

Provincia di Modena  
Comune di San Cesario sul Panaro

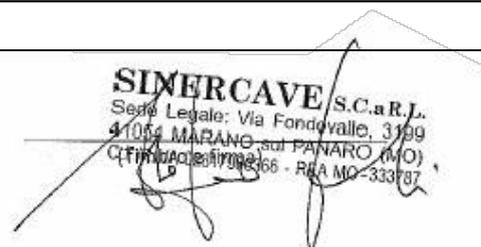


PROCEDURA DI V.I.A. - PROGETTO DI COLTIVAZIONE E SISTEMAZIONE  
CAVA FORNACE 2015

**SOGGETTO ATTUATORE**

**SINERCAVE S.C.a R.L.**

Via Fondovalle 3199  
41054 Marano sul Panaro (Mo)  
Tel. 059/703113



**Gruppo di lavoro**

**TECNICO RESPONSABILE:**

**Dott. Geol. ALESSANDRO MACCAFERRI**  
V.le Caduti in Guerra,1  
41121 - MODENA (MO)  
Tel. : 059/226540 - Fax. 059/4398943  
Cell. : 335/7053511 - E-mail: maccafe@tin.it

**ASPETTI FORESTALI:**

**Dott. For. Paola Romoli**

**IMPATTO ACUSTICO:**

**P.I. Ugo Ferrari**

**QUALITA' DELL'ARIA:**

**Dott.ssa Claudia Borelli**



Fascicolo 2

Luglio 2015

**RELAZIONE GEOLOGICA  
IDROGEOLOGICA E  
GIACIMENTOLOGICA**

**PROGETTO DI COLTIVAZIONE E SISTEMAZIONE  
DI UNA CAVA DI GHIAIA  
DENOMINATA CAVA FORNACE 2015**

**- PROCEDURA DI V.I.A. -  
ai sensi della L.R. 9/99 e ss.mm.**

**Fascicolo 2**

**RELAZIONE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E GIACIMENTOLOGICA**

**Tecnico Responsabile:**

Dott. Geol. Alessandro Maccaferri  
Viale Caduti in Guerra 1  
41121 Modena  
Tel. 059/226540 - Fax 059/4398943  
Email: maccafe@tin.it

**Committenza:**

SINERCAVE S.C.a R.L.  
Via Fondovalle, 3199  
41054 Marano sul Panaro (Mo)

## INDICE

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2. SUOLO E SOTTOSUOLO.....</b>	<b>4</b>
2.1 USO REALE DEL SUOLO .....	4
<b>3. DESCRIZIONE GEOLOGICA .....</b>	<b>5</b>
3.1 CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE .....	5
3.2 CARATTERISTICHE LITOLOGICHE E GEOLOGICHE.....	6
<b>4. ACQUE SOTTERRANEE .....</b>	<b>12</b>
4.1 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO E VULNERABILITÀ .....	12
4.2 SOGGIACENZA FALDA FREATICA (ACQUIFERO A0) .....	13
4.3 SOGGIACENZA FALDA IN PRESSIONE (ACQUIFERO A0).....	17
4.4 IDROCHIMICA DELL'ACQUIFERO .....	20
<b>5. VERIFICHE DI STABILITÀ .....</b>	<b>26</b>
5.1 VERIFICA DI STABILITÀ SBARRAMENTO AL CONFINE CON IL BACINO IRRIGUO (DA ACCORDO 2013) 26	
5.2 VERIFICA DI STABILITÀ SCARPATE DI SCAVO E DI SISTEMAZIONE .....	28
5.3 VERIFICA DI STABILITÀ SBARRAMENTO AL CONFINE CON IL BACINO IRRIGUO.....	34

## ALLEGATI

**Allegato A**            Verifiche di stabilità

## 1. PREMESSA

Su incarico della ditta Sinercave S.C.a R.L., esercente l'attività estrattiva nella cava Fornace 2015, si è proceduto alla stesura della presente relazione, che costituisce uno degli allegati a corredo della richiesta di autorizzazione alle attività estrattive ai sensi dell'art. 13 della L.R. n 17/1991. Vengono pertanto fornite indicazioni sulle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, litostratigrafiche, giacimentoologiche, idrografiche, idrogeologiche e idrochimiche del territorio intorno all'area di escavazione.

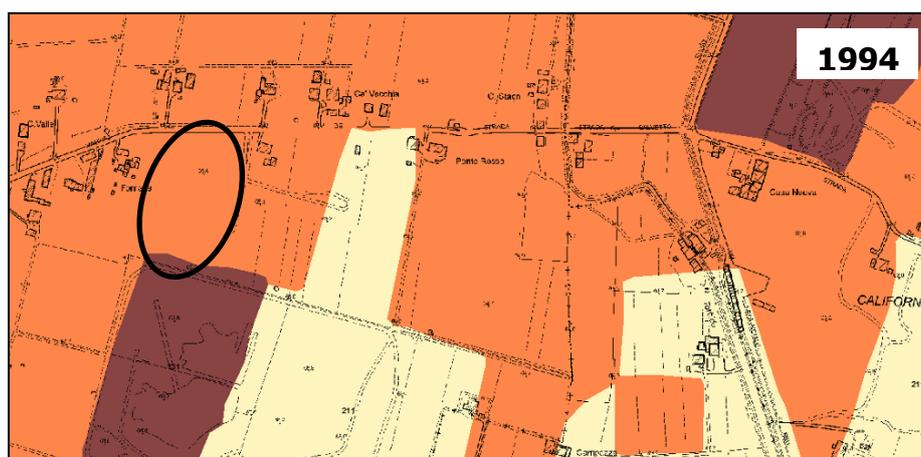
Il presente progetto di coltivazione e sistemazione della cava Fornace 2015 (di seguito PCS) all'interno del Polo 9 in Comune di San Cesario sul Panaro, ai sensi dell'allegato B.3 e dell'art. 4 della Legge Regionale 9/99 "Disciplina della procedura di valutazione dell'impatto ambientale" Titolo II così come modificati dall'art. 53 della Legge Regionale 30/07/2013 n. 15 "Semplificazione della disciplina edilizia", nella categoria B.3.4. "cave e torbiere", ricade tra i progetti assoggettati a procedura di Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) *"qualora essi siano realizzati in ambiti territoriali in cui entro un raggio di un chilometro siano localizzati interventi, già autorizzati, realizzati o in fase di realizzazione, appartenenti alla medesima tipologia progettuale"*. L'area oggetto di studio è ubicata nella parte nordoccidentale del Polo estrattivo n° 9 "Via Graziosi" sito nel territorio comunale del Comune di San Cesario sul Panaro (Mo), riconfermato dalla Variante Generale al P.I.A.E. approvato con Delibera di Consiglio provinciale n° 44 del 16/03/2009. In tale realtà coesistono diverse attività estrattive attive e pianificate a distanza inferiore ad 1 km dai confini dell'area di intervento, pertanto il PCS viene assoggettato a procedura di VIA tramite istruttoria da parte dell'ente competente (Comune di San Cesario sul Panaro) al fine di determinarne la fattibilità e la compatibilità ambientale. Inoltre, relativamente all'attuazione del Polo estrattivo n° 9, in conformità all'art. 24 comma 5 del PAE 2009, è stato sottoscritto in data 13 novembre 2013 l'Accordo (di seguito Accordo 2013), ai sensi dell'art. 24 della L.R. 241/1990, tra il Comune di San Cesario sul Panaro ed i Soggetti privati interessati.

## 2. SUOLO E SOTTOSUOLO

La cava Fornace 2015 è inserita nel tipico contesto della fascia pedecollinare modenese, caratterizzato da un ambiente antropizzato in continua espansione, suddiviso da vaste aree rurali che, con una conformazione del territorio sub pianeggiante, si compongono di ampi spazi adibiti a seminativi e frutticole a contornare i perimetri urbanizzati e le ampie aree fluviali perimetrali al corso del fiume Panaro, a cui si deve la particolare formazione, la giacitura e la composizione della pianura e del sottosuolo locale.

### 2.1 USO REALE DEL SUOLO

L'esercizio dell'attività estrattiva nell'area oggetto del presente quadro progettuale risale ai primi anni 2000, mentre era già presente nelle zone perimetrali già a partire dagli anni '90. L'intero areale, in virtù della storia dell'evoluzione geologica della conoide del fiume Panaro (ad una distanza poco maggiore di 1 km), è caratterizzato dalla presenza di profondi orizzonti geologici di materiale sedimentario quali ghiaia e sabbia prevalentemente. La natura giacimentologica del sito è pertanto di forte interesse commerciale da oltre un ventennio. Tale peculiarità ha fortemente influenzato l'evoluzione dell'utilizzo del suolo, tipicamente contraddistinta da frutteti e seminativi, che nel tempo ha lasciato spazio allo sfruttamento estrattivo. Tale evidenza è riportata nell'estratto della carta dell'Uso Reale del Suolo dell'Emilia Romagna, dal 1994 al 2008 (Figura 1), dove si nota un'ampia fascia contraddistinta dal cod. 1311 "Zone estrattive attive", che si è andata progressivamente a sostituire a zone adibite a "frutteti" (cod. 2220). Ad est del sito esaminato si evidenzia un'area adibita prevalentemente a seminativi semplici irrigui (cod. 2121).



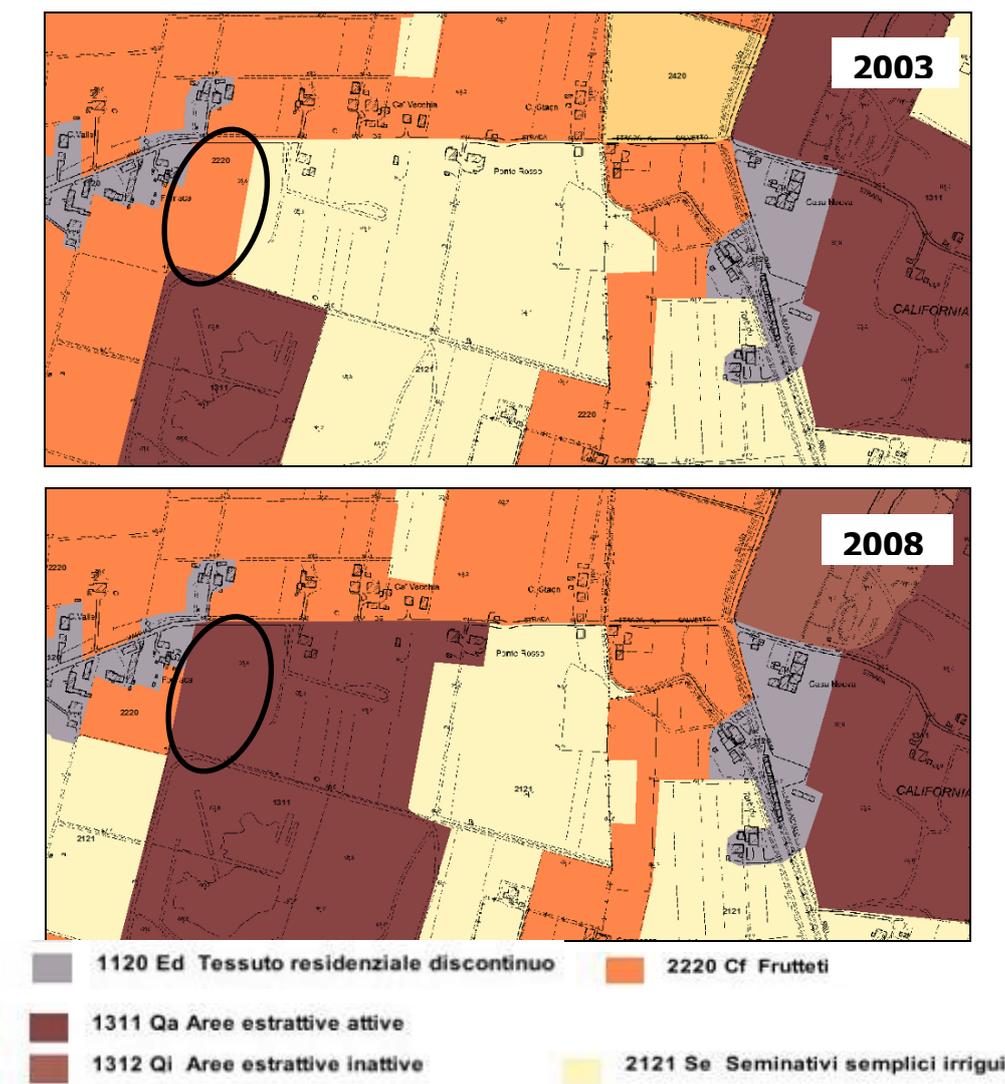


Figura 1: Estratto della Carta di Uso reale del Suolo dal 1994 al 2008 (stato attuale) della Regione Emilia Romagna.

### 3. DESCRIZIONE GEOLOGICA

#### 3.1 CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE

L'area oggetto di studio si colloca in zona pianeggiante, ad una quota media del piano campagna naturale pari a circa 65-66 m s.l.m., nella fascia dell'alta pianura modenese e nella parte destra della conoide del fiume Panaro.

Nel settore in esame, la pianura presenta pendenze deboli in direzione N-NE, con lievi ondulazioni, testimonianza di antichi paleoalvei del fiume Panaro.

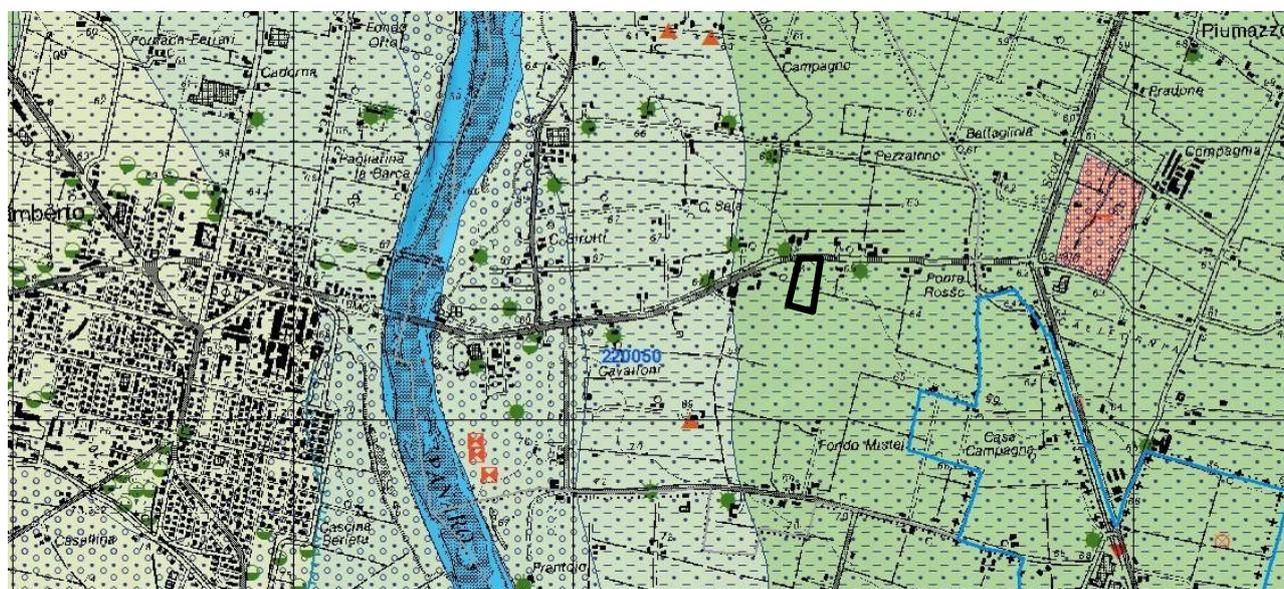
Verso est un gradino morfologico di origine antropica che delimita l'alveo del fiume Panaro interrompe la continuità della pianura, sia in sponda destra che sinistra, per un lungo tratto tra Vignola e fino oltre San Cesario: nella zona si identificano opere di difesa spondale, lineare e trasversali, muraglioni in calcestruzzo e pannelli repellenti, realizzati negli anni '30 a difesa delle esondazioni del fiume, che hanno costretto lo stesso entro un alveo di larghezza pari a 200 – 300 metri.

La porzione di pianura in esame è costituita da materiali alluvionali attribuiti all'Unità dei Corsi d'Acqua Principali, caratterizzati da granulometrie assai variabili sia in senso areale che verticale, prevalentemente ghiaiosi sabbiosi, stratificati o massivi, di prevalente accrescimento verticale, depositi dal fiume Panaro che scorre ad ovest dell'area in studio. Quest'Unità comprende anche i depositi sabbiosi e limosi delle aree golenali e degli alvei abbandonati.

Superficialmente affiorano terreni alluvionali prevalentemente ghiaiosi e più raramente sabbiosi-limosi a formare dossi fluviali allungati in senso SW-NE e rilevati rispetto ai terreni circostanti, ai quali si frappongono zone caratterizzate da litologie prevalentemente limose e limo-argillose, corrispondenti generalmente a depressioni ed a zone di esondazione.

### 3.2 CARATTERISTICHE LITOLOGICHE E GEOLOGICHE

Facendo riferimento ai dati bibliografici, ed in particolare alla "Carta Geologica Schematica dell'Appennino Modenese e zone limitrofe", di Bettelli et alii, in scala 1:100'000, ed alla "Carta Geologica della Regione Emilia Romagna", in scala 1:10'000 C.T.R. sezioni 220050 e 220051 (Figura 2), l'area in esame è ubicata nell'alta pianura modenese, in destra idrografica del fiume Panaro ed all'interno della sua stessa conoide alluvionale (Figura 3).



Linee geomorf./antrop. (10K)

orlo di terrazzo fluviale

Ambienti deposiz. e litologie (10K)

Ghiaia Sabbiosa - Piana alluvionale

Limo - Piana alluvionale

Limo Sabbioso - Piana alluvionale

Coperture quaternarie (10K)

AES7b - Unità di Vignola

AES8 - Subintema di Ravenna

AES8a - Unità di Modena

b1 - Deposito alluvionale in evoluzione

h3-2 - Cava inattiva

Successione neogenico - quaternaria del margine appenninico padano

AES8 - Subintema di Ravenna

**Modena** Ghiaie e ghiaie sabbiose, passanti a sabbie e limi organizzate in numerosi ordini di terrazzi alluvionali. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. A tetto suoli a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente fino a 150 cm e parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallo-bruno. Contengono frequenti reperti archeologici di età del Bronzo, del Ferro e Romana. Potenza fino a oltre 25 m.

(Olocene (età radiometrica della base: 11.000 - 8.000 anni))

**Reggio nell'Emilia** Limi sabbiosi e limi argillosi negli apparati dei torrenti minori e ghiaie in lenti entro limi, subordinate ghiaie e ghiaie sabbiose in quelli dei torrenti e fiumi principali. A tetto suoli a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente fino a 150 cm e parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallo-bruno. Nell'alta pianura su AES7b (affiorante solo in cave). Potenza fino a oltre 20 m.

(Olocene (età radiometrica della base: 11.000 - 8.000 anni))

AES8a - Unità di Modena

**Modena** Depositi ghiaiosi passanti a sabbie e limi di terrazzo alluvionale. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. Unità definita dalla presenza di un suolo a bassissimo grado di alterazione, con profilo potente meno di 100 cm, calcareo, grigio-giallastro o bruno grigiastro. Nella pianura ricopre resti archeologici di età romana del VI secolo d.C. Potenza massima di alcuni metri (< 10 m).

(Post-VI secolo d.C.)

**Reggio nell'Emilia** Depositi ghiaiosi e fini. Unità definita dalla presenza di un suolo a bassissimo grado di alterazione, con profilo potente meno di 100 cm, calcareo e grigio-giallastro. Corrisponde al primo ordine dei terrazzi nelle zone intravallive. Nella pianura ricopre resti archeologici di età romana del VI secolo d.C. Potenza massima di alcuni metri (< 10 m).

(Post-VI secolo d.C.)

Figura 2: "Carta Geologica della Regione Emilia Romagna" - Progetto CARG - Geoportale Emilia Romagna.



LEGENDA

1. Depositi alluvionali (Pleistocene med.-sup.-Attuale) della pianura;
2. Formazioni marine e di facies di transizione prevalentemente argillose (pre-Pleistocene inf.-med.) del margine collinare (substrato affiorante dell'acquifero);
3. Ruscellamento di versante e flusso sotterraneo nullo;
4. Isoipse; limiti della conoide;
5. pleistocenica media e superiore,
6. olocenica,
7. apicale - Emergenze della falda (fontanili),
8. attuali,
9. scomparse negli ultimi 10-20 anni per abbassamento della superficie piezometrica.

Condizioni idrodinamiche di flusso:

10. Flusso imposto subalveo all'apice della conoide;
11. Termine dell'alveo infiltrante;
12. Termine della connessione idraulica falda-corso d'acqua, con alveo prevalentemente drenante;
13. Senso di flusso univoco tra acquiferi confinanti;
14. Senso di flusso variabile nel tempo tra acquiferi confinanti;
15. Traccia della sezione di fig. 8.

Figura 3: Conoide del fiume Panaro – Pellegrini e Zavatti 1986

Quest'ultima presenta la classica forma sub-triangolare, con l'apice che si raccorda al solco vallivo alla quota di 130-150 m s.l.m. (Vignola-Marano), e risulta quasi tutta spostata in destra idrografica dell'attuale corso del fiume, arrivando a chiudersi rapidamente a nord di Castellfranco Emilia alla quota di circa 30 m s.l.m.. Il Panaro attualmente incide la propria conoide sul lato più meridionale. Ad est, il limite della conoide del fiume Panaro coincide con l'attuale corso del torrente Samoggia, che scorre al margine della propria conoide fino a nord dell'abitato di Bazzano, per poi inclinare verso est e confluire nell'adiacente torrente Lavino.

Dal punto di vista litologico, la conoide è il risultato della sovrapposizione di più corpi alluvionali sedimentari di diversa età, con l'unità AES8 "Subsistema di Ravenna" (Olocene) a ricoprire quasi completamente i sottostanti depositi del Pleistocene medio e superiore (sedimenti marini delle Argille Azzurre) dando luogo ad intercalazioni concentrate in lenti discontinue di modesto spessore, che formano strati più potenti, lateralmente continui e prevalenti rispetto alle ghiaie, ad una profondità che si attesta tra i 16 ed i 18 m.

La zona oggetto di studio appartiene geologicamente alla fascia pedeappenninica, che si sviluppa nell'alta pianura modenese a ridosso delle prime ondulazioni appenniniche. La zona collinare, a sud dell'area in esame, è caratterizzata da terreni marini pliocenici quaternari che si immergono rapidamente al di sotto della copertura alluvionale della zona di alta pianura, raggiungendo la profondità di oltre 300 m in corrispondenza della località di San Donnino (Mo); tali depositi sono costituiti dall'alternanza di argille, ghiaie e sabbie con frequenti livelli conglomeratici e argille a colorazione bluastra.

In Figura 4 si riporta una sezione con direzione SSW-NNE, con andamento antiappenninico, che fornisce una ricostruzione strutturale del sottosuolo.

