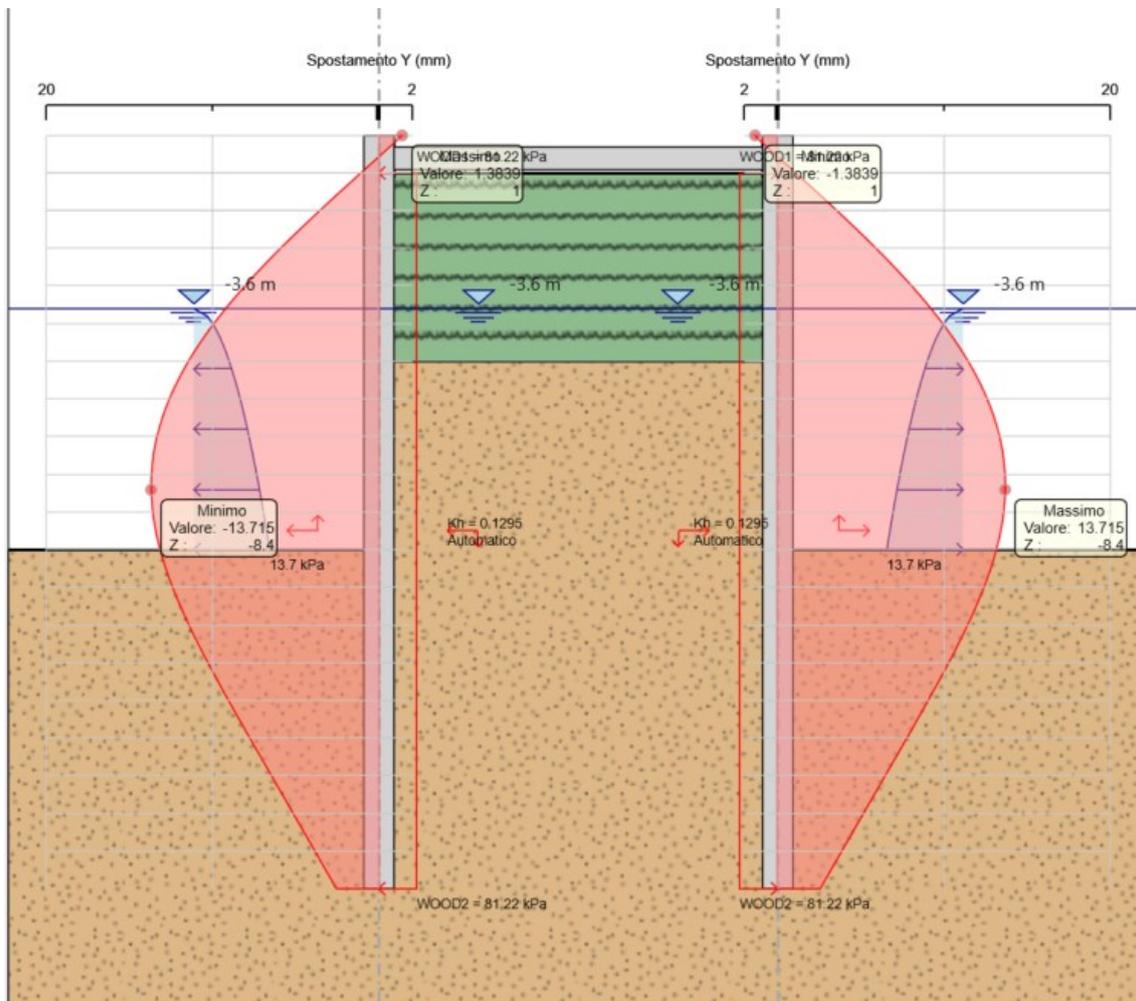


Figura 12-4: Spostamento massimo

Lo spostamento massimo risulta essere pari a 13.7 mm, il cedimento ottenuto risulta compatibile con l'opera in progetto.

12.3 VERIFICHE STRUTTURALI

Nel seguente capitolo si riportano le verifiche strutturali dei diaframmi in cemento armato.

12.3.1 Verifica flessione diaframmi

La verifica è stata eseguita con il software VCA SLU.