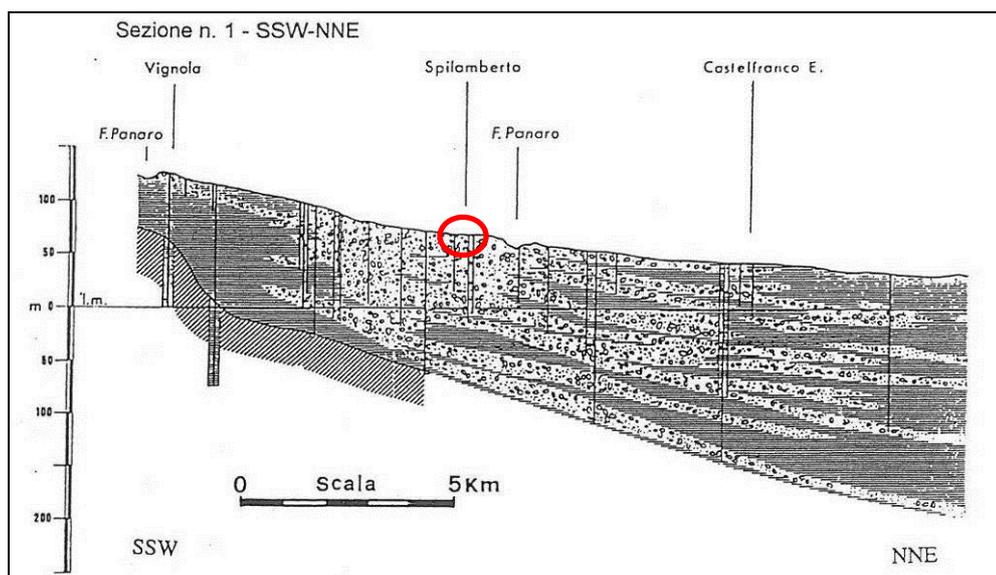


Figura 4: Sezioni geostrutturali.

Nella zona apicale della conoide del fiume Panaro, presso Spilamberto, procedendo verso nord, avviene il passaggio da un unico strato, indifferenziato ghiaioso, ad una complessa alternanza di lenti ghiaiose intercalate ad altre limose-argillose, che tendono a chiudersi a nord del Comune di Castelfranco; l'ultima lente ghiaiosa si rinviene in località Nosadella, ad una profondità di circa 212 m dal piano campagna.

La situazione idrogeologica è fortemente connessa a quella strutturale: da un unico acquifero indifferenziato sede della falda freatica nella zona apicale della conoide a sud di San Cesario s/P, si passa verso nord ad una serie di lenti acquifere, che nell'insieme costituiscono un sistema "monostrato" formato da falde in pressione.

Le quote piezometriche dei diversi livelli risultano pressoché coincidenti, e le caratteristiche chimiche dell'acqua sono più o meno costanti lungo una medesima verticale.

Nell'area di pianura in studio sono presenti depositi sedimentari di ambiente continentale, prevalentemente fluviali, la cui genesi è legata all'azione di trasporto e sedimentazione operata dai fiumi e dai torrenti principali durante il Quaternario.

Dal punto di vista geologico, si è in presenza di depositi di "pianura alluvionale" (Gasperi, 1989), situati a valle dell'unità dei corsi d'acqua principali".

Superficialmente affiorano terreni prevalentemente limoso-sabbiosi lateralmente interdigitali a corpi con litologie prevalentemente argillose. Tali depositi, che comprendono anche lo strato di coltivo, si trovano al tetto del sottostante banco ghiaioso.

In seguito a studi di approfondimento condotti dal Servizio geologico sismico e dei suoli della Regione Emilia Romagna, mediante l'applicazione dei principi della stratigrafia sequenziale allo studio descrittivo della successione dei depositi plio-quadernari del sottosuolo della pianura emiliano-romagnola, i sedimenti sono stati messi in relazione con i coevi depositi terrazzati affioranti lungo il margine pedecollinari e le valli dei principali corsi d'acqua. Sono state pertanto individuate unità a limiti inconformi o UBSU (Unconformity Bounded Stratigraphic Units) ed unità allostratigrafiche (Figura 5).

PRINCIPALI UNITÀ STRATIGRAFICHE				ETA' (milioni di anni)	SCALA CRONOSTRATIGRAFICA (milioni di anni)	UNITÀ IDROSTRATIGRAFICHE	
AFFIORANTI		SEPOLTE				GRUPPO ACQUIFERO	COMPLESSO ACQUIFERO
QUATERNARIO CONTINENTALE	TERRE ROSSE, DILUVIUM, ALLUVIUM, TERRAZZI E ALLUVIONI	DILUVIUM p.p. FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE FORMAZIONE di SCHATTELLI UNITÀ DI VILLA TIL DEL BOSCO UNITÀ DI CA DI SOLA	SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE	~0.12	PLEISTOCENE SUPERIORE - OLOCENE 0.125	A	A1
				A2			
				A3			
				A4			
QUATERNARIO MARINO	MILAZZIANO SABBIE di CASTELVETRO p.p. SABBIE GIALLE di IMOLA p.p.	SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	~0.35-0.45	PLEISTOCENE MEDIO	B	B1
	MILAZZIANO e CALABRIANO p.p. SABBIE di CASTELVETRO p.p. SABBIE GIALLE di IMOLA p.p.						B2
	CALABRIANO p.p. SABBIE di MONTERICCIO FORMAZIONE di TERRA del SOLE p.p.						B3
	CALABRIANO p.p. FORMAZIONE di CASTELL'ARQUATO p.p.						B4
P2	FORMAZIONE di CASTELL'ARQUATO p.p.	SUPERSTESIMA DEL QUATERNARIO MARINO	SUBSISTEMA QUATERNARIO MARINO 3	~0.65	0.89	C	C1
			SUBSISTEMA QUATERNARIO MARINO 3	~0.8			C2
			SISTEMA QUATERNARIO MARINO 2	~1.0			C3
			SISTEMA QUATERNARIO MARINO 1	~1.72			C4
			SUPERSTESIMA DEL PLOCCENE MEDIO-SUPERIORE	~2.2			PLEISTOCENE MEDIO - SUPERIORE 1.72
				~3.3-3.6	3.55		
				~3.9	PLEISTOCENE INFERIORE MIOCENE		
							ACQUITARDO BASALE

Figura 5: Schema dei depositi plio-quadernari del sottosuolo padano (Quadro conoscitivo variante al PTCP in attuazione del PTA, 2009).

- Sintema emiliano-romagnolo inferiore, comprendente i sedimenti di ambiente continentale sedimentati all'incirca tra 650 mila e 350/450 mila anni fa;
- Sintema emiliano-romagnolo superiore comprendente i depositi continentali depositatisi da 350/450 mila anni fa al presente, alla cui sommità (intervallo compreso all'incirca tra i 125mila anni e l'attuale) vengono distinti dall'alto verso il basso (Gasperi & Pizziolo): a) Subsintema di Ravenna (AES8) (la cui parte superiore è denominata unità di Modena (AES8a); b) Subsintema di Villa Verucchio (AES7) suddiviso in unità di Niviano (AES7a) ed Unità di Vignola (AES7b); c) Subsintema di Bazzano (AES6).

### **AES8 - Subsintema di Ravenna**

Sono composti da ghiaie e ghiaie sabbiose, passanti a sabbie e limi organizzate in numerosi ordini di terrazzi alluvionali. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. A tetto suoli a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente fino a 150 cm e parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallo-bruno.

Nell'area di pianura in studio, questo subsintema, in superficie, è composto da alternanze di argille e limi in prevalenza. Superficialmente, la distribuzione granulometrica presenta un andamento eterogeneo, anche se, a linee generali, si nota una progressiva diminuzione granulometrica da sud verso nord e da ovest verso est, conformemente al modello deposizionale che ha caratterizzato la conoide del fiume Panaro.

Nell'area in esame, l'orizzonte superficiale posto al di sopra dei depositi ghiaiosi oggetto dell'attività estrattiva, il così detto "cappellaccio", è formato da una porzione pedogenizzata (suolo propriamente detto) e limi e argille variamente miscelati (sterili).

Il suolo deriva dai sedimenti deposizionali più recenti che hanno subito processi di alterazione fisico-chimica e biochimica, nei quali si riconosce anche una componente organica significativa utile nell'ottica di un impiego nel ripristino vegetazionale finale.

Gli sterili, invece, hanno caratteristiche paragonabili a quelle dell'originario sedimento e non sono idonei per l'impiego nella piantumazione per la carenza di contenuto organico.

Lo spessore del cappellaccio nell'area in esame, presente a copertura del sottostante banco ghiaioso, risulta mediamente di 1.7 m, come si rileva dalla visione del fronte di scavo aperto (Figura 6); a partire da tale profondità si riscontra la presenza di ghiaie costituite da clasti prevalentemente calcareo-marnosi eterometrici, immersi in una matrice limo-sabbiosa.



*Figura 6: Vista del fronte di scavo attivo in direzione ovest; la profondità dello strato ghiaioso si attesta a circa – 1,7 m di profondità del piano campana originario.*

In merito alla quantificazione dei materiali sterili che si stima possano rinvenirsi frapposti alle ghiaie all'interno del banco ghiaioso, si riprende quanto riportato nell'Accordo 2013 per l'attuazione del Polo n. 9.

*“Come noto da sondaggi e dalle osservazioni delle pareti di cava esistenti, intercalati alle argille possono essere presenti orizzonti, più o meno continui, o lenti di materiali limosi, argillosi o comunque pelitici che costituiscono una frazione “sterile”, di scarto, che riduce il volume del materiale utile rispetto al volume complessivo del materiale scavato. Si tratta in generale di lenti o di strati discontinui di materiale fine argilloso-limoso per la cui quantificazione volumetrica si è fatto riferimento a:*

- *dati contenuti nella Relazione Illustrativa al Piano delle attività estrattive del Comune di Castelfranco Emilia;*
- *dati ed elaborazioni contenute nella Relazione geologico-mineraria relativa al progetto di coltivazione della Cava di materiale Ghiaioso-sabbioso come da PAE del Comune di San Cesario-Polo Estrattivo n. 9 e Ambito Estrattivo “Via Graziosi” a firma dei Dott. Geol. Katia Lorenzoni e Giorgio Masotti del 2003.*

*Nel primo documento, redatto per il PAE del confinante Comune di Castelfranco, si legge che “localmente, dopo 1-4 m di profondità cioè al di sotto della copertura limo-argillosa e limo-sabbiosa superficiale, sono presenti ghiaie eterometriche, di forma arrotondata, costituite per lo più da clasti calcareo-marnosi con diametri massimi dell'ordine dei 10 cm, con matrice limo-sabbiosa e, subordinatamente, sabbiosa. I clasti, in via subordinata, sono costituiti da elementi arenacei e calcarenitici. La frazione pelitica (limo e argilla) sulla base dei sondaggi effettuati nell'area e di quanto emerso nell'escavazione delle aree limitrofe è stimabile in circa il 15%. I primi livelli argilloso-limosi di una certa continuità areale si rinvencono a partire da 16-18 m di profondità, anche se non è infrequente la presenza di lenti limo-argillose, discontinue, con spessori dell'ordine del metro-metro e mezzo, entro i primi 10-15 m di profondità dal piano campagna attuale.”*

*Nel secondo documento, sono riportati i risultati delle indagini per la valutazione giacimentologica dello scavo per la realizzazione della cava che, allo stato attuale, costituisce una parte del bacino irriguo, compresa all'interno del polo estrattivo n. 9. Più in particolare, sono riportate le stratigrafie di alcuni sondaggi a rotazione con carotaggio continuo eseguiti nell'anno 2003. I tecnici, relatori del lavoro, hanno rilevato che fino alla profondità di scavo allora prevista, 15 m dal p.c. originario, nel corpo ghiaioso che costituisce il primo sottosuolo erano presenti “livelli limo-sabbiosi e limosi discontinui che raggiungono spessori di poco inferiori ai 2.5 m. In relazione a ciò si può stimare la percentuale di materiale sterile all'interno del banco ghiaioso (...) pari a circa il 15.53% (...)”. Per tale cava, in sede di autorizzazione, fu riconosciuta, con le motivazioni citate, una percentuale di scarto del 15%.*

*Sulla base di tali informazioni, si stima pertanto al 15% la percentuale di scarto derivante dal materiale di escavazione naturale.”*

La effettiva volumetria di materiale terroso eventualmente rinvenuta entro il giacimento ghiaioso potrà essere confermata solo in fase esecutiva.

## 4. ACQUE SOTTERRANEE

### 4.1 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO E VULNERABILITÀ

Per l'area di studio in oggetto si farà riferimento all'Allegato 1 "Studio Idrologico ed Idrogeologico relativo al Polo Estrattivo n° 9 "Via Graziosi"" agli "Indirizzi tecnici per la formazione della proposta preliminare coordinata, unitaria di escavazione, ripristino e recupero" prodotto dal Comune di San Cesario nell'anno 2011.

Sotto l'aspetto idrogeologico l'area ricade nell'unità della conoide del fiume Panaro, ponendosi a valle della sua parte apicale.

Dal punto di vista strutturale la conoide è caratterizzata, nella zona apicale (Vignola, circa 5 km a sud-ovest) e sino all'abitato di San Cesario (circa 3 km a nord nord-ovest), da un monostrato costituito da ghiaia e sabbia e ciottoli, praticamente indifferenziato, mentre procedendo verso nord si assiste ad una suddivisione dello strato ghiaioso con alternanze limoso-argillose, che diventano sempre più potenti e prevalenti a nord di Castelfranco Emilia (circa 5 km verso nord), al margine frontale della conoide.

Nella zona in studio, per assimilazione ad un'area poco più a valle della cava in oggetto, lo strato ghiaioso e permeabile presenta uno spessore di 30-40 m, interrotto da rari e sottili livelli e/o lenti limo-argillose con una distribuzione areale discontinua, e ospita il primo acquifero freatico captato dai piezometri di controllo realizzati per il monitoraggio delle cave esistenti. Al tetto, questo strato è ricoperto da coltri di terreno vegetale di spessore limitato (variabile da 0.8 a 3.2 m – Accordo 2013), alla base, un orizzonte pelitico continuo separa l'acquifero freatico da un sottostante acquifero confinato escludendo scambi diretti tra questi.

Secondo quanto affermato dallo Studio Idrologico ed Idrogeologico relativo al Polo estrattivo n° 9 "Via Graziosi" elaborato dal Comune di San Cesario sul Panaro, si evidenzia che "esiste inoltre una documentata connessione idraulica tra falda e fiume con quest'ultimo che risulta, in questo tratto, prevalentemente infiltrante" e a conferma di ciò "le quote idrometriche ad esso relative sono sempre superiori ai livelli piezometrici di falda". L'alimentazione della falda è anche "legata alle infiltrazioni efficaci dalla superficie".

Per tale motivo le falde idriche sotterranee, in quest'area, "risultano facilmente raggiungibili dalle infiltrazioni superficiali e quindi poco protette da eventuali inquinamenti" come "confermato sia dalla Carta della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento con grado di vulnerabilità elevato, sia dalla bassa capacità di attenuazione del suolo".



* GRADO DI VULNERABILITA'						LITOLOGIA SUPERFICIE	PROFONDITA' TETTO GHIAIE E SABBIE	CARATTERISTICHE ACQUIFERO	CAPACITA' ATTENUAZIONE SUOLO
EE	E	A	M	B	BB				
						- Zona di MEDIA PIANURA: Area caratterizzata da assenza di acquiferi significativi, nella quale sono presenti livelli di ghiaia solamente al di sotto dei 100 m di profondita' e di sabbia al di sotto dei 25 m di profondita'			
						(**) Paleoalvei recenti e depositi di rotta, sede di acquiferi sospesi.			
						limo	> 100	libero	AM
						sabbia	> 100	libero	AM
						limo	> 100	libero	B
						sabbia	> 100	libero	B
						argilla	> 10	libero/confinato	AM
						limo	> 10	libero/confinato	A
						argilla e/o limo	< 10	confinato	A
						argilla	> 10	libero/confinato	B
						argilla e/o limo	< 10	libero	AM
						limo	< 10	libero/confinato	MB
						argilla e/o limo	< 10	confinato	MB
						sabbia e/o ghiaia	> 10	confinato	A
						argilla e/o limo	< 10	libero	B
						sabbia e/o ghiaia	> 10	libero	AM
						sabbia e/o ghiaia	> 10	confinato	MB
						sabbia e/o ghiaia	< 10	confinato	AM
						sabbia e/o ghiaia	< 10	libero	AM
						sabbia e/o ghiaia	< 10	libero	B
						Alvei fluviali disperdenti			

\* EE = Estremamente Elevato E = Elevato A = Alto M = Medio B = Basso BB = Molto Basso

Grado di vulnerabilita' relativa alle zone destinate ad attivita' estrattive

Per le zone di 'MEDIA-ALTA PIANURA' si prende in considerazione il tetto delle ghiaie.  
 Per la zona di 'BASSA PIANURA' si prende in considerazione il tetto delle sabbie.



(\*) Aree destinate ad attivita' estrattive nella quale la vulnerabilita' naturale viene alterata.

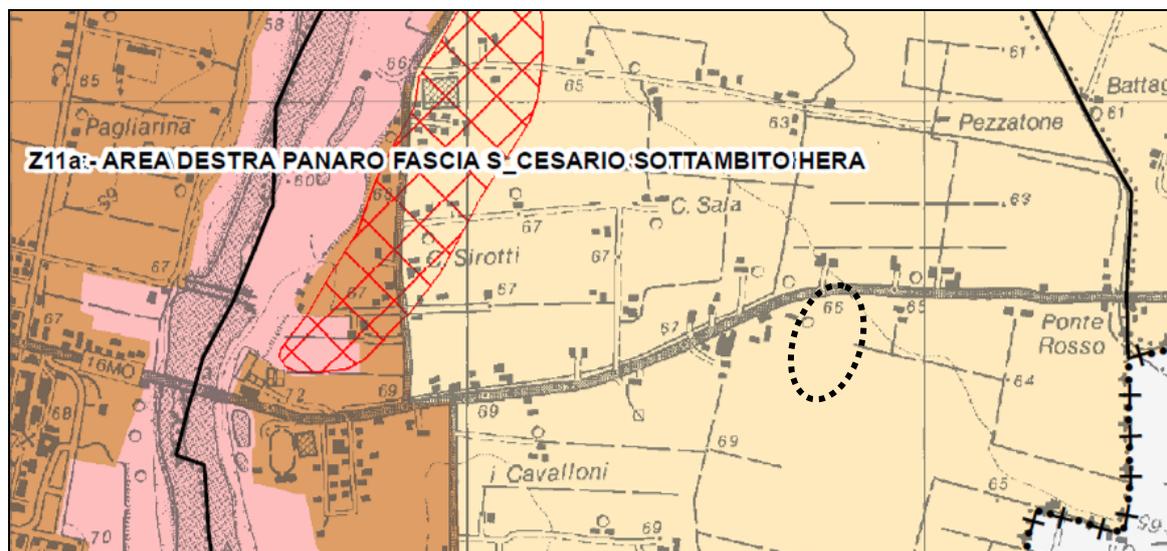
Aree di cava previste nel P.I.A.E. adottato con Del. C.P. n.63 del 31/12/93 e approvato con Del. G.R. n.2082 del 06/06/95

Figura 7: Estratto della Tavola 3.1.2 "Vulnerabilita' dell'acquifero principale", scala 1:50.000, del PTCP della Provincia di Modena (2009).

## 4.2 SOGGIACENZA FALDA FREATICA (ACQUIFERO A0)

L'area oggetto del presente quadro progettuale è classificata come "area B di ricarica indiretta della falda" (Figura 8), e come tale è regolata dall'articolo 12 A del PTCP di Modena che la descrive come "zona compresa tra l'area A di ricarica diretta della falda e la media pianura, idrogeologicamente identificabile come sistema debolmente compartimentato in cui, alla falda freatica superficiale, segue una falda semiconfinata in collegamento per drenanza verticale". In tali aree è necessario rispettare alcune prescrizioni

di cui all'art. 12°, comma 2.1, lettera c.1; in fase di progettazione definitiva si dovrà cercare di non interessare direttamente la falda superficiale, in ottemperanza al suddetto articolo del PTCP.



Zone di protezione delle acque sotterranee nel territorio di pedecollina-pianura						
					Settori di ricarica di tipo A - Aree di ricarica diretta della falda	Art. 12A
					Settori di ricarica di tipo C - Bacini imbriferi di primaria alimentazione delle zone A e B	Art. 12A
					Settori di ricarica di tipo D - Fasce adiacenti agli alvei fluviali con prevalente alimentazione laterale subalvea	Art. 12A
					Aree caratterizzate da ricchezza di falde idriche	Art. 12A

Figura 8: Estratto Tavola 3.2.5 del PTCP di Modena, scala 1:25'000, "Rischio inquinamento acque: zone di protezione delle acque superficiali e sotterranee destinate al consumo umano".

In un quadro generale, nella superficie prevalgono litotipi permeabili e semipermeabili di modesto spessore (generalmente inferiore a 1 m) causando un alto grado di vulnerabilità degli acquiferi (Figura 7).

I dati stratigrafici ed idrogeologici (fonte: "Studio Idrologico ed Idrogeologico relativo al Polo Estrattivo n° 9 Via Graziosi", anno 2011, dello Studio Geologico ARKIGEO, al quale fa riferimento l'Accordo 2013), di confronto tra i dati piezometrici e idrochimici di pozzi profondi con piezometri del primo acquifero freatico, suggeriscono che non vi siano scambi idrici diretti tra falda freatica superficiale e acquiferi più profondi. La prima infatti mostra valori di soggiacenza che si discostano di alcuni metri rispetto a quelli delle falde più profonde (Figura 9) e presenta una peggiore qualità delle acque. In Figura 10 si ricostruisce il campo di moto della falda attraverso isopieze che mostrano come la direzione prevalente delle linee di flusso sia orientata da W-SW verso E-NE.

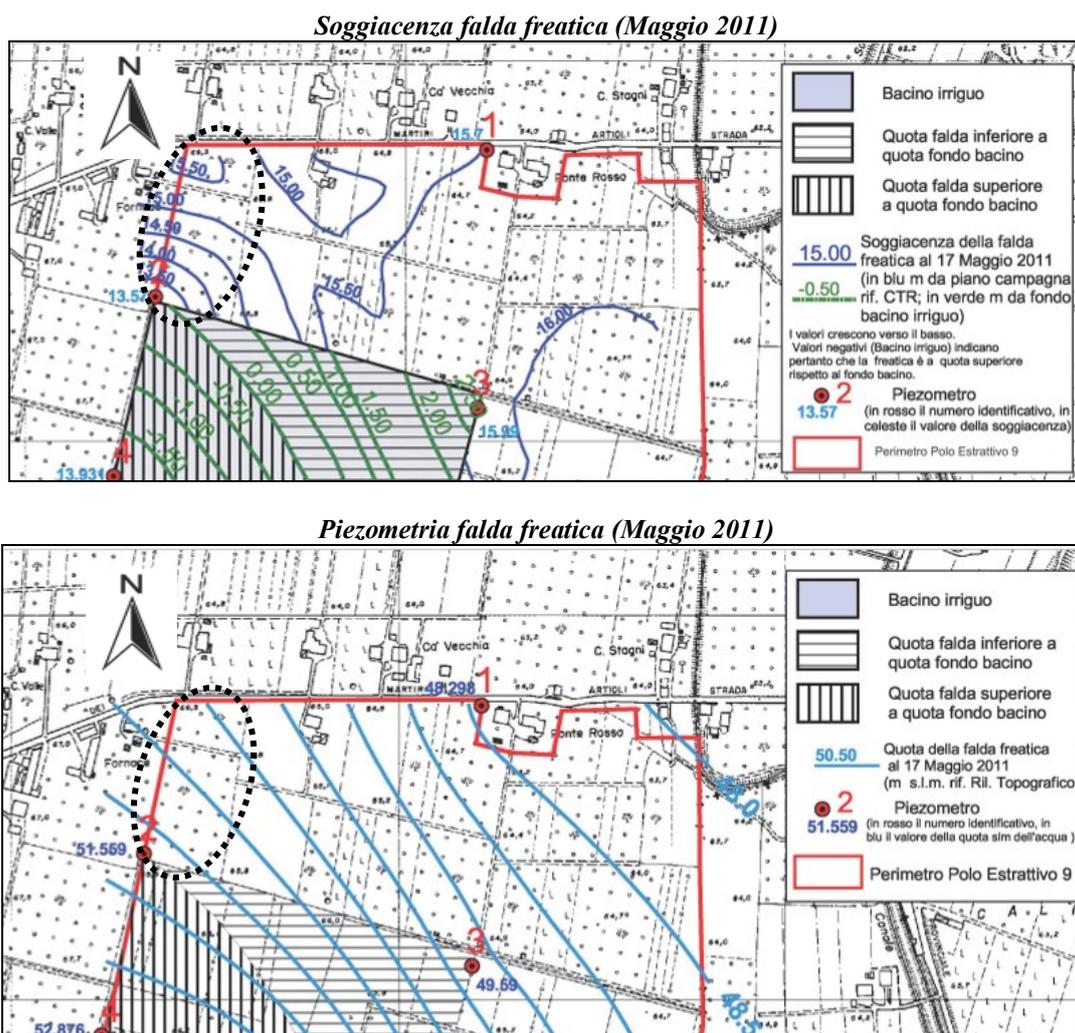


Figura 9: Livello piezometrico e di soggiacenza della falda freatica al Maggio 2011 ed ubicazione dei piezometri (fonte: "Studio Idrologico ed Idrogeologico relativo al Polo Estrattivo n° 9 "Via Graziosi"", anno 2011, dello Studio Geologico ARKIGEO, al quale fa riferimento l'Accordo 2013).

In Figura 10 sono ubicati i piezometri appartenenti alla rete generale di monitoraggio del Polo estrattivo n° 9 che si collocano nell'intorno dell'area (1 e 2). Il primo è ubicato a nord-est, vicino alla via Martiri Artioli ai piedi dell'attuale argine di mitigazione della adiacente cava Ponte Rosso, il secondo nell'estremo angolo sud-ovest dell'area di intervento.



Figura 10: Ubicazione dei pozzi esistenti appartenenti alla rete di monitoraggio, ricavata dallo “Studio Idrologico ed Idrogeologico relativo al Polo Estrattivo n° 9 “Via Graziosi”” (anno 2011) dello Studio Geologico ARKIGEO (Allegato 1 elaborato dal comune di San Cesario s/P)

Si riportano di seguito i livelli misurati nel piezometro 2, il più prossimo all’area in esame e maggiormente significativo.

### PIEZOMETRO 2

Data prelievo	Valore	Soggiacenza			
15/07/2004	44,58	20,55	20/08/2007	41,28	23,85
09/08/2004	44,53	20,60	17/09/2007	40,46	24,67
22/09/2004	44,53	20,60	22/10/2007	41,55	23,58
15/10/2004	44,48	20,65	20/11/2007	42,09	23,04
15/11/2004	44,18	20,95	19/12/2007	42,38	22,75
13/12/2004	44,03	21,10	21/01/2008	42,98	22,15
14/01/2005	44,63	20,50	26/02/2008	43,23	21,90
15/02/2005	45,23	19,90	20/03/2008	43,65	21,48
16/03/2005	46,13	19,00	18/04/2008	44,48	20,65
18/04/2005	48,13	17,00	23/05/2008	45,11	20,02
16/05/2005	48,63	16,50	20/06/2008	45,53	19,60
16/06/2005	48,13	17,00	17/07/2008	45,62	19,51
13/07/2005	46,63	18,50	28/08/2008	44,70	20,43
05/08/2005	46,03	19,10	30/09/2008	43,18	21,95
15/09/2005	45,13	20,00	28/10/2008	44,04	21,09
20/10/2005	44,63	20,50	26/11/2008	46,71	18,42
15/11/2005	48,23	16,90	29/12/2008	47,23	17,90
14/12/2005	48,88	16,25	30/01/2009	48,29	16,84
11/01/2006	49,63	15,50	27/02/2009	48,50	16,63
09/02/2006	49,43	15,70	23/03/2009	48,73	16,40
07/03/2006	49,18	15,95	17/04/2009	48,81	16,32
01/04/2006	49,08	16,05	29/05/2009	48,94	16,19
18/05/2006	48,48	16,65	22/06/2009	49,36	15,77
20/06/2006	46,68	18,45	24/07/2009	45,08	20,05
18/07/2006	45,08	20,05	26/08/2009	44,31	20,82
23/08/2006	44,03	21,10	25/09/2009	44,20	20,93
14/09/2006	43,46	21,67	26/10/2009	45,55	19,58
19/10/2006	44,15	20,98	27/11/2009	45,78	19,35
28/11/2006	44,22	20,91	19/12/2009	46,11	19,02
20/12/2006	44,21	20,92	19/01/2010	46,65	18,48
15/01/2007	44,19	20,94	20/02/2010	47,33	17,80
05/02/2007	44,06	21,07	25/03/2010	48,32	16,81
21/03/2007	44,22	20,91	29/04/2010	48,06	17,07
16/04/2007	44,35	20,78	04/06/2010	47,78	17,35
16/05/2007	43,68	21,45	20/06/2010	47,97	17,16
24/06/2007	43,17	21,96	10/08/2010	48,25	16,88
18/07/2007	42,23	22,90	02/09/2010	48,25	16,88
			29/12/2010	52,53	13,07
			17/05/2011	52,03	13,57

Tabella 1: Dati di soggiacenza per il piezometro 2 ricavati dallo “Studio Idrologico ed Idrogeologico relativo al Polo Estrattivo n° 9 “Via Graziosi”” (anno 2011) dello Studio Geologico ARKIGEO, al quale fa riferimento l’Accordo 2013 per il calcolo della massima profondità di scavo.

Nello studio Idrogeologico preso a riferimento (anno 2011) per le valutazioni di impatto sulle acque, è stata costruita la carta di soggiacenza (Figura 10), in considerazione della situazione registrata nel periodo

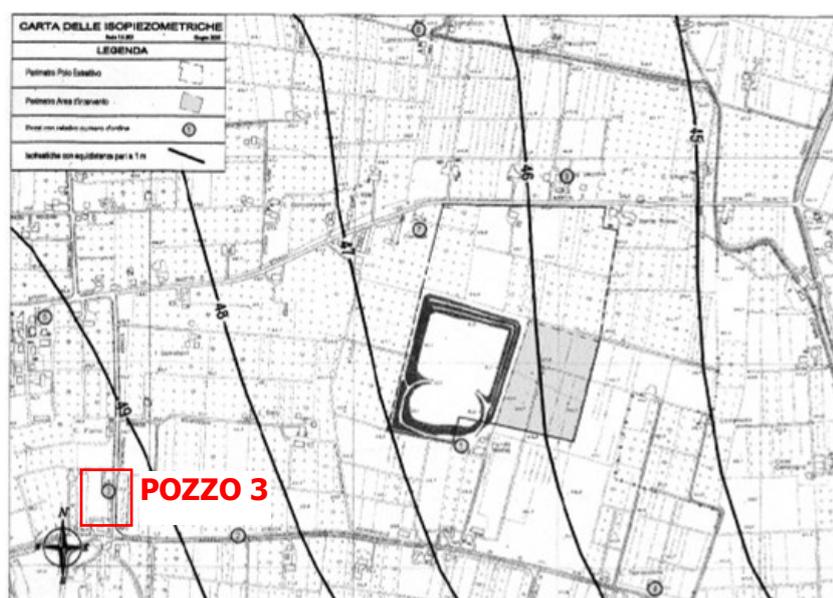
13-17/05/2011, selezionata in quanto costituente la minima profondità annuale 2011 nonché del periodo 2004-2011.

In riferimento a tale risultato e tenendo conto del franco sicurezza disposto all'art. 21 delle NTA del PAE vigente, è stata costruita la carta delle massime profondità di scavo, mantenendosi a 1,5 m al di sopra del livello di falda sopra citato.

### 4.3 SOGGIACENZA FALDA IN PRESSIONE (ACQUIFERO A0)

La quota della falda in pressione (acquifero A1) è posta a profondità generalmente superiore a 20 m dal p.c. (Figura 11 - anno 2011), secondo quanto affermato nello “Studio Idrologico ed Idrogeologico relativo al Polo Estrattivo n° 9 Via Graziosi”, anno 2011, dello Studio Geologico ARKIGEO, al quale fa riferimento l'Accordo 2013 (Allegato 1 agli “Indirizzi tecnici per la formazione della Accordo 2013 coordinata, unitaria di escavazione, ripristino e recupero” prodotto dal Comune di San Cesario sul Panaro (Mo)).

La falda risulta essere in rapporto diretto con il fiume Panaro.



Pozzo n°	Quota m s.l.m.	Soggiacenza (m)	Quota falda m s.l.m.
1	67,50	21,00	46,50
2	70,00	21,50	48,50
3	70,00	20,80	49,20
4	67,20	21,50	45,70
5	69,00	19,90	49,10
6	64,00	18,05	45,95
7	66,00	19,44	46,56
8	63,20	16,60	46,60

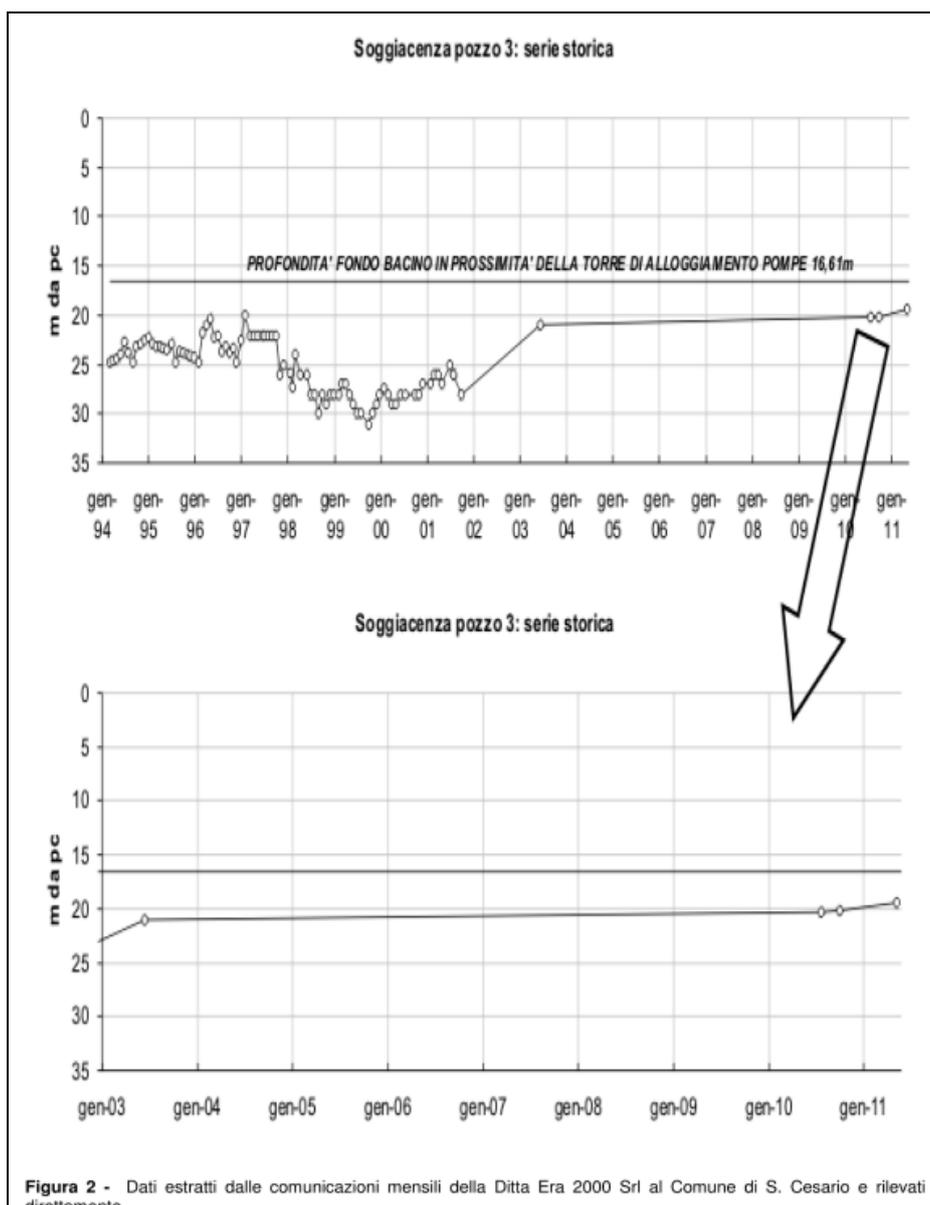


Figura 11: Carta delle isopiezometriche relativa a misure pozzi, senza distinzione tra livelli artesiano e freatici, e soggiacenza pozzo 3, di riferimento, estratti dallo Studio idrologico ed idrogeologico relativo al Polo Estrattivo n° 9 "Via Graziosi" - dell'Allegato 1 agli indirizzi tecnici per la formazione della Accordo 2013 coordinata, unitaria di escavazione, ripristino e recupero prodotto dal Comune di San Cesario sul Panaro (Mo).

Nonostante le informazioni riportate facciano riferimento a quanto emerso dalla misura dei livelli idrici in pozzi dei quali non è sempre noto il livello di captazione, si ritiene, come assunto nello Studio idrogeologico precedentemente citato, che esse siano riferibili all'acquifero in pressione, in considerazione del fatto che i pozzi per uso irriguo e domestico sono generalmente perforati ed attrezzati escludendo la falda freatica.

Per quanto riguarda i pozzi per captazione ad uso idropotabile, è possibile osservare la Figura 12 la quale mostra che la cava Fornace 2015 ricade distante dai punti per la captazione di acqua di falda ad uso idropotabile acquedottistico.

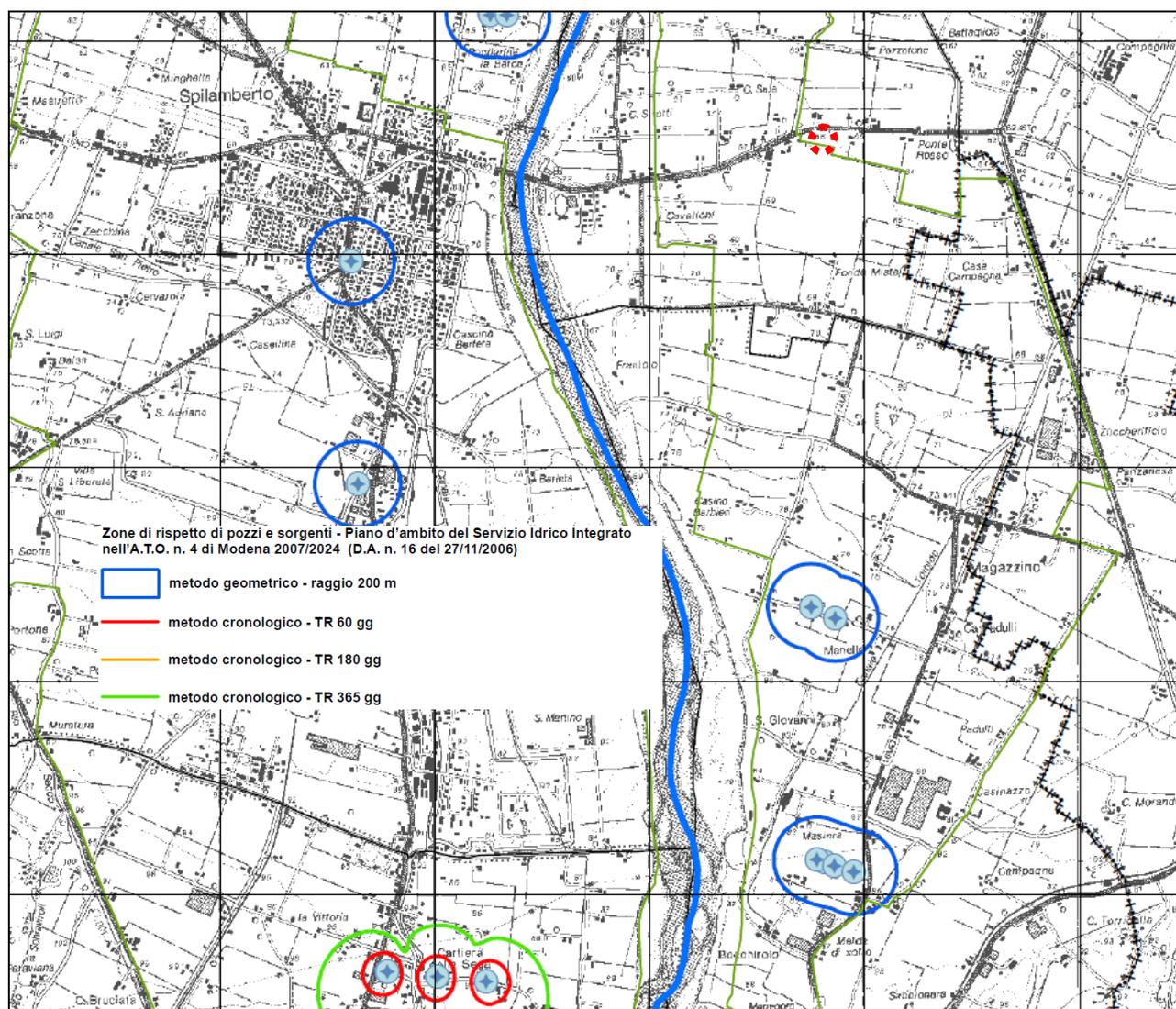


Figura 12: Estratto della Carta di Inquadramento degli Elementi Idrologici e dei punti di captazione delle acque destinate a consumo umano – Tavola 1.8 estratta dalla variante PTCP 2009.

Il limite esterno della fascia di protezione allargata di questi pozzi è rappresentato dalla linea isocrona corrispondente al tempo di afflusso alle captazioni di un eventuale inquinante già presente in falda, pari a 365 giorni ovvero al limite geometrico dei 200 m; in considerazione della lontananza dall'area di cava rispetto a questi pozzi ad uso acquedottistico (circa 1,5 km) è da escludere una possibile interferenza diretta con questi da parte delle attività svolte sul sito di interesse, anche in relazione al fatto che i punti di captazione più vicini sono a monte dell'area di cava in oggetto in Comune di Savignano sul Panaro oppure oltre il Panaro a valle di Spilamberto in un contesto idrogeologico non connesso con l'areale in esame.

#### 4.4 IDROCHIMICA DELL'ACQUIFERO

Da un punto di vista qualitativo, l'acquifero principale è soggetto a periodici monitoraggi della rete provinciale e regionale ARPA i cui risultati sono riportati nel più recente documento di "Report sulle acque sotterranee della Provincia di Modena - anno 2009".

In particolare, per l'area in oggetto, viene preso come riferimento il pozzo più vicino MO64-00 situato circa 1 km a sudest (Figura 13 e Figura 14).

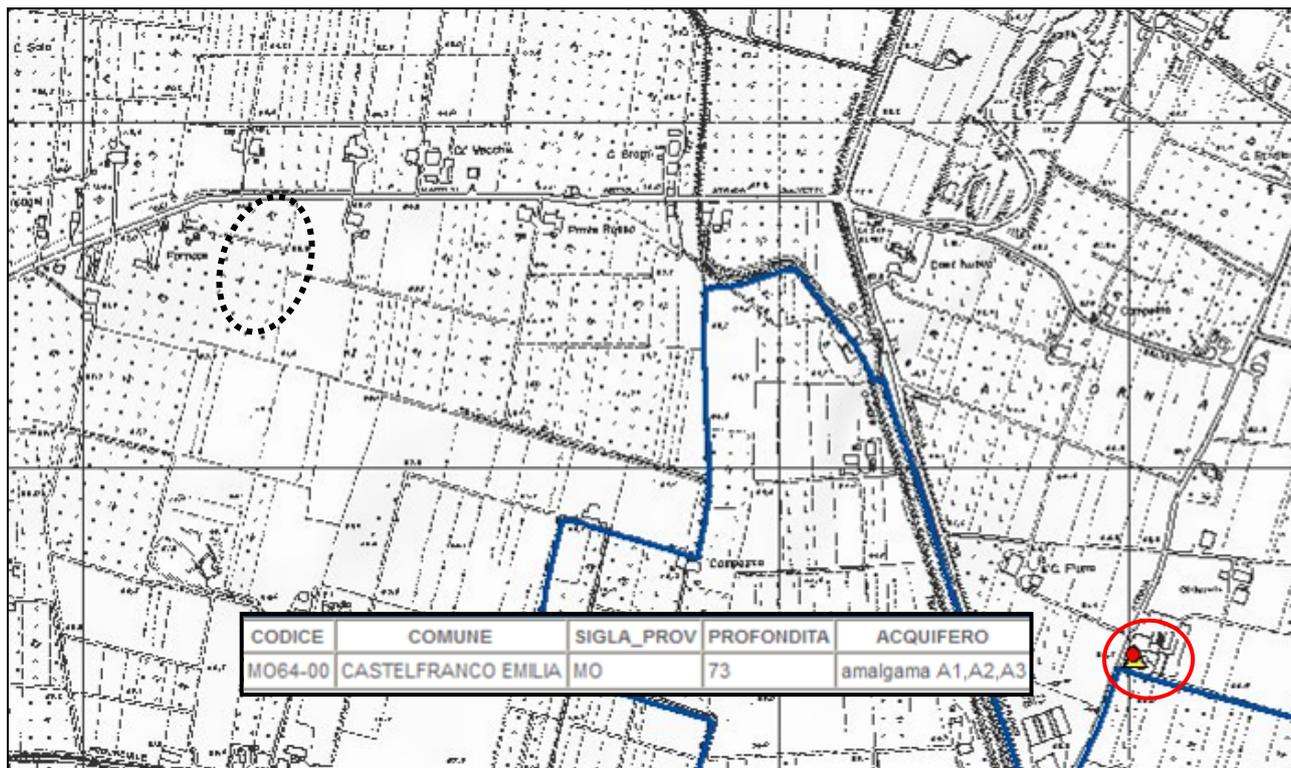


Figura 13: Ubicazione del pozzo MO65-00 della Regione Emilia-Romagna.