La sollecitazione massima della paratia risulta essere:

Zmax m	Mmax,d kNm/m
-7.8	1370.7

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 - Luglio 2023

Di seguito si riporta la verifica strutturale del diaframma considerando una armatura longitudinale pari a $\varnothing 26/10\text{cm}$:

Titolo: Diaframmi sp 80cm

N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	80

N°	As [cm²]	d [cm]
1	53,09	7
2	53,09	73

Tipo Sezione:
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sollecitazioni:
 S.L.U. Metodo n
 N_{Ed} 0 kN
 M_{xEd} 1370,7 kNm
 M_{yEd} 0 kNm

P.to applicazione N:
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura:
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo:
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Tipo flessione:
 Retta Deviata

Materiali:
 B450C C25/30
 ε_{su} 67,5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391,3 N/mm² ε_{cu} 3,5 ‰
 E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 14,17 ‰
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0,8
 ε_{syd} 1,957 ‰ σ_{c,adm} 9,75
 σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0,6
 τ_{c1} 1,829

M_{xRd} 1.404 kN m
 σ_c -14,17 N/mm²
 σ_s 391,3 N/mm²
 ε_c 3,5 ‰
 ε_s 23,34 ‰
 d 73 cm
 x 9,521 x/d 0,1304
 δ 0,7

N° rett. 100
 Calcola MRd Dominio M-N
 L₀ 0 cm Col. modello
 Precompresso

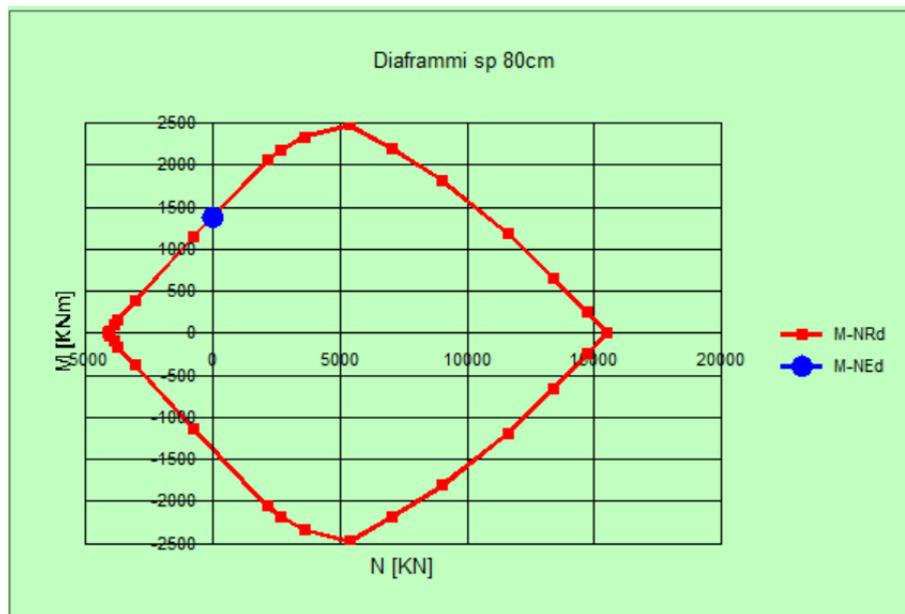


Figura 12-5: Dominio di resistenza M-N

La verifica risulta dunque soddisfatta.

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023

12.3.2 aVerifica taglio diaframmi

La sollecitazione massima della paratia risulta essere:

Zmax m	Vmax,d kNm
0	281.64

RESISTENZA A TAGLIO DI PROGETTO DELL'ELEMENTO SENZA ARMATURA A TAGLIO

b	1000	mm
h	800	mm
A _c	800000	mm ²

Φ _{tr(max)}	10	mm
c	70	mm
CLS	C25/30	
f _{ck}	25,00	MPa

d	707	mm
k	1,532	
f _{cd}	14,17	MPa
v _{min}	0,332	

N _{ed}	0	kN
V _{ed}	281,64	kN

V _{Rd,c(min)}	234,58	kN
V _{Rd,c}	331,48	kN

n	10	
Φ	26	mm
A _{s,tesa}	5309	mm ²
ρ _L	0,006636614	
n	10	
Φ	26	mm
A _{s,compr}	5309	mm ²

NON E' NECESSARIA SPECIFICA ARMATURA A TAGLIO

La verifica risulta dunque soddisfatta.