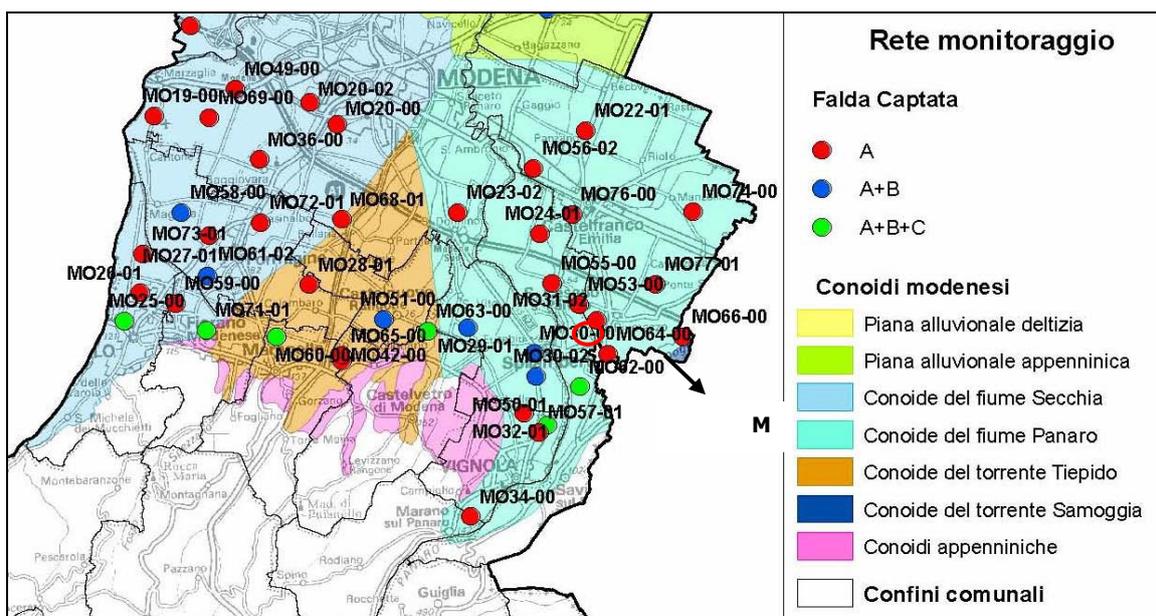
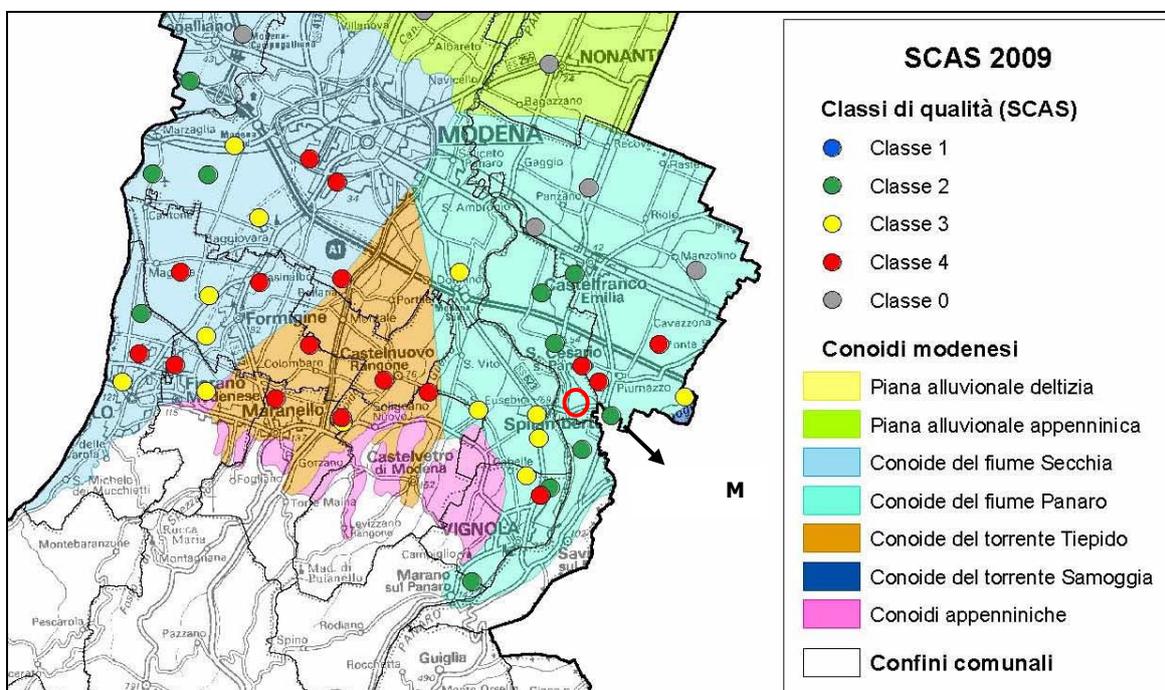


Figura 14 : Rete di monitoraggio ARPA.

L'elaborazione dello stato chimico è stata effettuata utilizzando il metodo per punti, ossia classificando ciascun pozzo appartenente alla Rete Regionale sulla base della media dei due prelievi annuali. In relazione a questi risultati, si riporta di seguito la classificazione ambientale qualitativa dell'acquifero di sito da un punto di vista dello Stato Chimico (SCAS - Figura 15), quantitativo (variazioni piezometriche - Figura 16) e dello stato ambientale (SAAS - Figura 17).

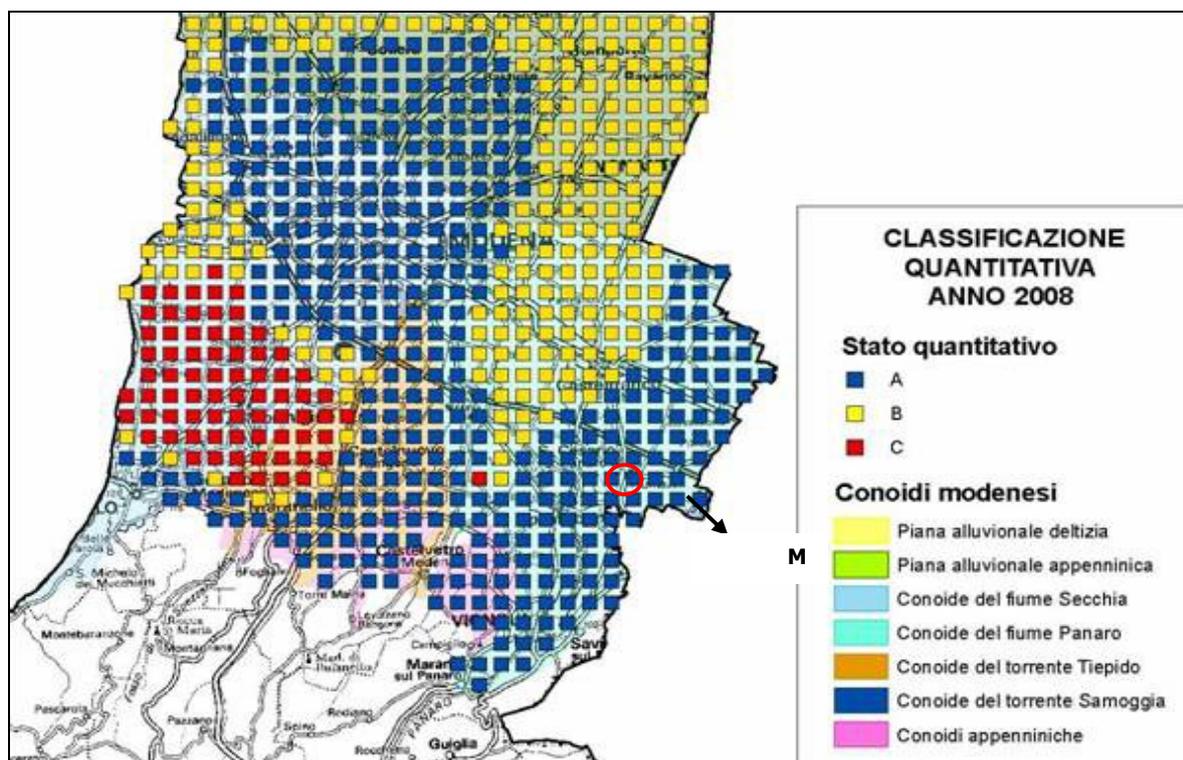


Classe 1	Impatto antropico nullo o trascurabile con pregiate caratteristiche idrochimiche;
Classe 2	Impatto antropico ridotto e sostenibile sul lungo periodo e con buone caratteristiche idrochimiche
Classe 3	Impatto antropico significativo e con caratteristiche idrochimiche generalmente buone, ma con alcuni segnali di compromissione;
Classe 4	Impatto antropico rilevante con caratteristiche idrochimiche scadenti;
Classe 0 (*)	Impatto antropico nullo o trascurabile ma con particolari facies idrochimiche naturali in concentrazioni al di sopra del valore della classe 3

(\*) per la valutazione dell'origine endogena delle specie idrochimiche presenti dovranno essere considerate anche le caratteristiche chimico-fisiche delle acque.

Figura 15: Report ARPA 2009 - Classificazione chimica delle acque sotterranee della Provincia di Modena.

Intorno all'area di interesse, prendendo come riferimento il pozzo più vicino all'area di intervento (pozzo MO64-00), si registra un acquifero con classe di qualità 2 che tende a diventare scadente poco più a valle dell'area di studio, con raggiungimento della classe di qualità 4 in corrispondenza di Piumazzo, per poi tornare in classe 2 all'altezza di San Cesario sul Panaro.



<b>Classe A</b>	L'impatto antropico è nullo o trascurabile con condizioni di equilibrio idrogeologico. Le estrazioni di acqua o alterazioni della velocità naturale di ravvenamento sono sostenibili sul lungo periodo.
<b>Classe B</b>	L'impatto antropico è ridotto, vi sono moderate condizioni di disequilibrio del bilancio idrico, senza che tuttavia ciò produca una condizione di sovrasfruttamento, consentendo un uso della risorsa e sostenibile sul lungo periodo.
<b>Classe C</b>	Impatto antropico significativo con notevole incidenza dell'uso sulla disponibilità della risorsa evidenziata da rilevanti modificazioni agli indicatori generali sopraesposti <sup>(1)</sup> .
<b>Classe D</b>	Impatto antropico nullo o trascurabile, ma con presenza di complessi idrogeologici con intrinseche caratteristiche di scarsa potenzialità idrica.

(1) nella valutazione quantitativa bisogna tener conto anche degli eventuali surplus incompatibili con la presenza di importanti strutture sotterranee preesistenti.

Figura 16: Report ARPA 2009 - Stato Quantitativo delle acque sotterranee della provincia di Modena.

La classificazione quantitativa in termini di deficit e surplus idrico, rispecchia l'elaborazione spaziale della variazione piezometrica. Di conseguenza dalla classificazione quantitativa emerge che per la maggior parte della conoide del fiume Panaro si registra una buona condizione di equilibrio idrogeologico (classe A), che identifica un buon bilanciamento tra emungimenti e velocità di ravvenamento della falda acquifera.

Dalla sovrapposizione della classificazione chimica (stato qualitativo) e dello stato quantitativo della risorsa deriva l'indicatore di stato ambientale delle acque sotterranee riportato di seguito.

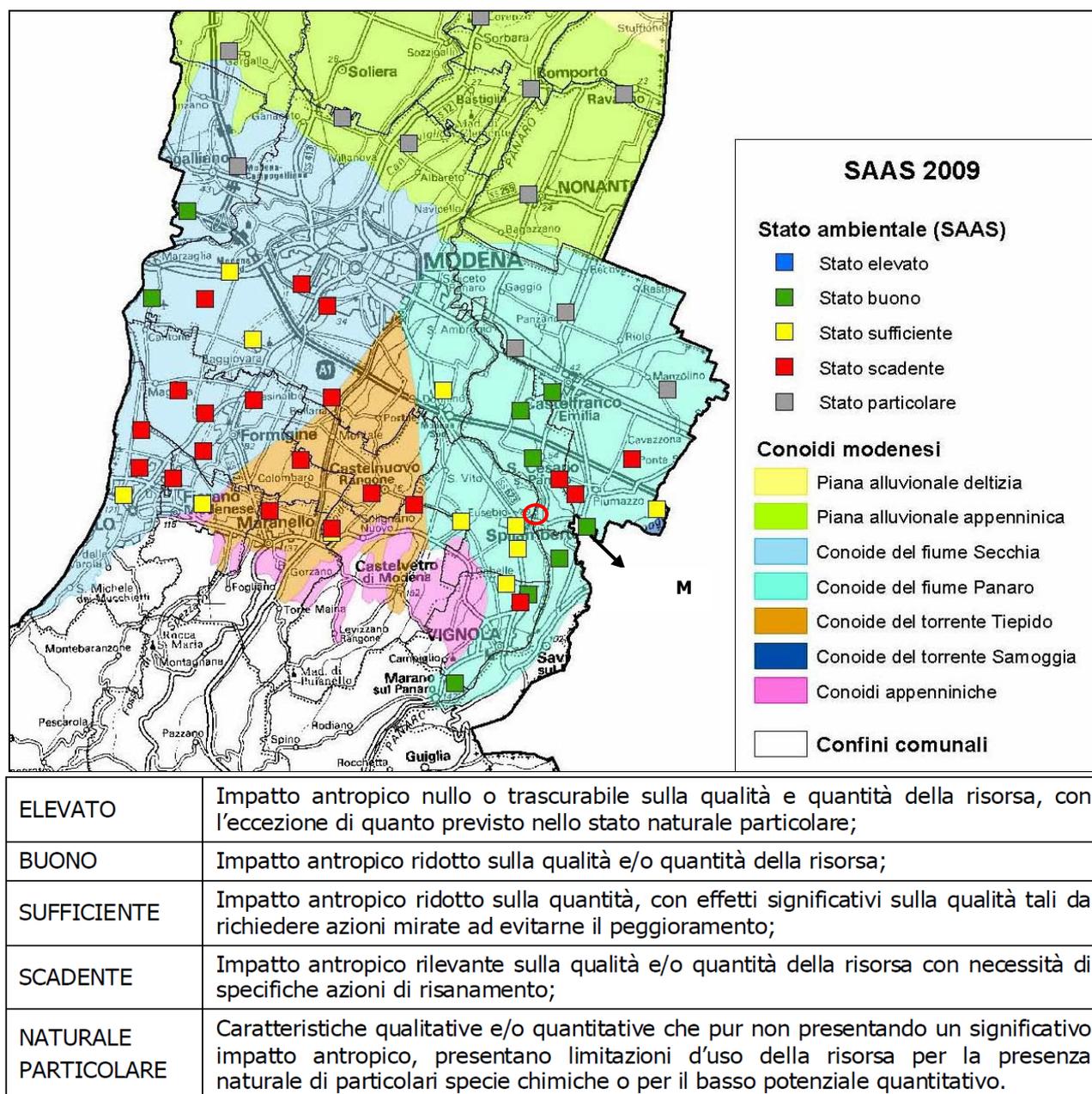


Figura 17: Stato Ambientale delle Acque sotterranee.

Dal punto di vista dello stato ambientale (SAAS) le acque sotterranee dell'areale, compatibilmente alla precedente valutazione della classe qualitativa chimica di Figura 15, presentano uno stato ambientale buono in termini qualitativi.

Nell'immediato intorno dell'area in oggetto invece si ha uno stato qualitativo da buono a scadente che probabilmente si spiega con l'attraversamento della falda di centri più industrializzati. (Figura 17).

Facendo riferimento alla situazione dell'anno 2009 si può definire lo stato idrochimico delle acque sotterranee come segue.

I valori medi di conducibilità media di 600  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , mentre il grado di durezza, riportata in gradi francesi, è legata principalmente ai sali di calcio e presenta valori medi nell'intorno di 35°F (Figura 18).

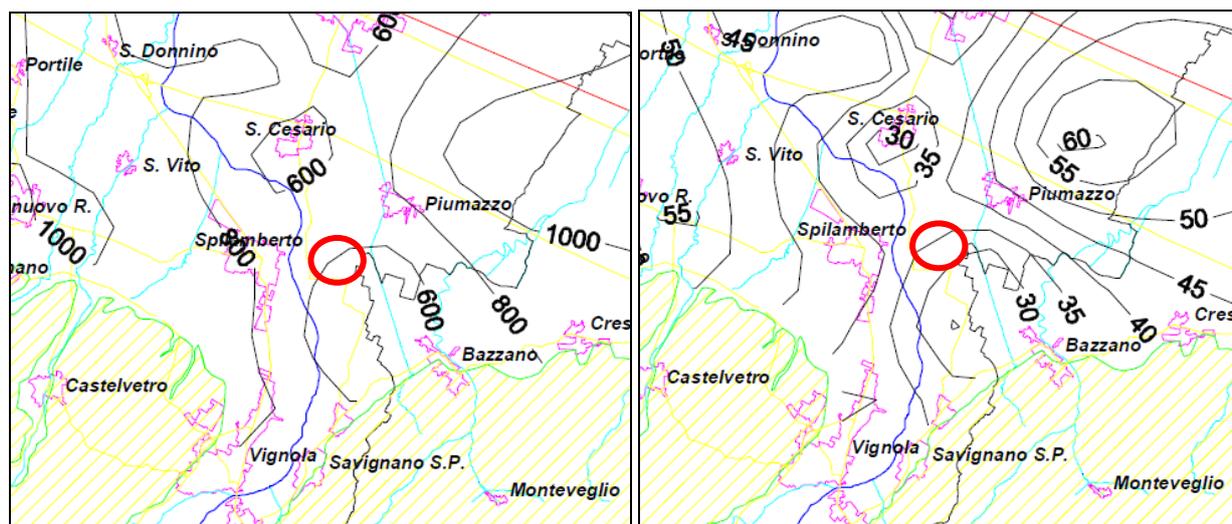


Figura 18: Report ARPA 2009- Conducibilità media ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) a sinistra – durezza media (°F) a destra.

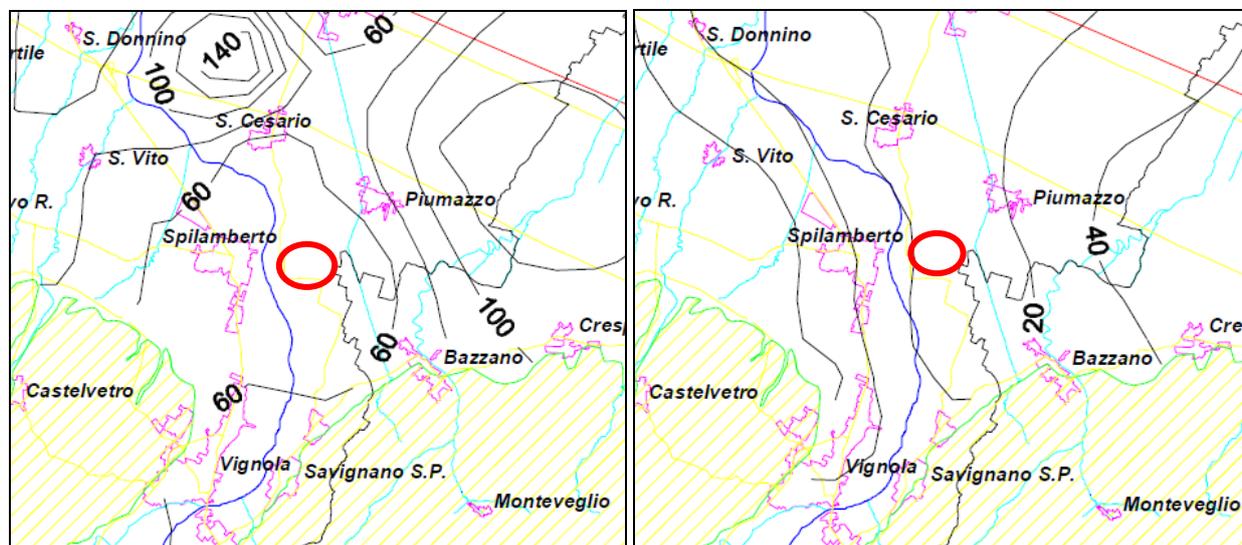


Figura 19: Report ARPA 2009- Solfati (mg/l) a sinistra e Cloruri (mg/l) a destra.

Le concentrazioni dei solfati risultano moderate con valori medi intorno a 60 mg/l con tendenza a concentrarsi più a nord ovest in località San Donnino; analogamente la distribuzione areale dei cloruri, mostra un andamento molto simile a quella dei solfati e rileva valori intorno ai 20 mg/l (Figura 19).

Le concentrazioni di ferro si attestano attorno a 50  $\mu\text{g}/\text{l}$ . Il manganese in relazione alle caratteristiche ossido-riduttive dell'acquifero in questione, si presenta con concentrazioni intorno ai 10  $\mu\text{g}/\text{l}$  (Figura 20).

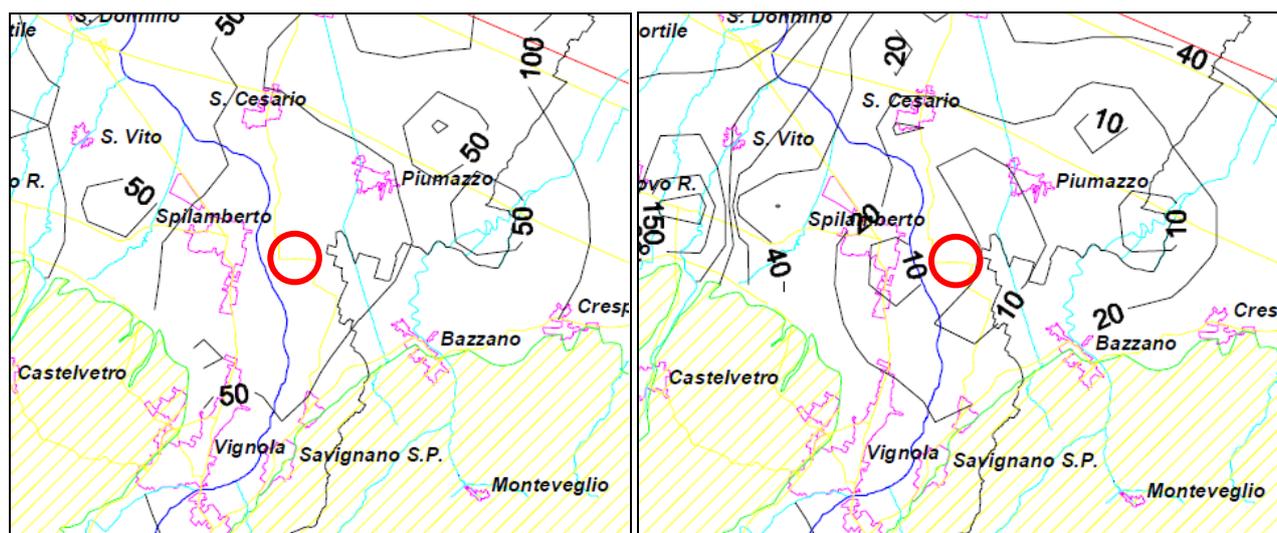


Figura 20: Report ARPA 2009- Ferro ( $\mu\text{g/l}$ ) a sinistra e Manganese ( $\mu\text{g/l}$ ) a destra.

La presenza di boro si rileva con concentrazioni medie di  $200 \mu\text{g/l}$ . La presenza di sostanze azotate, riconducibili essenzialmente all'impatto antropico sull'ambiente, sono riscontrabili nella forma ossidata dei nitrati, tendenzialmente in concentrazioni tra i 30 e i  $50 \text{ mg/l}$  (Figura 21).