13 VERIFICHE DI STABILITÀ

Nel seguente capitolo si riportano le verifiche di stabilità degli scavi previsti per la rimozione del materiale.

Gli scavi saranno eseguiti per una altezza di 3m con pendenza pari a 45°.

13.1 SOFTWARE E METODO DI CALCOLO

Le verifiche di stabilità sono state eseguite mediante il software SLOPE/W di Geostudio.

Le verifiche di stabilità sono state eseguite con il metodo cosiddetto "dell'equilibrio limite".

Il metodo consiste nell'individuare diverse possibili superfici di scivolamento coinvolgenti uno o più materiali e nell'analizzare, per ciascuna di esse, l'equilibrio allo scivolamento del cuneo di materiali, considerato come rigido.

È stato considerato il metodo di Bishop.

13.1.1 Metodo di Bishop

Negli anni '50 il professor Bishop dell'Imperial College di Londra ideò un metodo che includeva l'interslice forze normali ma ignorate le forze di taglio interslice. Bishop ha sviluppato un'equazione per il normale al base dello strato sommando le forze dello strato nella direzione verticale. La conseguenza di ciò è che la base normale diventa una funzione del fattore di sicurezza. Questo a sua volta rende l'equazione del fattore di sicurezza non lineare (cioè, FS appare su entrambi i lati dell'equazione) e di conseguenza è una procedura iterativa necessario per calcolare il fattore di sicurezza.

Una forma semplice dell'equazione del fattore di sicurezza semplificato del vescovo in assenza di acqua interstiziale la pressione è:

$$FS = \frac{1}{\sum W \sin \alpha} \sum \left[\frac{c \beta + W \tan \phi - \frac{c \beta}{FS} \sin \alpha \tan \phi}{m_{\alpha}} \right]$$

FS è su entrambi i lati dell'equazione come notato sopra. L'equazione non è diversa dal fattore ordinario di equazione di sicurezza ad eccezione del termine m_{α} che è definito come:

$$m_{\alpha} = \cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \phi}{FS}$$

In SLOPE / W, l'ipotesi iniziale è considerata il fattore di sicurezza ordinario. L'ipotesi iniziale per FS viene utilizzata per calcolare m_{α} e quindi viene calcolata una nuova FS. Successivamente il nuovo FS viene utilizzato per calcolare m_{α} e quindi viene calcolato un altro nuovo FS. La procedura viene ripetuta fino a quando l'ultima FS calcolata non rientra in una tolleranza specificata della FS precedente.

Ora, se esaminiamo i diagrammi a corpo libero delle sezioni e forze poligoni per le stesse sezioni del metodo Ordinary sopra, vediamo una marcata differenza. La forza di chiusura del poligono è ora abbastanza buona con l'aggiunta delle forze normali interslice. Non ci sono forze di taglio interslice, come ipotizzato da Bishop, ma sono incluse le forze normali interslice.

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023

In un fattore di sicurezza rispetto al grafico lambda, il fattore di sicurezza semplificato ricade sulla curva di equilibrio del momento dove lambda è zero (FS = 1,36). Richiama questo: Il taglio interslice non viene incluso rendendo lambda zero