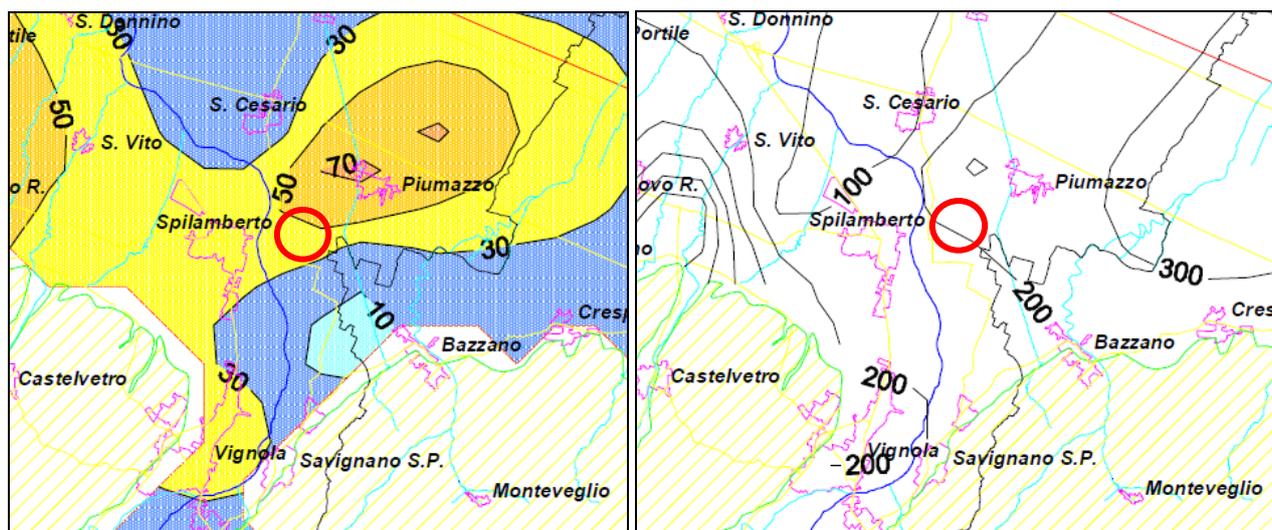


Figura 21: Report ARPA 2009- Nitrati ( $\mu\text{g/l}$ ) a sinistra – Boro ( $\mu\text{g/l}$ ) a destra.

## 5. VERIFICHE DI STABILITÀ

### 5.1 VERIFICA DI STABILITÀ SBARRAMENTO AL CONFINE CON IL BACINO IRRIGUO (DA ACCORDO 2013)

L'Accordo 2013 prende in considerazione lo sbarramento che si verrà a creare fra gli scavi previsti ed il bacino irriguo, a sud dell'area di intervento, come l'elemento più importante per la verifica di stabilità.

Esso viene trattato come sbarramento "con manto", ovvero materiali ghiaiosi impermeabilizzati con argilla dal lato del bacino e sistemazione con terra sul lato di cava.

Per la verifica di stabilità sviluppata nell'Accordo 2013 non sono stati considerati il fattore di sicurezza e il potenziale di liquefazione, in quanto la natura grossolana del materiale e la presenza di una debole cementazione naturale non rendono possibile il fenomeno di liquefazione.

I parametri sismici considerati nella verifica di stabilità sono di seguito riportati (Allegato 3 – Accordo 2013).

determinati con **GeoStru PS** <http://www.geostru.com/geoapp>

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii

#### Sito in esame.

latitudine: 44,531047 [°]

longitudine: 11,049812 [°]

Classe d'uso: IV. Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Vita nominale: 100 [anni]

#### Siti di riferimento.

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	16726	44,509540	11,037290	2589,3
Sito 2	16727	44,510960	11,107340	5078,4
Sito 3	16505	44,560940	11,105390	5517,9
Sito 4	16504	44,559510	11,035330	3366,6

(SLD)					
Salvaguardi a della vita (SLV)	10	1898	0,259	2,432	0,321
Prevenzion e dal collasso (SLC)	5	2475	0,280	2,445	0,324

#### Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 200 anni

Coefficiente cu: 2

	Prob. superament o [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	120	0,095	2,459	0,282
Danno	63	201	0,120	2,403	0,286

#### Coefficienti Sismici

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s <sup>2</sup> ]	Beta [-]
SLO	1,200	1,420	1,000	0,023	0,011	1,117	0,200
SLD	1,200	1,410	1,000	0,034	0,017	1,409	0,240
SLV	1,150	1,380	1,000	0,083	0,042	2,919	0,280
SLC	1,130	1,380	1,000	0,089	0,044	3,108	0,280

Le coordinate geografiche espresse in questo file sono in ED50  
 Geostru software - [www.geostru.com](http://www.geostru.com)

I parametri geotecnici utilizzati per il calcolo della stabilità (Tabella 2) sono ricavati dallo "Studio Geotecnico" del progetto definitivo del bacino irriguo, reperiti nei materiali dello Studio di impatto

ambientale del progetto stesso. Essi sono parametri cautelativi, in riferimento particolare alle ghiaie, in quanto trascurano l'effetto coesivo dovuto alla pseudo cementazione.

<i>Caratteristiche dei terreni</i>			<b>CD</b>	
	<b>Wd</b>	<b>Ws</b>	<b>c</b>	<b>fhi</b>
	<i>kN/m<sup>3</sup></i>	<i>kN/m<sup>3</sup></i>	<i>kN/m<sup>3</sup></i>	<i>Gradi</i>
Ghiaia naturale	19	20	0	45
Argilla di impermeabilizzazione e rivestimento	19	20	5	22

Tabella 2: Parametri geotecnici (Studio geotecnico del progetto definitivo del bacino irriguo) considerati nella verifica di stabilità dell'Accordo 2013.

L'opera, per motivi di cautela, è stata considerata di importanza strategica e la verifica agli stati limite ultimo (SLU) (statica e dinamica) è stata eseguita rispetto allo stato limite di prevenzione del collasso (SLC) sulla base del Decreto Ministeriale 14.01.2008 – Testo Unitario Norme Tecniche per le Costruzioni il quale prevede che la verifica di stabilità deve essere effettuata sia in condizioni statiche sia dinamiche (sisma).

Gli esiti delle verifiche, statiche e dinamiche, sono rispettivamente riportate nelle figure che seguono (Figura 22 e Figura 23) così come illustrate nell'Accordo 2013, ricavate con metodi di calcolo di Bishop semplificato e di Jambu corretto.

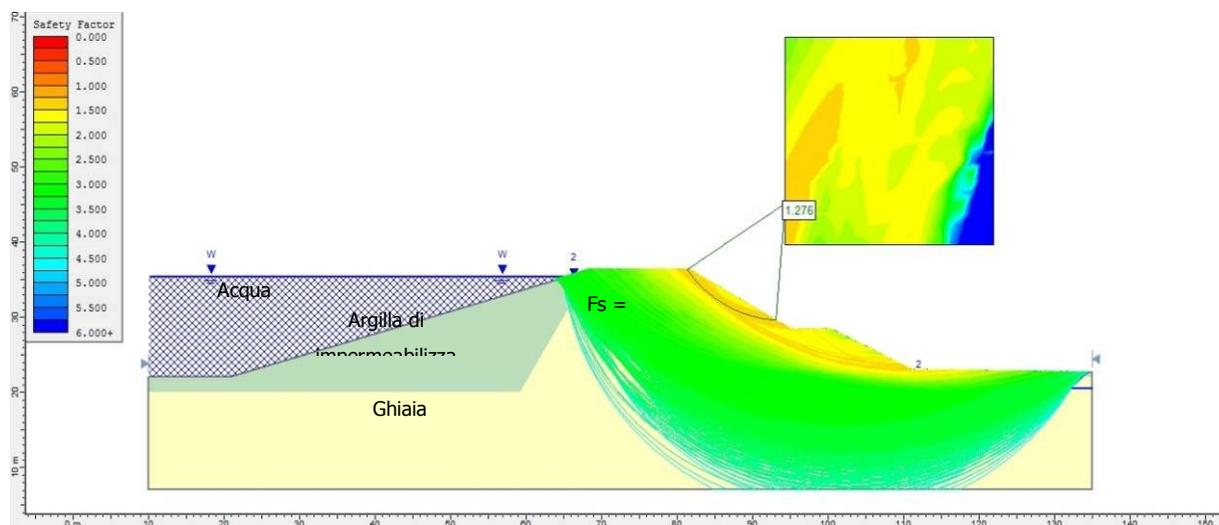


Figura 22: Sezione arginale con verifica (Bishop e Jambu) statica (Accordo 2013).

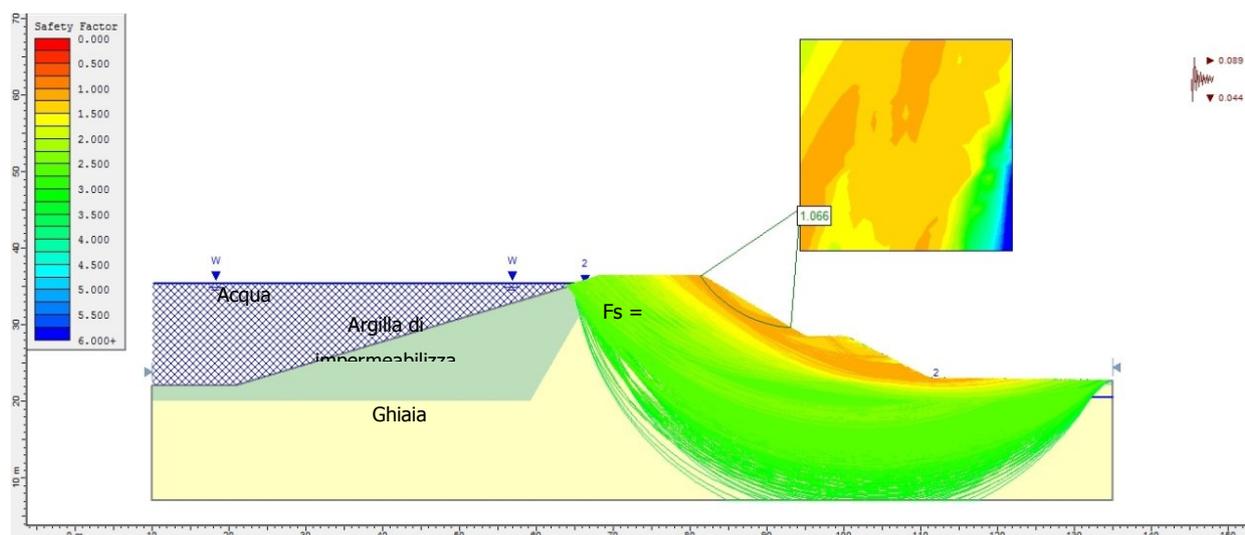


Figura 23: Sezione arginale con verifica (Bishop e Jambu) dinamica (Accordo 2013).

Trascurando il rivestimento, il fattore di sicurezza per il corpo arginale, sia in termini statici che dinamici, risulta accettabile nonostante le ipotesi fortemente cautelative introdotte.

## 5.2 VERIFICA DI STABILITÀ SCARPATE DI SCAVO E DI SISTEMAZIONE

L'analisi delle condizioni di stabilità dei pendii in condizioni sismiche è rappresentata da un'azione statica equivalente, proporzionale al peso  $W$  del volume di terreno potenzialmente instabile.

La condizione di stato limite ultimo (SLU) viene riferita al cinematismo di collasso critico, caratterizzato dal più basso valore del coefficiente di sicurezza  $F_s$ :

$$F_s = \tau_s / \tau_m, \text{ dove}$$

$\tau_s$ : resistenza al taglio disponibile;

$\tau_m$ : sforzo di taglio mobilitato lungo la superficie di scorrimento (effettiva o potenziale).

Nelle verifiche pseudostatiche di sicurezza si assume:

$$\text{approccio 1 - combinazione 2 } (a^2 + m^2 + r^2) \text{ con } r^2 = 1.1$$

Nelle verifiche allo stato limite ultimo (SLU) le componenti orizzontale e verticale dell'azione sismica si ricavano da:

$$F_h = k_h x W \quad \text{e} \quad F_v = k_v x W, \text{ dove}$$

$F_h$  e  $F_v$  sono incrementi di forza proporzionali a  $W$ ;

$k_h$  e  $k_v$  sono i coefficienti sismici orizzontale e verticale, che valgono:

$$k_h = \beta_s x a_{max} / g \quad \text{e} \quad k_v = \pm 0.5 x k_h, \text{ dove}$$

$\beta_s$ : coeff. Di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

**$\alpha_{max}$** : accelerazione massima attesa al sito ( $\alpha_{max}=S_s \times S_t \times a_g$ );

**g**: accelerazione di gravità.

**Tabella 7.11.I** – Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	$\beta_s$	$\beta_s$
$0,2 < a_g(g) \leq 0,4$	0,30	0,28
$0,1 < a_g(g) \leq 0,2$	0,27	0,24
$a_g(g) \leq 0,1$	0,20	0,20

Nel PAE vigente viene ripresa la Deliberazione della Giunta Regionale N. 1435 “Prime disposizioni di attuazione dell’ordinanza del D.P.C.M. n. 3274/2003 recante Prime disposizioni in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” che classifica il Comune di San Cesario sul Panaro in zona 3 (Figura 24):

Zona 1: sismicità alta, PGA oltre 0,25 g,

Zona 2: sismicità media, PGA fra 0,15 e 0,25 g,

Zona 3: sismicità bassa, PGA fra 0,05 e 0,15 g,

Zona 4: sismicità molto bassa, PGA inferiore a 0,05 g.

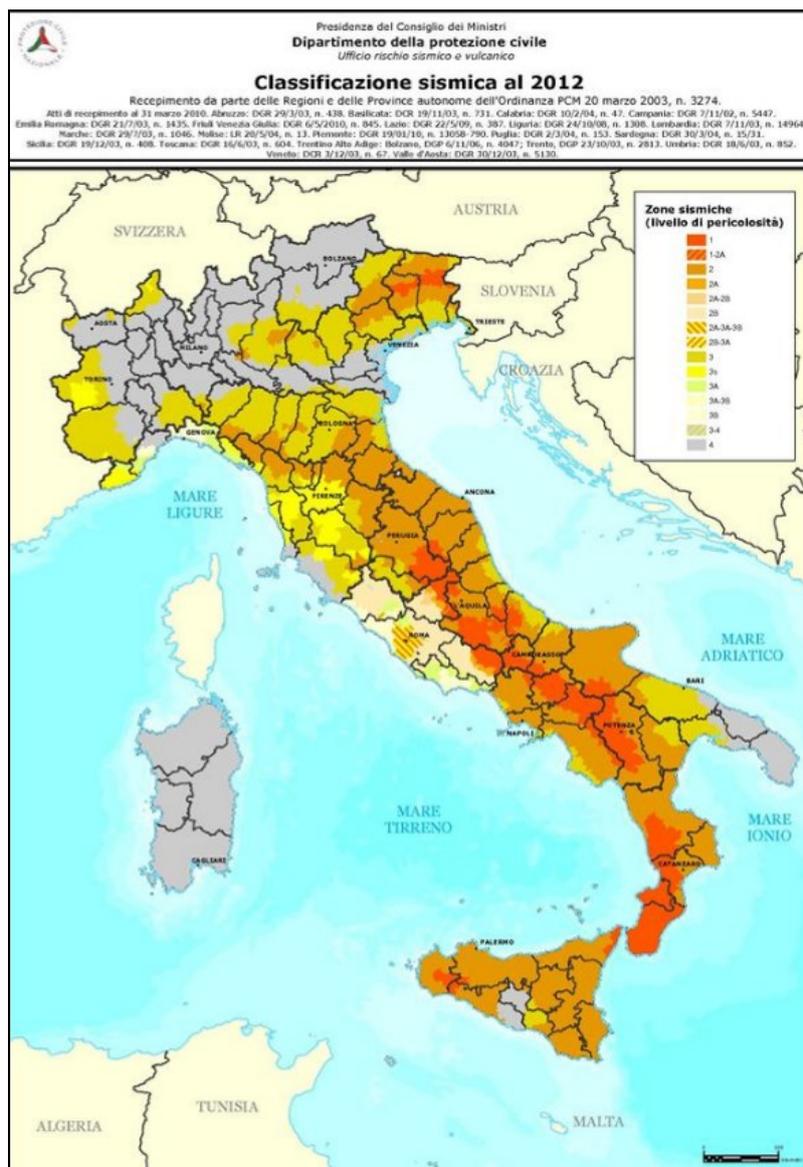


Figura 24: Classificazione sismica al 2012 (Presidenza del Consiglio dei Ministri -Dipartimento della Protezione Civile- [http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/class2012\\_02prov.pdf](http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/class2012_02prov.pdf)).

Tali verifiche di stabilità sono state eseguite mediante l'utilizzo del metodo Bishop (Allegato A), considerando condizioni sia statiche sia dinamiche, ed utilizzando i parametri sismici e geotecnici considerati nell'Accordo 2013 e riportati nel paragrafo precedente.

In Figura 25 vengono riportati i parametri sismici calcolati con lo stesso metodo dell'Accordo 2013, ovvero utilizzando il software Geostru PS Parametri sismici v.1.5 per il calcolo dei parametri sismici secondo le NTC 2008 e la Circolare Ministeriale n. 617 del 2 Febbraio 2009. Geostru PS è integrato con Google Maps: il sistema di coordinate di Google è WGS84 (World Geodetic System 1984), il sistema di coordinate del reticolo sismico di riferimento è ED50 (European Datum 1950). Geostru PS effettua la conversione automatica dal sistema WGS84 a quello in coordinate ellissoidiche ED50.

### Cerca Posizione

Via  n°

Comune  Cap

Provincia  Cerca

---

Coordinate WGS84

Latitudine  °

Longitudine  ° Cerca

Isole

### Determinazione dei parametri sismici

(1)\* Coordinate WGS84  
 Lat.  ° Long.  °

(1)\* Coordinate ED50  
 Lat.  ° Long.  °

Classe dell'edificio  
 Cu =

Vita nominale  
 (Opere provvisorie <=10, Opere ordinarie >=50, Grandi opere >=100)

Interpolazione  Calcola

44.534022, 11.049714

Visualizza vertici della maglia di appartenenza

### Calcolo dei coefficienti sismici

Muri di sostegno  Paratie

Stabilità dei pendii e fondazioni

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m)

us (m)

Categoria sottosuolo

Categoria topografica

	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss *	<input type="text" value="1,20"/>	<input type="text" value="1,20"/>	<input type="text" value="1,20"/>	<input type="text" value="1,20"/>
Amplificazione stratigrafica	<input type="text" value="1,20"/>	<input type="text" value="1,20"/>	<input type="text" value="1,20"/>	<input type="text" value="1,20"/>
Cc *	<input type="text" value="1,44"/>	<input type="text" value="1,44"/>	<input type="text" value="1,43"/>	<input type="text" value="1,42"/>
Coeff. funz categoria	<input type="text" value="1,44"/>	<input type="text" value="1,44"/>	<input type="text" value="1,43"/>	<input type="text" value="1,42"/>
St *	<input type="text" value="1,00"/>	<input type="text" value="1,00"/>	<input type="text" value="1,00"/>	<input type="text" value="1,00"/>
Amplificazione topografica	<input type="text" value="1,00"/>	<input type="text" value="1,00"/>	<input type="text" value="1,00"/>	<input type="text" value="1,00"/>

Personalizza acc.ne massima attesa al sito [m/s²]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,012	0,012	0,015	0,020
kv	0,006	0,006	0,007	0,010
Amax [m/s²]	0,607	0,607	0,732	0,993
Beta	0,200	0,200	0,200	0,200

Calcola

\* I valori di Ss, Cc ed St possono essere variati.

(1)\* Il software converte i dati dal sistema WGS84 al sistema ED50, prima di elaborare i risultati è comunque possibile inserire direttamente le coordinate nel sistema ED50. I punti sulla mappa sono da considerarsi esclusivamente in coordinate WGS84.

(2)\* Il file creato con "Salva file" può essere importato automaticamente negli applicativi GeoStru.

### Cerca Posizione

Via  n°

Comune  Cap

Provincia

---

Coordinate WGS84

Latitudine  °

Longitudine  °

Isole

### Determinazione dei parametri sismici

(1)\* Coordinate WGS84  
 Lat.  ° Long.  °

(1)\* Coordinate ED50  
 Lat.  ° Long.  °

Classe dell'edificio  
 Cu =

Vita nominale

(Opere provvisorie <=10, Opere ordinarie >=50, Grandi opere >=100)

Interpolazione

44.534022, 11.049714

Visualizza vertici della maglia di appartenenza

### Stato Limite

	Tr [anni]	a <sub>0</sub> [g]	F <sub>0</sub>	Tc' [s]
Operatività (SLO)	30	0,052	2,486	0,256
Danno (SLD)	50	0,064	2,501	0,270
Salvaguardia vita (SLV)	475	0,163	2,366	0,303
Prevenzione collasso (SLC)	975	0,208	2,402	0,313

Periodo di riferimento per l'azione sismica:

### Calcolo dei coefficienti sismici

Muri di sostegno  Paratie

Stabilità dei pendii e fondazioni

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m)

us (m)

Categoria sottosuolo

Categoria topografica

	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss* Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,20
Cc* Coeff. funz categoria	1,44	1,43	1,40	1,39
St* Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Personalizza acc.ne massima attesa al sito [m/s<sup>2</sup>]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,012	0,015	0,047	0,070
kv	0,006	0,008	0,023	0,035
Amax [m/s <sup>2</sup> ]	0,607	0,751	1,919	2,442
Beta	0,200	0,200	0,240	0,280

\* I valori di Ss, Cc ed St possono essere variati.

Figura 25: Parametri e coefficienti sismici del sito in esame, calcolati con Geostru PS Parametri sismici v.1.5, per i due casi distinti: sopra geometria del fronte di scavo (vita nominale 5 anni) e sotto geometria del fronte di sistemazione (vita nominale 50 anni).

I profili di verifica fanno riferimento a due diverse geometrie:

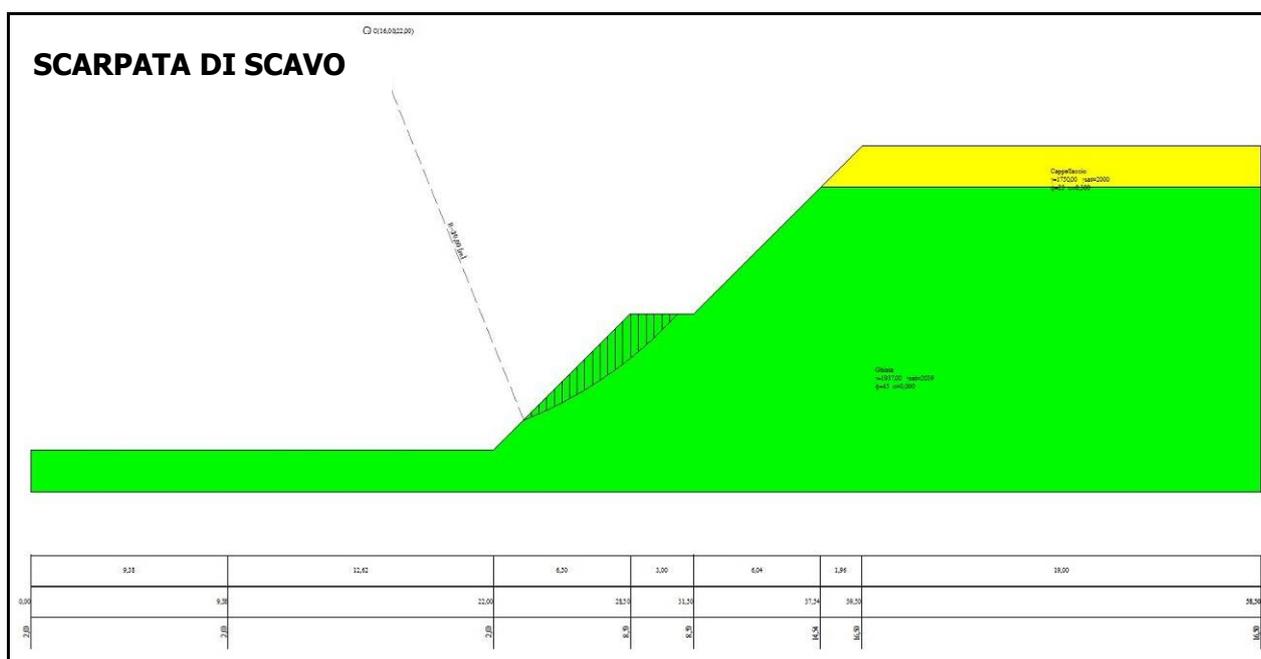
- fronte di scavo intervallato da banche di 3 m di larghezza, 8 m di profondità da p.c. e scarpate con inclinazione di circa 45° (vita nominale 5 anni);
- fronte di sistemazione intervallato da banche di 5 m di larghezza, 8 m di profondità da p.c. e scarpate con inclinazione di circa 30° (vita nominale 50 anni).

Per l'esecuzione delle verifiche si è utilizzato un software di calcolo automatico, Stap della Aztec, basato su diversi metodi deterministici dell'equilibrio limite (nel nostro caso il metodo di Bishop).

Tramite il tracciamento di ipotetiche superfici di scivolamento circolari, suddivise in conci coinvolgenti sia la totalità sia particolari porzioni del fronte di cava, è stato possibile individuare le superfici critiche caratterizzate dal fattore di sicurezza minore. In sintesi per il calcolo della stabilità, si è proceduto tramite i seguenti passaggi:

- Introduzione della geometria del fronte;
- Input dei parametri geomeccanici dei terreni;
- Scelta delle opzioni di calcolo (normativa, metodo...);
- Importazione dei coefficienti sismici;
- Scelta della tipologia di superficie di scorrimento;
- Esecuzione dell'analisi di stabilità.

I fronti di scavo e sistemazione, sia in condizioni statiche che dinamiche, risultano verificati positivamente con valori del fattore di sicurezza FS min > 1.1 (D.M. 14 Gennaio 2008) (Figura 26 e Tabella 3).



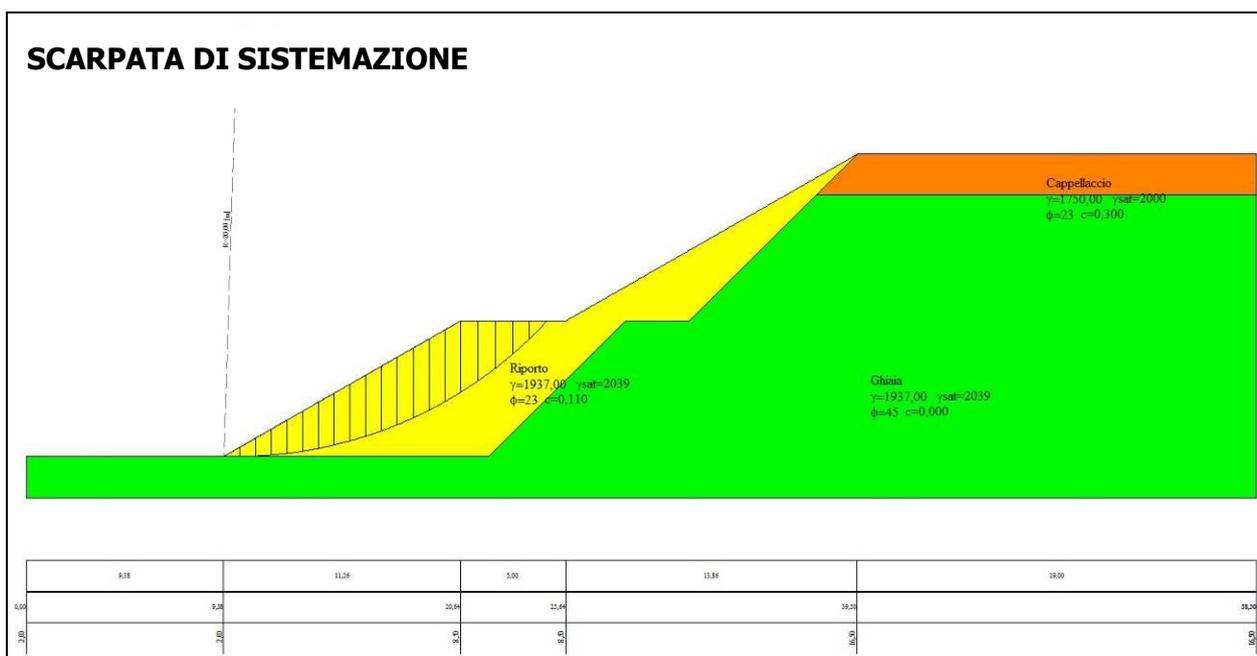


Figura 26: Verifica di stabilità statiche e dinamiche, con metodo Bishop, delle scarpate di scavo e di sistemazione. Geometria e parametri considerati sono individuati nella Accordo 2013. Il tempo di ritorno considerato per le scarpate di scavo è 5 anni, per quelle di sistemazione è 50 anni.

Fronti di verifica	Condizioni statiche	Condizioni dinamiche (sisma)
	$F_{Smin}$	$F_{Smin}$
<b>Fronte di scavo</b> Pendio con banca di 5 m, pendenza 45° h=14.5	1.155	1.120
<b>Fronte di sistemazione</b> Pendio con banca di 3 m, pendenza 30° h=14.5	1.548	1.274

Tabella 3: Coefficienti di sicurezza minimi.

### 5.3 VERIFICA DI STABILITÀ SBARRAMENTO AL CONFINE CON IL BACINO IRRIGUO

Vengono di seguito calcolate le verifiche di stabilità del setto separatorio tra area di cava e bacino irriguo, in corrispondenza del fronte di scavo sud, considerando l'assottigliamento dello stesso fino ad una larghezza minima di 17 m.

I profili di verifica fanno pertanto riferimento a due diverse geometrie:

- fronte di fine scavo, doppio pendio a 45° intervallato da una banca larga 3 m posta ad una profondità di 8 m da p.c.; altezza complessiva di ~14.5 m, senza e con emergenza della falda al piede della scarpata (fino a completa saturazione del fondo scavo);
- fronte di sistemazione, pendio a 30° intervallato da una banca larga 5 m posta ad una profondità di circa 8 m da p.c., e riporto di circa 80 cm di terreno sul fondo scavo; altezza complessiva ~14 m.

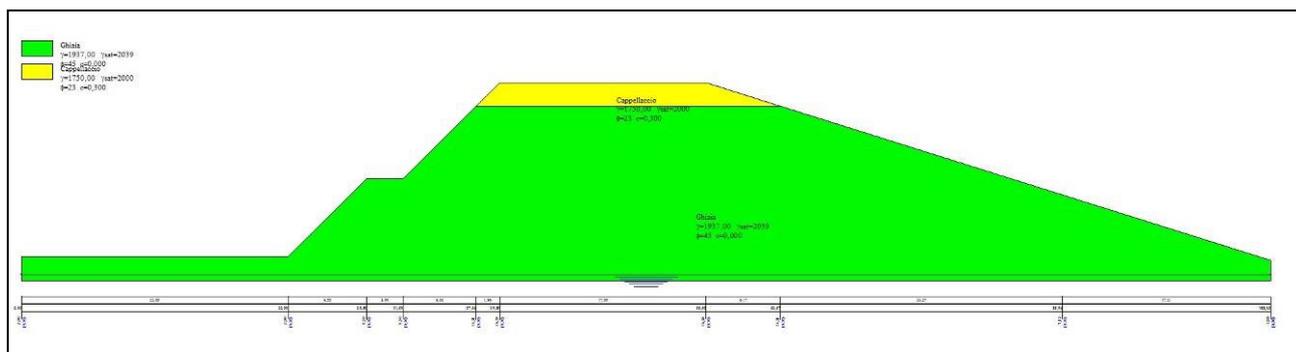


Figura 27: geometria di analisi - fronte di fine scavo.

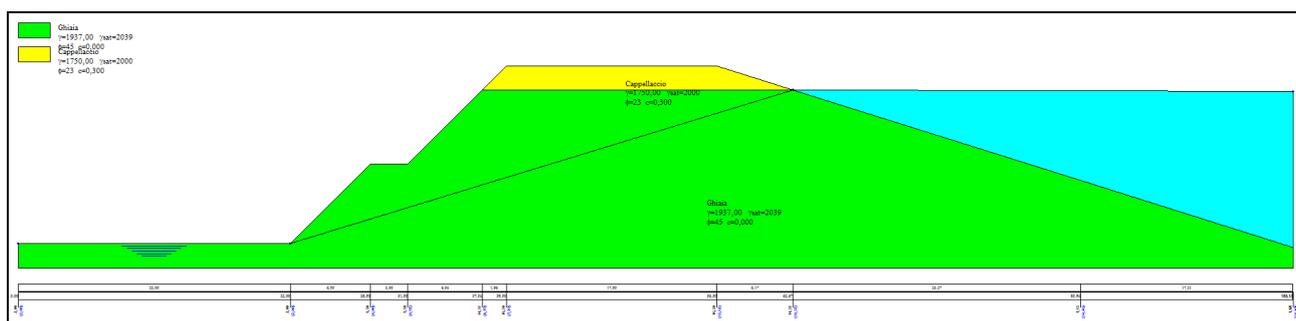


Figura 28: geometria di analisi – fronte di fine scavo con falda al piede della scarpata

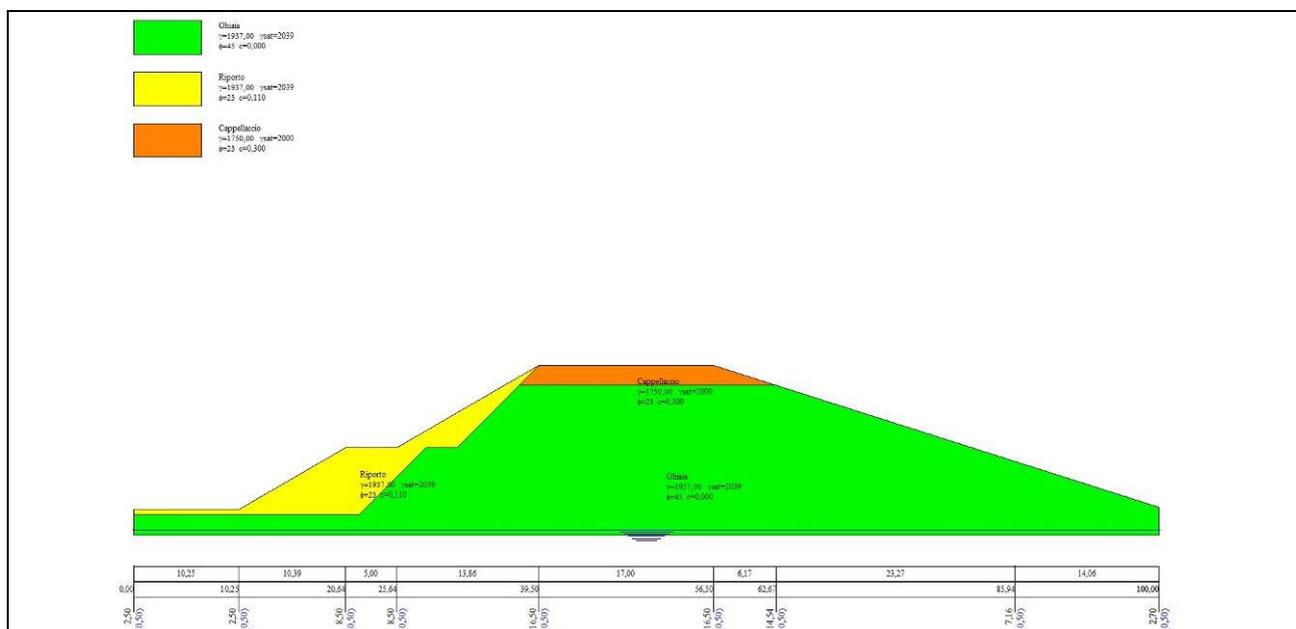


Figura 29: geometria di analisi - fronte di sistemazione

Essendo il bacino irriguo considerato un'opera di importanza strategica, la verifica è stata eseguita rispetto allo stato limite di prevenzione del collasso (SLC – NTC 2008).

Il software utilizzato, Stap della Aztec, permette di operare tramite metodi deterministici dell'equilibrio limite; nel nostro caso specifico è stato utilizzato il metodo di Bishop.

La falda è ubicata al limite massimo ammissibile e quindi posta a circa 1.5 m al di sotto del piano di fondo scavo.

A livello cautelativo si è deciso di condurre una ulteriore verifica, ipotizzando un flusso idrico proveniente dal bacino, quale risultato dell'infiltrazione dal paramento a confine con l'area di cava Fornace 2015. Pur considerando che la granulometria dei terreni indagati (ghiaie e sabbie eterometriche) attribuisce all'acquifero un'alta permeabilità, si assume in via cautelativa un bacino idrico con battente d'acqua fino a -2 m da piano campagna originario e una zona di filtrazione che attraversa il setto fino al fronte di scavo (Figura 28).

Si specifica che tale geometria è estremamente cautelativa in quanto al livello di falda viene attribuito un gradiente idraulico di circa  $|0.3|$  ( $17^\circ$ ), molto minore rispetto a quello che solitamente si instaura negli acquiferi ghiaioso-sabbiosi.

I parametri geotecnici utilizzati per caratterizzare gli orizzonti presenti, sono gli stessi utilizzati per le precedenti analisi (§ 5.1).

Sono quindi stati processati dati per la ricerca del Fattore di Sicurezza minimo sia in condizioni dinamiche sia in condizioni statiche, ed i risultati ottenuti sono i seguenti:

<b>Fronti di verifica</b>	<b>Condizioni statiche</b> <b>F<sub>Smin</sub></b>	<b>Condizioni dinamiche (SISMA)</b> <b>F<sub>Smin</sub></b>
<b>Fronti di scavo</b> Pendio con banca di 3 m, pendenza 45° h = 14.5 m	1.322	1.144
<b>Fronti di scavo con falda infiltrante</b> Pendio con banca di 3 m, pendenza 45° h = 14.5 m	1.322	1.144
<b>Fronti di sistemazione</b> Pendio con banca di 5 m, pendenza 30° h = 14.5 m	1.499	1.169

Tutti i fronti risultano verificati positivamente sia in condizioni statiche sia in condizioni dinamiche con  $F_{Smin} > 1.1$  (NTC 2008) (Figura 30, Figura 31 e Figura 32).

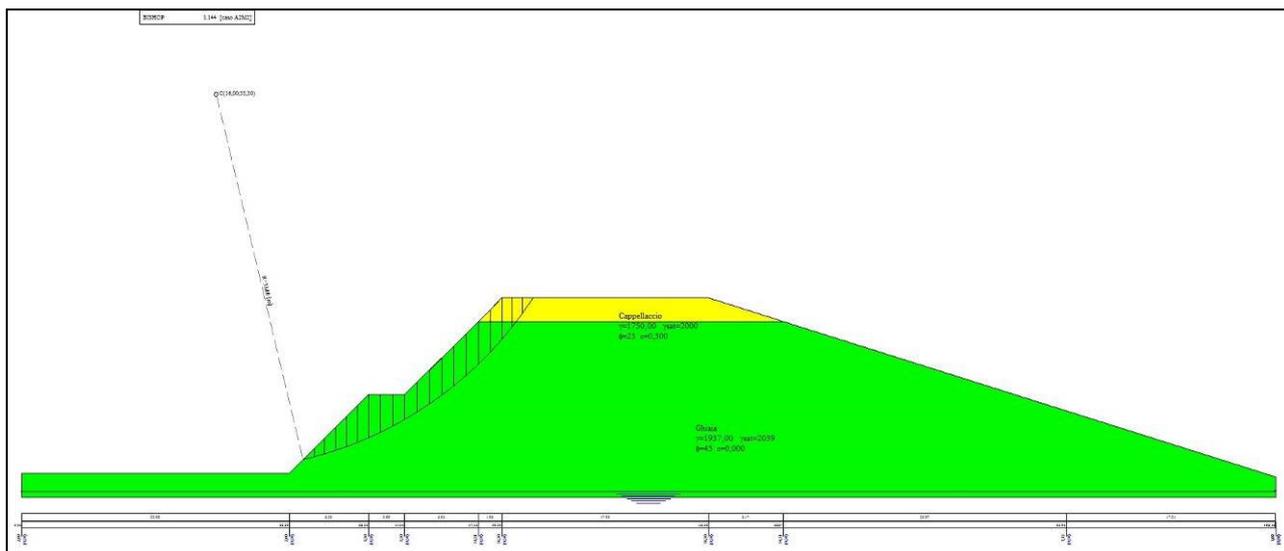


Figura 30: cerchio critico  $\rightarrow F_s \min = 1.144$

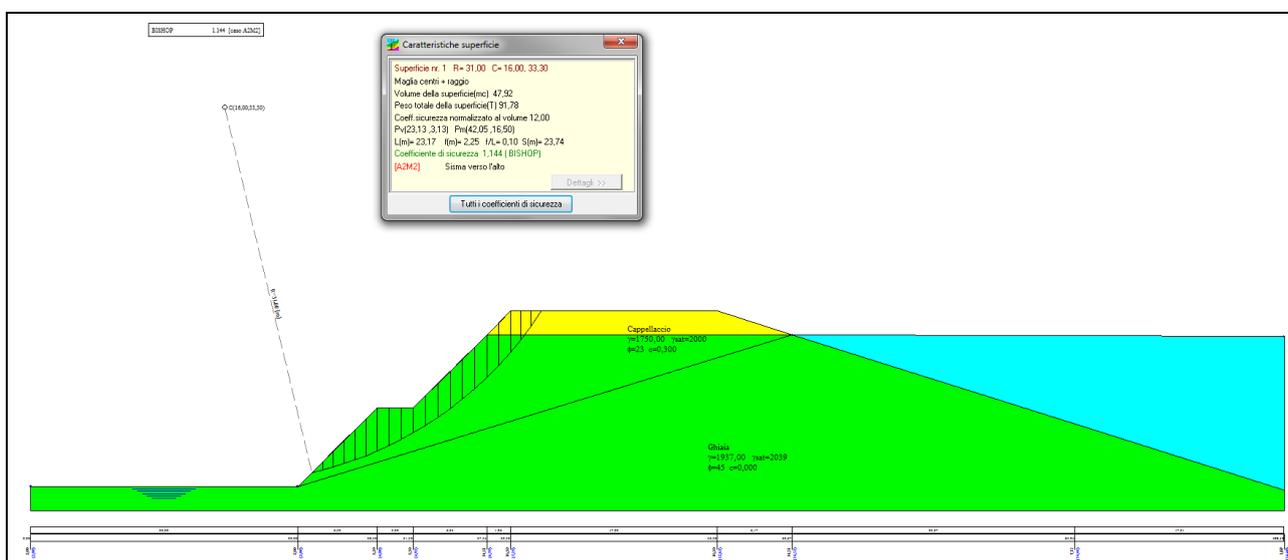


Figura 31: cerchio critico  $\rightarrow F_s \min = 1.144$

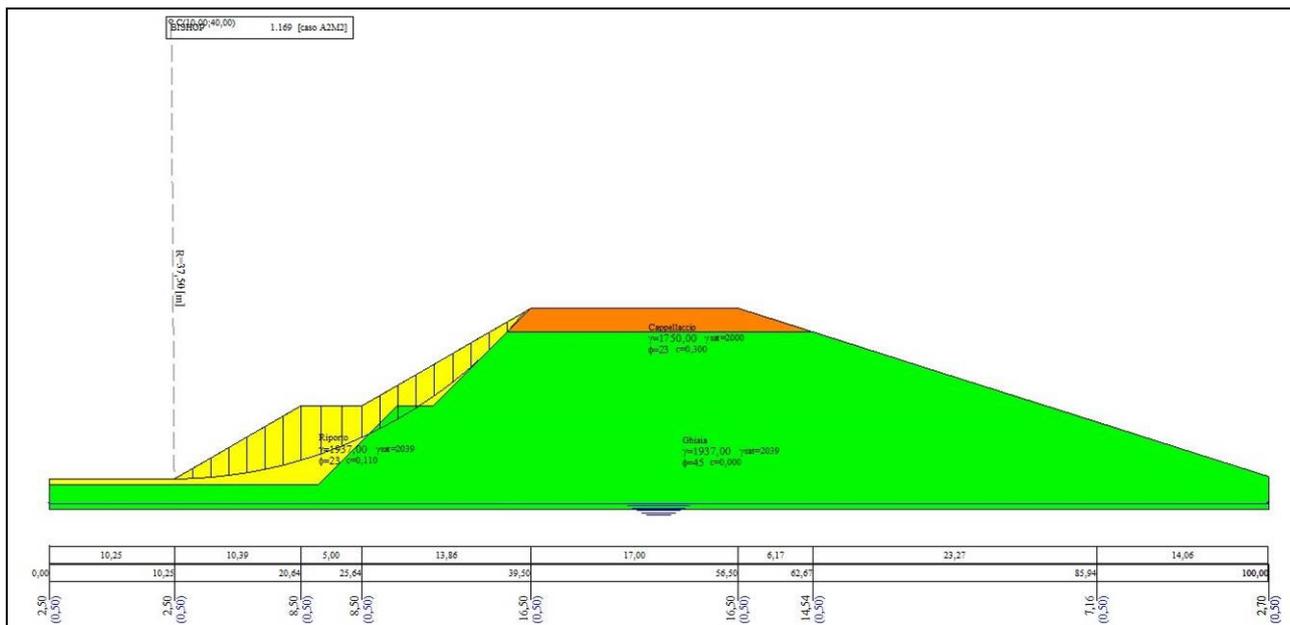


Figura 32: cerchio critico →  $F_{min} = 1.169$

ALLEGATO A

VERIFICHE DI STABILITÀ

### Normative di riferimento

- Legge nr. 64 del 02/02/1974.

Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.

- D.M. LL.PP. del 11/03/1988.

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 e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

- D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche

- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996

- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996

- Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 (D.M. 14 Gennaio 2008)

- Circolare 617 del 02/02/2009

Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

### Descrizione metodo di calcolo

La verifica alla stabilità del pendio deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a **1.10**.

Viene usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare.

In particolare il programma esamina un numero di superfici che dipende dalle impostazioni fornite e che sono riportate nella corrispondente sezione. Il processo iterativo permette di determinare il coefficiente di sicurezza di tutte le superfici analizzate.

Nella descrizione dei metodi di calcolo si adotterà la seguente simbologia:

<i>l</i>	lunghezza della base della striscia
$\alpha$	angolo della base della striscia rispetto all'orizzontale
<i>b</i>	larghezza della striscia $b=l \times \cos(\alpha)$
$\phi$	angolo di attrito lungo la base della striscia
<i>c</i>	coesione lungo la base della striscia
$\gamma$	peso di volume del terreno
<i>u</i>	pressione neutra
<b>W</b>	peso della striscia
<b>N</b>	sfuerzo normale alla base della striscia
<b>T</b>	sfuerzo di taglio alla base della striscia
<b>E<sub>s</sub>, E<sub>d</sub></b>	forze normali di interstriscia a sinistra e a destra
<b>X<sub>s</sub>, X<sub>d</sub></b>	forze tangenziali di interstriscia a sinistra e a destra
<b>E<sub>a</sub>, E<sub>b</sub></b>	forze normali di interstriscia alla base ed alla sommità del pendio
$\Delta X$	variazione delle forze tangenziali sulla striscia $\Delta X = X_d - X_s$
$\Delta E$	variazione delle forze normali sulla striscia $\Delta E = E_d - E_s$

### Metodo di Bishop

Il coefficiente di sicurezza nel metodo di **Bishop semplificato** si esprime secondo la seguente formula:

$$F = \frac{\sum_i \left( \frac{c_i b_i + (N_i / \cos(\alpha_i) - u_i b_i) \operatorname{tg} \phi_i}{m} \right)}{\sum_i W_i \sin \alpha_i}$$

dove il termine  $m$  è espresso da

$$m = \left( 1 + \frac{\text{tg}\phi_i \text{tg}\alpha_i}{F} \right) \cos\alpha_i$$

In questa espressione  $n$  è il numero delle strisce considerate,  $b_i$  e  $\alpha_i$  sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia  $i$ esima rispetto all'orizzontale,  $W_i$  è il peso della striscia  $i$ esima,  $c_i$  e  $\phi_i$  sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed  $u_i$  è la pressione neutra lungo la base della striscia.