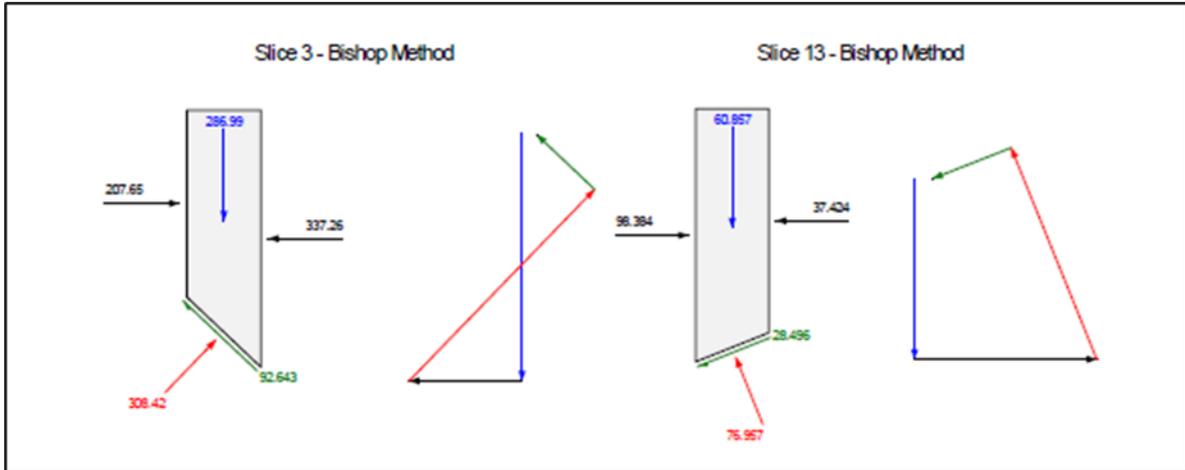


Figura 13-1: Diagramma del corpo libero e poligono della forza per il metodo di Bishop

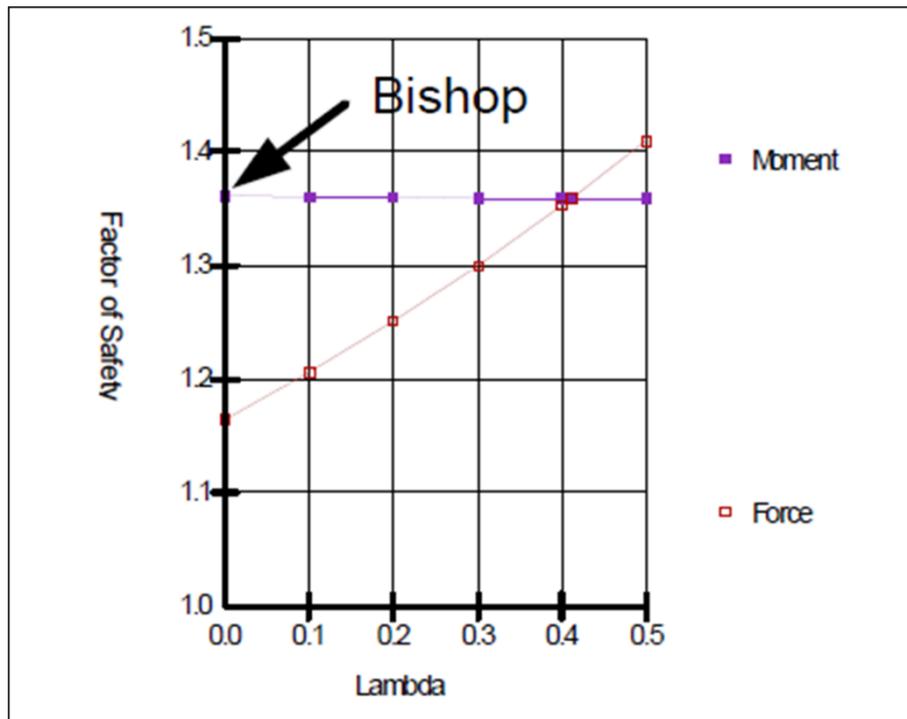


Figura 13-2: Fattore di sicurezza semplificato di Bishop

Notare che in questo caso il fattore momento di sicurezza (Fm) è insensibile alle forze di intersezione. La ragione di ciò, come discusso nel capitolo precedente, è che non è necessario alcuno slittamento tra le fette affinché la

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023

massa scorrevole ruoti. Questo non è vero per l'equilibrio delle forze e quindi il fattore di sicurezza della forza (Ff) è sensibile al taglio interslice.

13.1.2 Verifiche di stabilità e fattori di sicurezza

Il calcolo relativo alle verifiche di stabilità è stato svolto seguendo le indicazioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni di recente emanazione (DM 17 Gennaio 2018) in base alle quali le analisi di stabilità dei rilevati in terreni sciolti (od assimilabili ad essi quali gli ammassi di rifiuti) devono essere effettuati verificando che sia soddisfatta la condizione:

$Ed \leq Rd$,

dove:

- Ed rappresenta il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione;
- Rd rappresenta il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

In tale senso, in campo statico i valori caratteristici dei parametri geotecnici dei materiali e delle azioni vengono, rispettivamente, divisi e moltiplicati per i coefficienti parziali previsti dalla combinazione di carico

Combinazione 2: A2+M2+R2

In cui:

- A2 rappresenta il gruppo di coefficienti parziali γ_F da applicare alle azioni o all'effetto delle azioni
- M2 rappresenta il gruppo di coefficienti parziali γ_M da applicare ai parametri del terreno;
- R2 rappresenta il gruppo di coefficienti parziali γ_R per le verifiche di sicurezza.