L'espressione del coefficiente di sicurezza di **Bishop semplificato** contiene al secondo membro il termine  $m$  che è funzione di  $F$ . Quindi essa viene risolta per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per  $F$  da inserire nell'espressione di  $m$  ed iterare finquando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

**FRONTE DI SCAVO**

## Descrizione terreno

*Simbologia adottata*

Nr.	Indice del terreno
Descrizione	Descrizione terreno
$\gamma$	Peso di volume del terreno espresso in kg/mc
$\gamma_w$	Peso di volume saturo del terreno espresso in kg/mc
$\phi$	Angolo d'attrito interno 'efficace' del terreno espresso in gradi
c	Coesione 'efficace' del terreno espressa in kg/cm <sup>q</sup>
$\phi_u$	Angolo d'attrito interno 'totale' del terreno espresso gradi
$c_u$	Coesione 'totale' del terreno espressa in kg/cm <sup>q</sup>

Nr.	Descrizione	$\gamma$	$\gamma_w$	$\phi'$	c'	$\phi_u$	$c_u$
1	Ghiaia	1937	2039	45.00	0,000	0.00	0,400
2	Cappellaccio	1750	2000	23.00	0,300	0.00	0,400

## Profilo del piano campagna

*Simbologia e convenzioni di segno adottate*

L'ascissa è intesa positiva da sinistra verso destra e l'ordinata positiva verso l'alto.

Nr.	Identificativo del punto
X	Ascissa del punto del profilo espressa in m
Y	Ordinata del punto del profilo espressa in m

Nr.	X [m]	Y [m]
1	0,00	2,00
2	9,38	2,00
3	22,00	2,00
4	28,50	8,50
5	31,50	8,50
6	37,54	14,54
7	39,50	16,50
8	58,50	16,50

## Descrizione stratigrafia

*Simbologia e convenzioni di segno adottate*

Gli strati sono descritti mediante i punti di contorno (in senso antiorario) e l'indice del terreno di cui è costituito

Strato N° 1 costituito da terreno n° 1 (Ghiaia)

Coordinate dei vertici dello strato n° 1

N°	X[m]	Y[m]
1	37,54	14,54
2	31,50	8,50
3	28,50	8,50
4	22,00	2,00
5	9,38	2,00
6	0,00	2,00
7	0,00	0,00
8	58,50	0,00
9	58,50	14,54

Strato N° 2 costituito da terreno n° 2 (Cappellaccio)

Coordinate dei vertici dello strato n° 2

<b>N°</b>	<b>X[m]</b>	<b>Y[m]</b>
1	58,50	14,54
2	58,50	16,50
3	39,50	16,50
4	37,54	14,54

## Risultati analisi

Per l'analisi sono stati utilizzati i seguenti metodi di calcolo :  
Metodo di BISHOP (B)

**Impostazioni analisi**

Normativa :

Norme Tecniche sulle Costruzioni 14/01/2008

**Coefficienti di partecipazione caso statico**

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

<i>Carichi</i>	<i>Effetto</i>		A1	A2
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{Gfav}$	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{Gsfav}$	1,30	1,00
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qfav}$	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qsfav}$	1,50	1,30

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

<i>Parametri</i>			M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan\phi'}$		1,00	1,25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$		1,00	1,25
Resistenza non drenata	$\gamma_{cu}$		1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	$\gamma_{qu}$		1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	$\gamma_{\gamma}$		1,00	1,00

**Coefficienti di partecipazione caso sismico**

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

<i>Carichi</i>	<i>Effetto</i>		A1	A2
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{Gfav}$	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{Gsfav}$	1,00	1,00
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qfav}$	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qsfav}$	1,00	1,00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

<i>Parametri</i>			M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan\phi'}$		1,00	1,25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$		1,00	1,25
Resistenza non drenata	$\gamma_{cu}$		1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	$\gamma_{qu}$		1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	$\gamma_{\gamma}$		1,00	1,00

**Sisma**

Accelerazione al suolo $a_g =$	0.613 [m/s <sup>2</sup> ]
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (Ss)	1.20
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.00
Coefficiente riduzione ( $\beta_s$ )	0.20
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale	0.50
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)	$k_h=(a_g/g*\beta_s*St*S) = 1.50$
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v=0.50 * k_h = 0.75$

Coefficiente di sicurezza richiesto 1.10

Le superfici sono state analizzate per i casi: [PC] [A2M2]

Sisma verticale: verso il basso - verso l'alto

Analisi condotta in termini di tensioni efficaci

### Impostazioni delle superfici di rottura

Si considerano delle superfici di rottura circolari generate tramite la seguente maglia dei centri

Origine maglia [m]:  $X_0 = 2,00$   $Y_0 = 2,00$   
 Passo maglia [m]:  $dX = 2,00$   $dY = 2,00$   
 Numero passi :  $N_x = 21$   $N_y = 20$   
 Raggio [m]:  $R = 20,00$

Si utilizza un raggio variabile con passo  $dR=0,50$  [m] ed un numero di incrementi pari a 20

Sono state escluse dall'analisi le superfici aventi:

- lunghezza di corda inferiore a 1,00 m
- freccia inferiore a 0,50 m
- volume inferiore a 2,00 mc

Numero di superfici analizzate 4808  
 Coefficiente di sicurezza minimo 1.120  
 Superficie con coefficiente di sicurezza minimo 1

### Quadro sintetico coefficienti di sicurezza

Metodo	Nr. superfici	FS <sub>min</sub>	S <sub>min</sub>	FS <sub>max</sub>	S <sub>max</sub>
BISHOP	4808	1.120	1	47.985	4808

### Caratteristiche delle superfici analizzate

#### *Simbologia adottata*

Le ascisse X sono considerate positive verso monte

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

N° numero d'ordine della superficie cerchio

C<sub>x</sub> ascissa x del centro [m]

C<sub>y</sub> ordinata y del centro [m]

R raggio del cerchio espresso in m

x<sub>v</sub>, y<sub>v</sub> ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (valle) espresse in m

x<sub>m</sub>, y<sub>m</sub> ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (monte) espresse in m

V volume interessato dalla superficie espresso [cmq]

C<sub>s</sub> coefficiente di sicurezza

caso caso di calcolo

N°	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	R	x <sub>v</sub>	y <sub>v</sub>	x <sub>m</sub>	y <sub>m</sub>	V	C <sub>s</sub>	caso
1	16,00	22,00	20,00	23,43	3,43	30,76	8,50	8,70	1.120 (B)	[A2M2]

## Analisi della superficie critica

**Simbologia adottata**

Le ascisse X sono considerate positive verso destra

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

Le strisce sono numerate da valle verso monte

N°	numero d'ordine della striscia
X <sub>s</sub>	ascissa sinistra della striscia espressa in m
Y <sub>ss</sub>	ordinata superiore sinistra della striscia espressa in m
Y <sub>si</sub>	ordinata inferiore sinistra della striscia espressa in m
X <sub>g</sub>	ascissa del baricentro della striscia espressa in m
Y <sub>g</sub>	ordinata del baricentro della striscia espressa in m
α	angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso °(positivo antiorario)
φ	angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
c	coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in kg/cm <sup>2</sup>
L	sviluppo della base della striscia espressa in m(L=b/cosα)
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in kg/cm <sup>2</sup>
W	peso della striscia espresso in kg
Q	carico applicato sulla striscia espresso in kg
N	sforzo normale alla base della striscia espresso in kg
T	sforzo tangenziale alla base della striscia espresso in kg
U	pressione neutra alla base della striscia espressa in kg
E <sub>s</sub> , E <sub>d</sub>	forze orizzontali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg
X <sub>s</sub> , X <sub>d</sub>	forze verticali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg
ID	Indice della superficie interessata dall'intervento

**Analisi della superficie 1 - coefficienti parziali caso A2M2 e sisma verso l'alto**

Numero di strisce	20	
Coordinate del centro	X[m]= 16,00	Y[m]= 22,00
Raggio del cerchio	R[m]= 20,00	
Intersezione a valle con il profilo topografico	X <sub>v</sub> [m]= 23,43	Y <sub>v</sub> [m]= 3,43
Intersezione a monte con il profilo topografico	X <sub>m</sub> [m]= 30,76	Y <sub>m</sub> [m]= 8,50
Coefficiente di sicurezza	C <sub>s</sub> = 1.120	

**Geometria e caratteristiche strisce**

N°	X <sub>s</sub>	Y <sub>ss</sub>	Y <sub>si</sub>	X <sub>d</sub>	Y <sub>ds</sub>	Y <sub>di</sub>	X <sub>g</sub>	Y <sub>g</sub>	L	α	φ	c
1	23,43	3,43	3,43	23,79	3,79	3,58	23,67	3,60	0,39	22,38	38.66	0,00
2	23,79	3,79	3,58	24,16	4,16	3,74	23,99	3,83	0,39	23,50	38.66	0,00
3	24,16	4,16	3,74	24,52	4,52	3,90	24,35	4,09	0,40	24,64	38.66	0,00
4	24,52	4,52	3,90	24,88	4,88	4,08	24,71	4,35	0,40	25,78	38.66	0,00
5	24,88	4,88	4,08	25,24	5,24	4,26	25,07	4,62	0,41	26,94	38.66	0,00
6	25,24	5,24	4,26	25,60	5,60	4,46	25,43	4,90	0,41	28,11	38.66	0,00
7	25,60	5,60	4,46	25,97	5,97	4,66	25,79	5,17	0,42	29,29	38.66	0,00
8	25,97	5,97	4,66	26,33	6,33	4,87	26,15	5,46	0,42	30,49	38.66	0,00
9	26,33	6,33	4,87	26,69	6,69	5,10	26,51	5,75	0,43	31,70	38.66	0,00
10	26,69	6,69	5,10	27,05	7,05	5,33	26,87	6,04	0,43	32,93	38.66	0,00
11	27,05	7,05	5,33	27,41	7,41	5,58	27,24	6,35	0,44	34,17	38.66	0,00
12	27,41	7,41	5,58	27,78	7,78	5,83	27,60	6,65	0,44	35,44	38.66	0,00
13	27,78	7,78	5,83	28,14	8,14	6,10	27,96	6,96	0,45	36,72	38.66	0,00
14	28,14	8,14	6,10	28,50	8,50	6,39	28,32	7,28	0,46	38,02	38.66	0,00
15	28,50	8,50	6,39	28,88	8,50	6,70	28,68	7,52	0,49	39,38	38.66	0,00
16	28,88	8,50	6,70	29,25	8,50	7,02	29,06	7,68	0,50	40,79	38.66	0,00
17	29,25	8,50	7,02	29,63	8,50	7,36	29,43	7,84	0,51	42,23	38.66	0,00
18	29,63	8,50	7,36	30,00	8,50	7,72	29,80	8,02	0,52	43,70	38.66	0,00
19	30,00	8,50	7,72	30,38	8,50	8,10	30,17	8,20	0,53	45,21	38.66	0,00
20	30,38	8,50	8,10	30,76	8,50	8,50	30,51	8,37	0,55	46,76	38.66	0,00

**Forze applicate sulle strisce [BISHOP]**

N°	W	Q	N	T	U	E <sub>s</sub>	E <sub>d</sub>	X <sub>s</sub>	X <sub>d</sub>
1	75	0	62	44	0	0	16	0	0
2	221	0	183	130	0	16	60	0	0
3	361	0	297	212	0	60	123	0	0
4	496	0	406	290	0	123	200	0	0
5	624	0	510	364	0	200	284	0	0
6	745	0	607	433	0	284	369	0	0
7	860	0	699	499	0	369	450	0	0
8	968	0	785	560	0	450	520	0	0
9	1069	0	865	618	0	520	575	0	0
10	1162	0	940	671	0	575	610	0	0
11	1247	0	1008	720	0	610	620	0	0
12	1325	0	1070	764	0	620	603	0	0
13	1394	0	1126	804	0	603	553	0	0
14	1454	0	1175	839	0	553	468	0	0
15	1426	0	1155	825	0	468	352	0	0
16	1196	0	970	693	0	352	224	0	0
17	953	0	775	554	0	224	99	0	0
18	698	0	570	407	0	99	-11	0	0
19	429	0	352	251	0	-11	-90	0	0
20	146	0	120	86	0	-90	-121	0	0

## FRONTE DI SISTEMAZIONE

### Descrizione terreno

#### *Simbologia adottata*

Nr.	Indice del terreno
Descrizione	Descrizione terreno
$\gamma$	Peso di volume del terreno espresso in kg/mc
$\gamma_w$	Peso di volume saturo del terreno espresso in kg/mc
$\phi$	Angolo d'attrito interno 'efficace' del terreno espresso in gradi
c	Coesione 'efficace' del terreno espressa in kg/cm <sup>q</sup>
$\phi_u$	Angolo d'attrito interno 'totale' del terreno espresso gradi
$c_u$	Coesione 'totale' del terreno espressa in kg/cm <sup>q</sup>

Nr.	Descrizione	$\gamma$	$\gamma_w$	$\phi'$	c'	$\phi_u$	$c_u$
1	Ghiaia	1937	2039	45.00	0,000	0.00	0,400
2	Riporto	1937	2039	23.00	0,110	0.00	0,400
3	Cappellaccio	1750	2000	23.00	0,300	0.00	0,400

### Profilo del piano campagna

#### *Simbologia e convenzioni di segno adottate*

L'ascissa è intesa positiva da sinistra verso destra e l'ordinata positiva verso l'alto.

Nr.	Identificativo del punto
X	Ascissa del punto del profilo espressa in m
Y	Ordinata del punto del profilo espressa in m

Nr.	X [m]	Y [m]
1	0,00	2,00
2	9,38	2,00
3	20,64	8,50
4	25,64	8,50
5	39,50	16,50
6	58,50	16,50

### Descrizione stratigrafia

#### *Simbologia e convenzioni di segno adottate*

Gli strati sono descritti mediante i punti di contorno (in senso antiorario) e l'indice del terreno di cui è costituito

Strato N° 1 costituito da terreno n° 1 (Ghiaia)

Coordinate dei vertici dello strato n° 1

N°	X[m]	Y[m]
1	37,54	14,54
2	31,50	8,50
3	28,50	8,50
4	22,00	2,00
5	9,38	2,00
6	0,00	2,00
7	0,00	0,00
8	58,50	0,00
9	58,50	14,54

Strato N° 2 costituito da terreno n° 2 (Riporto)

Coordinate dei vertici dello strato n° 2

<b>N°</b>	<b>X[m]</b>	<b>Y[m]</b>
1	39,50	16,50
2	25,64	8,50
3	20,64	8,50
4	9,38	2,00
5	22,00	2,00
6	28,50	8,50
7	31,50	8,50
8	37,54	14,54

Strato N° 3 costituito da terreno n° 3 (Cappellaccio)

Coordinate dei vertici dello strato n° 3

<b>N°</b>	<b>X[m]</b>	<b>Y[m]</b>
1	58,50	14,54
2	58,50	16,50
3	39,50	16,50
4	37,54	14,54

## Risultati analisi

Per l'analisi sono stati utilizzati i seguenti metodi di calcolo :  
Metodo di BISHOP (B)

**Impostazioni analisi**

Normativa :

Norme Tecniche sulle Costruzioni 14/01/2008

**Coefficienti di partecipazione caso statico**

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

<i>Carichi</i>	<i>Effetto</i>		A1	A2
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{Gfav}$	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{Gsfav}$	1,30	1,00
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qfav}$	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qsfav}$	1,50	1,30

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

<i>Parametri</i>			M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan\phi'}$		1,00	1,25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$		1,00	1,25
Resistenza non drenata	$\gamma_{cu}$		1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	$\gamma_{qu}$		1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	$\gamma_{\gamma}$		1,00	1,00

**Coefficienti di partecipazione caso sismico**

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

<i>Carichi</i>	<i>Effetto</i>		A1	A2
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{Gfav}$	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{Gsfav}$	1,00	1,00
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qfav}$	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qsfav}$	1,00	1,00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

<i>Parametri</i>			M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan\phi'}$		1,00	1,25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$		1,00	1,25
Resistenza non drenata	$\gamma_{cu}$		1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	$\gamma_{qu}$		1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	$\gamma_{\gamma}$		1,00	1,00

**Sisma**

Accelerazione al suolo $a_g =$	1.600 [m/s <sup>2</sup> ]
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo ( $S_s$ )	1.20
Coefficiente di amplificazione topografica ( $S_t$ )	1.00
Coefficiente riduzione ( $\beta_s$ )	0.24
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale	0.50
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)	$k_h=(a_g/g*\beta_s*St*S) = 4.70$
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v=0.50 * k_h = 2.35$

Coefficiente di sicurezza richiesto 1.10

Le superfici sono state analizzate per i casi: [PC] [A2M2]  
 Sisma verticale: verso il basso - verso l'alto  
 Analisi condotta in termini di tensioni efficaci

### Impostazioni delle superfici di rottura

Si considerano delle superfici di rottura circolari generate tramite la seguente maglia dei centri

Origine maglia [m]:  $X_0 = 2,00$   $Y_0 = 2,00$   
 Passo maglia [m]:  $dX = 2,00$   $dY = 2,00$   
 Numero passi :  $N_x = 21$   $N_y = 20$   
 Raggio [m]:  $R = 20,00$

Si utilizza un raggio variabile con passo  $dR=0,50$  [m] ed un numero di incrementi pari a 20

Sono state escluse dall'analisi le superfici aventi:

- lunghezza di corda inferiore a 1,00 m
- freccia inferiore a 0,50 m
- volume inferiore a 2,00 mc

Numero di superfici analizzate 6440  
 Coefficiente di sicurezza minimo 1.274  
 Superficie con coefficiente di sicurezza minimo 1

### Quadro sintetico coefficienti di sicurezza

Metodo	Nr. superfici	FS <sub>min</sub>	S <sub>min</sub>	FS <sub>max</sub>	S <sub>max</sub>
BISHOP	6440	1.274	1	33.293	6440

### Caratteristiche delle superfici analizzate

#### *Simbologia adottata*

Le ascisse X sono considerate positive verso monte

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

N° numero d'ordine della superficie cerchio  
 C<sub>x</sub> ascissa x del centro [m]  
 C<sub>y</sub> ordinata y del centro [m]  
 R raggio del cerchio espresso in m  
 x<sub>v</sub>, y<sub>v</sub> ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (valle) espresse in m  
 x<sub>m</sub>, y<sub>m</sub> ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (monte) espresse in m  
 V volume interessato dalla superficie espresso [cmq]  
 C<sub>s</sub> coefficiente di sicurezza  
 caso caso di calcolo

N°	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	R	x <sub>v</sub>	y <sub>v</sub>	x <sub>m</sub>	y <sub>m</sub>	V	C <sub>s</sub>	caso
1	10,00	22,00	20,00	9,40	2,01	24,76	8,50	33,74	1.274 (B)	[A2M2]

## Analisi della superficie critica

**Simbologia adottata**

Le ascisse X sono considerate positive verso destra

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

Le strisce sono numerate da valle verso monte

N°	numero d'ordine della striscia
X <sub>s</sub>	ascissa sinistra della striscia espressa in m
Y <sub>ss</sub>	ordinata superiore sinistra della striscia espressa in m
Y <sub>si</sub>	ordinata inferiore sinistra della striscia espressa in m
X <sub>g</sub>	ascissa del baricentro della striscia espressa in m
Y <sub>g</sub>	ordinata del baricentro della striscia espressa in m
α	angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso °(positivo antiorario)
φ	angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
c	coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in kg/cm <sup>2</sup>
L	sviluppo della base della striscia espressa in m(L=b/cosα)
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in kg/cm <sup>2</sup>
W	peso della striscia espresso in kg
Q	carico applicato sulla striscia espresso in kg
N	sforzo normale alla base della striscia espresso in kg
T	sforzo tangenziale alla base della striscia espresso in kg
U	pressione neutra alla base della striscia espressa in kg
E <sub>s</sub> , E <sub>d</sub>	forze orizzontali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg
X <sub>s</sub> , X <sub>d</sub>	forze verticali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg
ID	Indice della superficie interessata dall'intervento

**Analisi della superficie 1 - coefficienti parziali caso A2M2 e sisma verso il basso**

Numero di strisce	20	
Coordinate del centro	X[m]= 10,00	Y[m]= 22,00
Raggio del cerchio	R[m]= 20,00	
Intersezione a valle con il profilo topografico	X <sub>v</sub> [m]= 9,40	Y <sub>v</sub> [m]= 2,01
Intersezione a monte con il profilo topografico	X <sub>m</sub> [m]= 24,76	Y <sub>m</sub> [m]= 8,50
Coefficiente di sicurezza	C <sub>s</sub> = 1.274	

**Geometria e caratteristiche strisce**

N°	X <sub>s</sub>	Y <sub>ss</sub>	Y <sub>si</sub>	X <sub>d</sub>	Y <sub>ds</sub>	Y <sub>di</sub>	X <sub>g</sub>	Y <sub>g</sub>	L	α	φ	c
1	9,40	2,01	2,01	10,15	2,44	2,00	9,90	2,15	0,75	-0,66	18,76	0,09
2	10,15	2,44	2,00	10,90	2,87	2,02	10,56	2,35	0,75	1,49	18,76	0,09
3	10,90	2,87	2,02	11,64	3,31	2,07	11,29	2,57	0,75	3,64	18,76	0,09
4	11,64	3,31	2,07	12,39	3,74	2,14	12,04	2,82	0,75	5,80	18,76	0,09
5	12,39	3,74	2,14	13,14	4,17	2,25	12,78	3,08	0,76	7,96	18,76	0,09
6	13,14	4,17	2,25	13,89	4,61	2,38	13,53	3,36	0,76	10,13	18,76	0,09
7	13,89	4,61	2,38	14,64	5,04	2,55	14,28	3,65	0,77	12,32	18,76	0,09
8	14,64	5,04	2,55	15,39	5,47	2,74	15,02	3,95	0,77	14,53	18,76	0,09
9	15,39	5,47	2,74	16,14	5,90	2,97	15,77	4,27	0,78	16,76	18,76	0,09
10	16,14	5,90	2,97	16,89	6,34	3,22	16,52	4,61	0,79	19,02	18,76	0,09
11	16,89	6,34	3,22	17,64	6,77	3,52	17,27	4,96	0,80	21,31	18,76	0,09
12	17,64	6,77	3,52	18,39	7,20	3,85	18,02	5,33	0,82	23,63	18,76	0,09
13	18,39	7,20	3,85	19,14	7,63	4,21	18,77	5,72	0,83	26,00	18,76	0,09
14	19,14	7,63	4,21	19,89	8,07	4,62	19,52	6,13	0,85	28,42	18,76	0,09
15	19,89	8,07	4,62	20,64	8,50	5,07	20,26	6,56	0,87	30,89	18,76	0,09
16	20,64	8,50	5,07	21,46	8,50	5,61	21,04	6,92	0,99	33,56	18,76	0,09
17	21,46	8,50	5,61	22,29	8,50	6,22	21,86	7,20	1,02	36,44	18,76	0,09
18	22,29	8,50	6,22	23,11	8,50	6,90	22,67	7,52	1,07	39,43	18,76	0,09
19	23,11	8,50	6,90	23,93	8,50	7,65	23,48	7,87	1,12	42,56	18,76	0,09
20	23,93	8,50	7,65	24,76	8,50	8,50	24,21	8,22	1,18	45,85	18,76	0,09

**Forze applicate sulle strisce [BISHOP]**

<b>N°</b>	<b>W</b>	<b>Q</b>	<b>N</b>	<b>T</b>	<b>U</b>	<b>E<sub>s</sub></b>	<b>E<sub>d</sub></b>	<b>X<sub>s</sub></b>	<b>X<sub>d</sub></b>
1	320	0	335	607	0	0	596	0	0
2	941	0	943	769	0	596	1296	0	0
3	1520	0	1501	919	0	1296	2046	0	0
4	2059	0	2011	1056	0	2046	2797	0	0
5	2556	0	2476	1183	0	2797	3506	0	0
6	3011	0	2898	1298	0	3506	4133	0	0
7	3423	0	3279	1404	0	4133	4643	0	0
8	3791	0	3620	1500	0	4643	5009	0	0
9	4114	0	3920	1586	0	5009	5203	0	0
10	4391	0	4181	1662	0	5203	5205	0	0
11	4620	0	4401	1729	0	5205	4999	0	0
12	4797	0	4578	1785	0	4999	4574	0	0
13	4922	0	4712	1832	0	4574	3924	0	0
14	4991	0	4797	1867	0	3924	3049	0	0
15	4999	0	4831	1891	0	3049	1957	0	0
16	5042	0	4878	1982	0	1957	676	0	0
17	4122	0	3946	1758	0	676	-447	0	0
18	3098	0	2870	1501	0	-447	-1256	0	0
19	1955	0	1613	1202	0	-1256	-1554	0	0
20	676	0	120	848	0	-1554	-1080	0	0

**FRONTE DI SCAVO SUD****Descrizione terreno***Simbologia adottata*

<i>Nr.</i>	Indice del terreno
<i>Descrizione</i>	Descrizione terreno
$\gamma$	Peso di volume del terreno espresso in kg/mc
$\gamma_w$	Peso di volume saturo del terreno espresso in kg/mc
$\phi$	Angolo d'attrito interno 'efficace' del terreno espresso in gradi
$c$	Coesione 'efficace' del terreno espressa in kg/cmq
$\phi_u$	Angolo d'attrito interno 'totale' del terreno espresso gradi
$c_u$	Coesione 'totale' del terreno espressa in kg/cmq

<b>Nr.</b>	<b>Descrizione</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\gamma_w</math></b>	<b><math>\phi'</math></b>	<b><math>c'</math></b>	<b><math>\phi_u</math></b>	<b><math>c_u</math></b>
1	Ghiaia	1937	2039	45.00	0,000	0.00	0,400
2	Cappellaccio	1750	2000	23.00	0,300	0.00	0,400

**Profilo del piano campagna***Simbologia e convenzioni di segno adottate*

L'ascissa è intesa positiva da sinistra verso destra e l'ordinata positiva verso l'alto.