13.2 RISULTATI DELLE VERIFICHE

Si riporta di seguito la sezione di calcolo delle verifiche di stabilità:

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 - Luglio 2023

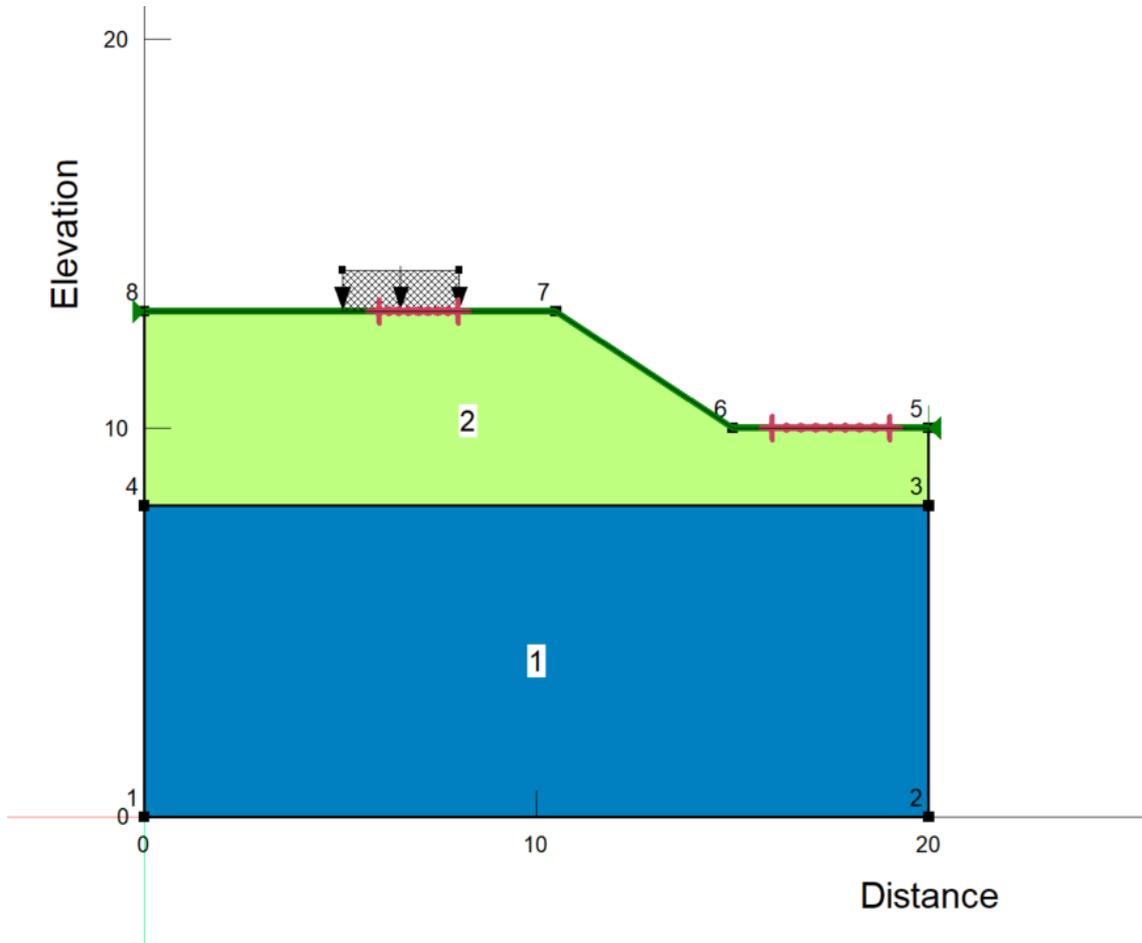
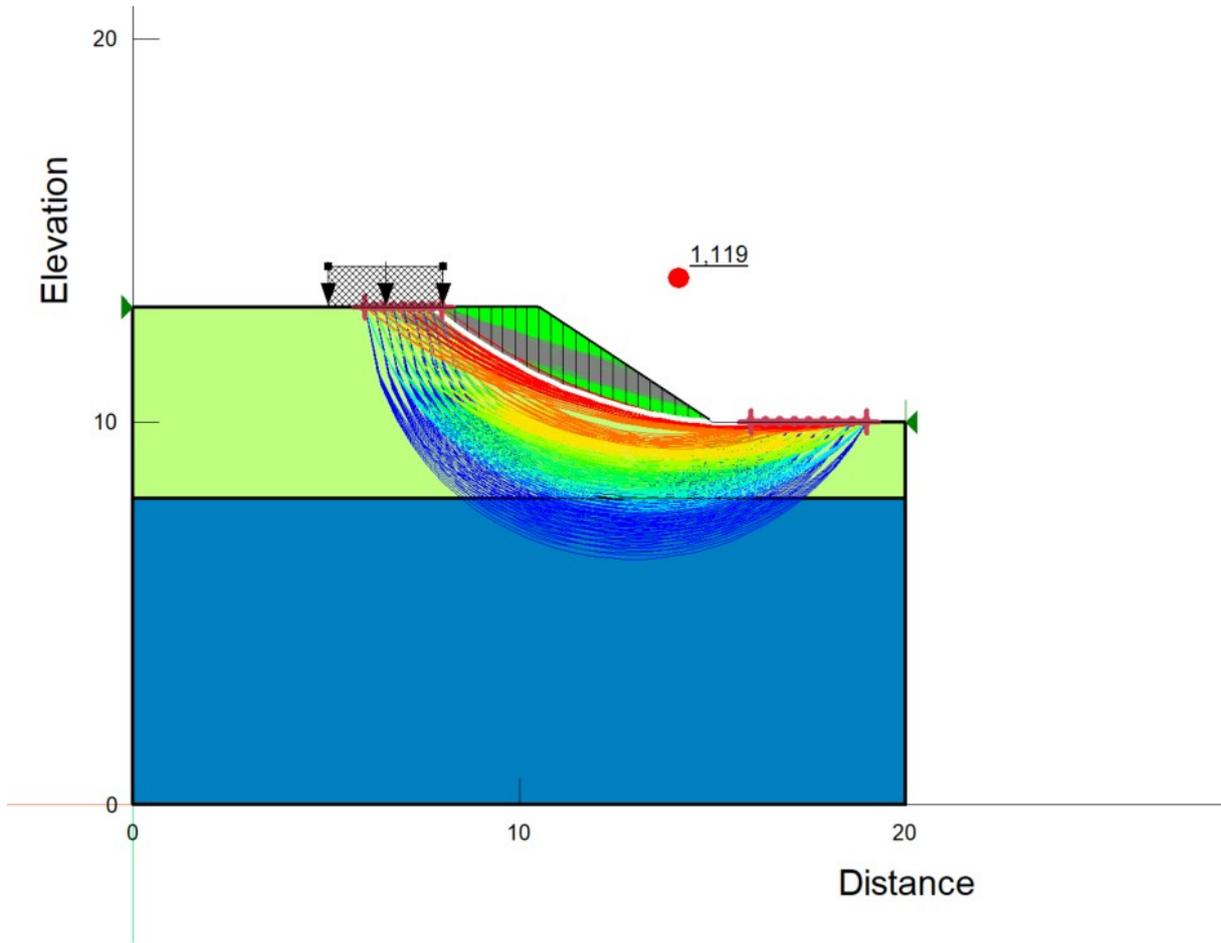


Figura 13-3: sezione di studio in Slope/W

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche di stabilità:

RELAZIONE TECNICA SULL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO IN COLMATA

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00 – Luglio 2023



Factor of Safety	
Red	1,119 - 1,219
Orange	1,219 - 1,319
Yellow	1,319 - 1,419
Light Green	1,419 - 1,519
Green	1,519 - 1,619
Dark Green	1,619 - 1,719
Cyan	1,719 - 1,819
Blue	1,819 - 1,919
Dark Blue	1,919 - 2,019
Blue	≥ 2,019

Analisi	Metodo	FSmin	FSrichiesto	Verifica
Statica	Bishop	1,119	1,10	SI

La verifica risulta dunque soddisfatta.