<i>Nr.</i>	Identificativo del punto
<i>X</i>	Ascissa del punto del profilo espressa in m
<i>Y</i>	Ordinata del punto del profilo espressa in m

<b>Nr.</b>	<b>X [m]</b>	<b>Y [m]</b>
1	0,00	2,00
2	22,00	2,00
3	28,50	8,50
4	31,50	8,50
5	37,54	14,53
6	39,50	16,50
7	56,50	16,50
8	62,67	14,53
9	85,94	7,15
10	103,15	1,69

**Descrizione stratigrafia***Simbologia e convenzioni di segno adottate*

Gli strati sono descritti mediante i punti di contorno (in senso antiorario) e l'indice del terreno di cui è costituito

Strato N° 1 costituito da terreno n° 1 (Ghiaia)

Coordinate dei vertici dello strato n° 1

<b>N°</b>	<b>X[m]</b>	<b>Y[m]</b>
1	37,54	14,53
2	31,50	8,50
3	28,50	8,50
4	22,00	2,00
5	0,00	2,00
6	0,00	0,00
7	103,15	0,00
8	103,15	1,69
9	85,94	7,15
10	62,67	14,53

Strato N° 2 costituito da terreno n° 2 (Cappellaccio)

Coordinate dei vertici dello strato n° 2

N°	X[m]	Y[m]
1	62,67	14,53
2	56,50	16,50
3	39,50	16,50
4	37,54	14,53

### Descrizione falda

Livello di falda

Nr.	X[m]	Y[m]
1	0,00	0,50
2	103,15	0,50

## Risultati analisi

Per l'analisi sono stati utilizzati i seguenti metodi di calcolo :  
Metodo di BISHOP (B)

### Impostazioni analisi

Normativa :

Norme Tecniche sulle Costruzioni 14/01/2008

### **Coefficienti di partecipazione caso statico**

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

<i>Carichi</i>	<i>Effetto</i>		<i>A1</i>	<i>A2</i>
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{Gfav}$	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{Gsfav}$	1,30	1,00
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qfav}$	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qsfav}$	1,50	1,30

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

<i>Parametri</i>			<i>M1</i>	<i>M2</i>
Tangente dell'angolo di attrito		$\gamma_{\tan\phi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace		$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata		$\gamma_{cu}$	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale		$\gamma_{qu}$	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume		$\gamma_{\gamma}$	1,00	1,00

### **Coefficienti di partecipazione caso sismico**

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

<i>Carichi</i>	<i>Effetto</i>		<i>A1</i>	<i>A2</i>
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{Gfav}$	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{Gsfav}$	1,00	1,00
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qfav}$	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qsfav}$	1,00	1,00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

<i>Parametri</i>			<i>M1</i>	<i>M2</i>
Tangente dell'angolo di attrito		$\gamma_{\tan\phi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace		$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata		$\gamma_{cu}$	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale		$\gamma_{qu}$	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume		$\gamma_{\gamma}$	1,00	1,00

### Sisma

Accelerazione al suolo $a_g =$	2.270 [m/s <sup>2</sup> ]
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo ( $S_s$ )	1.18
Coefficiente di amplificazione topografica ( $St$ )	1.00
Coefficiente riduzione ( $\beta_s$ )	0.28
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale	0.50
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)	$k_h = (a_g/g * \beta_s * St * S) = 7.62$
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v = 0.50 * k_h = 3.81$

Coefficiente di sicurezza richiesto 1.10

Le superfici sono state analizzate per i casi: [PC] [A2M2]

Sisma verticale: verso il basso - verso l'alto

Analisi condotta in termini di tensioni efficaci

Presenza di falda

### Impostazioni delle superfici di rottura

Si considerano delle superfici di rottura circolari generate tramite la seguente maglia dei centri

Origine maglia [m]:	$X_0 = 4,00$	$Y_0 = 27,30$
Passo maglia [m]:	$dX = 2,00$	$dY = 2,00$
Numero passi :	$N_x = 19$	$N_y = 20$
Raggio [m]:	$R = 30,00$	

Si utilizza un raggio variabile con passo  $dR=1,00$  [m] ed un numero di incrementi pari a 20

Sono state escluse dall'analisi le superfici aventi:

- lunghezza di corda inferiore a 1,00 m
- freccia inferiore a 0,50 m
- volume inferiore a 2,00 mc

Numero di superfici analizzate	6004
Coefficiente di sicurezza minimo	1.144
Superficie con coefficiente di sicurezza minimo	1

### Quadro sintetico coefficienti di sicurezza

Metodo	Nr. superfici	$FS_{min}$	$S_{min}$	$FS_{max}$	$S_{max}$
BISHOP	6004	1.144	1	8.491	6004

### Caratteristiche delle superfici analizzate

#### *Simbologia adottata*

Le ascisse X sono considerate positive verso monte

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

N° numero d'ordine della superficie cerchio

$C_x$  ascissa x del centro [m]

$C_y$  ordinata y del centro [m]

R raggio del cerchio espresso in m

$x_v, y_v$  ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (valle) espresse in m

$x_m, y_m$  ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (monte) espresse in m

V volume interessato dalla superficie espresso [cmq]

$C_s$  coefficiente di sicurezza

caso caso di calcolo

N°	$C_x$	$C_y$	R	$x_v$	$y_v$	$x_m$	$y_m$	V	$C_s$	caso
1	16,00	33,30	31,00	23,13	3,13	42,05	16,50	47,92	1.144 (B)	[A2M2]

## Analisi della superficie critica

### Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso destra

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

Le strisce sono numerate da valle verso monte

N°	numero d'ordine della striscia
X <sub>s</sub>	ascissa sinistra della striscia espressa in m
Y <sub>ss</sub>	ordinata superiore sinistra della striscia espressa in m
Y <sub>si</sub>	ordinata inferiore sinistra della striscia espressa in m
X <sub>g</sub>	ascissa del baricentro della striscia espressa in m
Y <sub>g</sub>	ordinata del baricentro della striscia espressa in m
α	angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso °(positivo antiorario)
φ	angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
c	coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in kg/cmq
L	sviluppo della base della striscia espressa in m(L=b/cos α)
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in kg/cmq
W	peso della striscia espresso in kg
Q	carico applicato sulla striscia espresso in kg
N	sforzo normale alla base della striscia espresso in kg
T	sforzo tangenziale alla base della striscia espresso in kg
U	pressione neutra alla base della striscia espressa in kg
E <sub>s</sub> , E <sub>d</sub>	forze orizzontali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg
X <sub>s</sub> , X <sub>d</sub>	forze verticali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg
ID	Indice della superficie interessata dall'intervento

### Analisi della superficie 1 - coefficienti parziali caso A2M2 e sisma verso l'alto

Numero di strisce	20	
Coordinate del centro	X[m]= 16,00	Y[m]= 33,30
Raggio del cerchio	R[m]= 31,00	
Intersezione a valle con il profilo topografico	X <sub>v</sub> [m]= 23,13	Y <sub>v</sub> [m]= 3,13
Intersezione a monte con il profilo topografico	X <sub>m</sub> [m]= 42,05	Y <sub>m</sub> [m]= 16,50
Coefficiente di sicurezza	C <sub>s</sub> = 1.144	

### Geometria e caratteristiche strisce

N°	X <sub>s</sub>	Y <sub>ss</sub>	Y <sub>si</sub>	X <sub>d</sub>	Y <sub>ds</sub>	Y <sub>di</sub>	X <sub>g</sub>	Y <sub>g</sub>	L	α	φ	c
1	23,13	3,13	3,13	24,03	4,03	3,36	23,73	3,50	0,92	14,15	38.66	0,00
2	24,03	4,03	3,36	24,92	4,92	3,61	24,52	4,01	0,93	15,87	38.66	0,00
3	24,92	4,92	3,61	25,82	5,82	3,90	25,40	4,58	0,94	17,59	38.66	0,00
4	25,82	5,82	3,90	26,71	6,71	4,21	26,28	5,17	0,95	19,34	38.66	0,00
5	26,71	6,71	4,21	27,61	7,61	4,55	27,17	5,78	0,96	21,10	38.66	0,00
6	27,61	7,61	4,55	28,50	8,50	4,93	28,06	6,41	0,97	22,88	38.66	0,00
7	28,50	8,50	4,93	29,50	8,50	5,39	28,99	6,83	1,10	24,80	38.66	0,00
8	29,50	8,50	5,39	30,50	8,50	5,90	29,99	7,07	1,12	26,85	38.66	0,00
9	30,50	8,50	5,90	31,50	8,50	6,45	30,98	7,33	1,14	28,94	38.66	0,00
10	31,50	8,50	6,45	32,51	9,51	7,06	32,02	7,89	1,18	31,09	38.66	0,00
11	32,51	9,51	7,06	33,51	10,51	7,72	33,02	8,71	1,20	33,29	38.66	0,00
12	33,51	10,51	7,72	34,52	11,52	8,44	34,02	9,55	1,24	35,54	38.66	0,00
13	34,52	11,52	8,44	35,53	12,52	9,22	35,03	10,43	1,28	37,86	38.66	0,00
14	35,53	12,52	9,22	36,53	13,52	10,08	36,03	11,34	1,32	40,26	38.66	0,00
15	36,53	13,52	10,08	37,54	14,53	11,01	37,04	12,29	1,37	42,75	38.66	0,00
16	37,54	14,53	11,01	38,52	15,51	12,00	38,03	13,24	1,39	45,30	38.66	0,00
17	38,52	15,51	12,00	39,50	16,50	13,08	39,01	14,23	1,46	47,94	38.66	0,00
18	39,50	16,50	13,08	40,35	16,50	14,12	39,90	15,00	1,34	50,53	38.66	0,00
19	40,35	16,50	14,12	41,20	16,50	15,25	40,73	15,56	1,42	53,08	26.03	0,15
20	41,20	16,50	15,25	42,05	16,50	16,50	41,49	16,08	1,51	55,79	18.76	0,24

**Forze applicate sulle strisce [BISHOP]**

<b>N°</b>	<b>W</b>	<b>Q</b>	<b>N</b>	<b>T</b>	<b>U</b>	<b>E<sub>s</sub></b>	<b>E<sub>d</sub></b>	<b>X<sub>s</sub></b>	<b>X<sub>d</sub></b>
1	580	0	489	342	0	0	168	0	0
2	1715	0	1430	1001	0	168	609	0	0
3	2799	0	2312	1617	0	609	1239	0	0
4	3832	0	3137	2194	0	1239	1979	0	0
5	4812	0	3907	2733	0	1979	2756	0	0
6	5736	0	4624	3234	0	2756	3501	0	0
7	6464	0	5176	3621	0	3501	4125	0	0
8	5526	0	4400	3078	0	4125	4463	0	0
9	4500	0	3567	2495	0	4463	4577	0	0
10	4379	0	3460	2420	0	4577	4530	0	0
11	5103	0	4024	2815	0	4530	4286	0	0
12	5717	0	4506	3152	0	4286	3796	0	0
13	6212	0	4903	3430	0	3796	3022	0	0
14	6578	0	5207	3642	0	3022	1935	0	0
15	6799	0	5409	3784	0	1935	525	0	0
16	6594	0	5283	3696	0	525	-1133	0	0
17	6313	0	5106	3572	0	-1133	-3012	0	0
18	4468	0	3656	2557	0	-3012	-4549	0	0
19	2719	0	1176	2388	0	-4549	-4261	0	0
20	932	0	-2142	2540	0	-4261	-1133	0	0

## FRONTE DI SCAVO SUD CON FALDA AL PIEDE DELLA SCARPATA

### Descrizione terreno

#### *Simbologia adottata*

Nr.	Indice del terreno
Descrizione	Descrizione terreno
$\gamma$	Peso di volume del terreno espresso in kg/mc
$\gamma_w$	Peso di volume saturo del terreno espresso in kg/mc
$\phi$	Angolo d'attrito interno 'efficace' del terreno espresso in gradi
c	Coesione 'efficace' del terreno espressa in kg/cm <sup>2</sup>
$\phi_u$	Angolo d'attrito interno 'totale' del terreno espresso gradi
$c_u$	Coesione 'totale' del terreno espressa in kg/cm <sup>2</sup>

Nr.	Descrizione	$\gamma$	$\gamma_w$	$\phi'$	c'	$\phi_u$	$c_u$
1	Ghiaia	1937	2039	45.00	0,000	0.00	0,400
2	Cappellaccio	1750	2000	23.00	0,300	0.00	0,400

### Profilo del piano campagna

#### *Simbologia e convenzioni di segno adottate*

L'ascissa è intesa positiva da sinistra verso destra e l'ordinata positiva verso l'alto.

Nr.	Identificativo del punto
X	Ascissa del punto del profilo espressa in m
Y	Ordinata del punto del profilo espressa in m

Nr.	X [m]	Y [m]
1	0,00	2,00
2	22,00	2,00
3	28,50	8,50
4	31,50	8,50
5	37,54	14,53
6	39,50	16,50
7	56,50	16,50
8	62,67	14,53
9	85,94	7,15
10	103,15	1,69

### Descrizione stratigrafia

#### *Simbologia e convenzioni di segno adottate*

Gli strati sono descritti mediante i punti di contorno (in senso antiorario) e l'indice del terreno di cui è costituito

Strato N° 1 costituito da terreno n° 1 (Ghiaia)

Coordinate dei vertici dello strato n° 1

N°	X[m]	Y[m]
1	37,54	14,53
2	31,50	8,50
3	28,50	8,50
4	22,00	2,00
5	0,00	2,00
6	0,00	0,00
7	103,15	0,00
8	103,15	1,69
9	85,94	7,15
10	62,67	14,53

Strato N° 2 costituito da terreno n° 2 (Cappellaccio)

Coordinate dei vertici dello strato n° 2

N°	X[m]	Y[m]
1	62,67	14,53
2	56,50	16,50
3	39,50	16,50
4	37,54	14,53

### Descrizione falda

Livello di falda

Nr.	X[m]	Y[m]
1	0,00	2,00
2	22,00	2,00
3	62,67	14,53
4	103,15	14,40

## Risultati analisi

Per l'analisi sono stati utilizzati i seguenti metodi di calcolo :  
Metodo di BISHOP (B)

### Impostazioni analisi

Normativa :

Norme Tecniche sulle Costruzioni 14/01/2008

### **Coefficienti di partecipazione caso statico**

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

<i>Carichi</i>	<i>Effetto</i>		<i>A1</i>	<i>A2</i>
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{Gfav}$	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{Gsfav}$	1,30	1,00
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qfav}$	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qsfav}$	1,50	1,30

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

<i>Parametri</i>			<i>M1</i>	<i>M2</i>
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan\phi'}$		1,00	1,25
Coazione efficace	$\gamma_{c'}$		1,00	1,25
Resistenza non drenata	$\gamma_{cu}$		1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	$\gamma_{qu}$		1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	$\gamma_{\gamma}$		1,00	1,00

### **Coefficienti di partecipazione caso sismico**

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

<i>Carichi</i>	<i>Effetto</i>		<i>A1</i>	<i>A2</i>
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{Gfav}$	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{Gsfav}$	1,00	1,00
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qfav}$	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qsfav}$	1,00	1,00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

<i>Parametri</i>			<i>M1</i>	<i>M2</i>
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan\phi'}$		1,00	1,25
Coazione efficace	$\gamma_{c'}$		1,00	1,25
Resistenza non drenata	$\gamma_{cu}$		1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	$\gamma_{qu}$		1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	$\gamma_{\gamma}$		1,00	1,00

### Sisma

Accelerazione al suolo $a_g =$	2.270 [m/s <sup>2</sup> ]
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo ( $S_s$ )	1.18
Coefficiente di amplificazione topografica ( $St$ )	1.00
Coefficiente riduzione ( $\beta_s$ )	0.28
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale	0.50
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)	$k_h = (a_g/g * \beta_s * St * S) = 7.62$
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v = 0.50 * k_h = 3.81$

Coefficiente di sicurezza richiesto 1.10

Le superfici sono state analizzate per i casi: [PC] [A2M2]

Sisma verticale: verso il basso - verso l'alto

Analisi condotta in termini di tensioni efficaci

Presenza di falda

### Impostazioni delle superfici di rottura

Si considerano delle superfici di rottura circolari generate tramite la seguente maglia dei centri

Origine maglia [m]:  $X_0 = 4,00$   $Y_0 = 27,30$   
 Passo maglia [m]:  $dX = 2,00$   $dY = 2,00$   
 Numero passi :  $N_x = 19$   $N_y = 20$   
 Raggio [m]:  $R = 30,00$

Si utilizza un raggio variabile con passo  $dR=1,00$  [m] ed un numero di incrementi pari a 20

Sono state escluse dall'analisi le superfici aventi:

- lunghezza di corda inferiore a 1,00 m
- freccia inferiore a 0,50 m
- volume inferiore a 2,00 mc

Numero di superfici analizzate 6004  
 Coefficiente di sicurezza minimo 1.144  
 Superficie con coefficiente di sicurezza minimo 1

### Quadro sintetico coefficienti di sicurezza

Metodo	Nr. superfici	FS <sub>min</sub>	S <sub>min</sub>	FS <sub>max</sub>	S <sub>max</sub>
BISHOP	6004	1.144	1	8.491	6004

### Caratteristiche delle superfici analizzate

#### *Simbologia adottata*

Le ascisse X sono considerate positive verso monte

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

N° numero d'ordine della superficie cerchio

C<sub>x</sub> ascissa x del centro [m]

C<sub>y</sub> ordinata y del centro [m]

R raggio del cerchio espresso in m

x<sub>v</sub>, y<sub>v</sub> ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (valle) espresse in m

x<sub>m</sub>, y<sub>m</sub> ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (monte) espresse in m

V volume interessato dalla superficie espresso [cmq]

C<sub>s</sub> coefficiente di sicurezza

caso caso di calcolo

N°	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	R	x <sub>v</sub>	y <sub>v</sub>	x <sub>m</sub>	y <sub>m</sub>	V	C <sub>s</sub>	caso
1	16,00	33,30	31,00	23,13	3,13	42,05	16,50	47,92	1.144 (B)	[A2M2]

## Analisi della superficie critica

### Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso destra

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

Le strisce sono numerate da valle verso monte

N°	numero d'ordine della striscia
X <sub>s</sub>	ascissa sinistra della striscia espressa in m
Y <sub>ss</sub>	ordinata superiore sinistra della striscia espressa in m
Y <sub>si</sub>	ordinata inferiore sinistra della striscia espressa in m
X <sub>g</sub>	ascissa del baricentro della striscia espressa in m
Y <sub>g</sub>	ordinata del baricentro della striscia espressa in m
α	angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso °(positivo antiorario)
φ	angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
c	coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in kg/cmq
L	sviluppo della base della striscia espressa in m(L=b/cosα)
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in kg/cmq
W	peso della striscia espresso in kg
Q	carico applicato sulla striscia espresso in kg
N	sforzo normale alla base della striscia espresso in kg
T	sforzo tangenziale alla base della striscia espresso in kg
U	pressione neutra alla base della striscia espressa in kg
E <sub>s</sub> , E <sub>d</sub>	forze orizzontali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg
X <sub>s</sub> , X <sub>d</sub>	forze verticali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg
ID	Indice della superficie interessata dall'intervento

### Analisi della superficie 1 - coefficienti parziali caso A2M2 e sisma verso l'alto

Numero di strisce	20	
Coordinate del centro	X[m]= 16,00	Y[m]= 33,30
Raggio del cerchio	R[m]= 31,00	
Intersezione a valle con il profilo topografico	X <sub>v</sub> [m]= 23,13	Y <sub>v</sub> [m]= 3,13
Intersezione a monte con il profilo topografico	X <sub>m</sub> [m]= 42,05	Y <sub>m</sub> [m]= 16,50
Coefficiente di sicurezza	C <sub>s</sub> = 1.144	

### Geometria e caratteristiche strisce

N°	X <sub>s</sub>	Y <sub>ss</sub>	Y <sub>si</sub>	X <sub>d</sub>	Y <sub>ds</sub>	Y <sub>di</sub>	X <sub>g</sub>	Y <sub>g</sub>	L	α	φ	c
1	23,13	3,13	3,13	24,03	4,03	3,36	23,73	3,50	0,92	14,15	38.66	0,00
2	24,03	4,03	3,36	24,92	4,92	3,61	24,52	4,01	0,93	15,87	38.66	0,00
3	24,92	4,92	3,61	25,82	5,82	3,90	25,40	4,58	0,94	17,59	38.66	0,00
4	25,82	5,82	3,90	26,71	6,71	4,21	26,28	5,17	0,95	19,34	38.66	0,00
5	26,71	6,71	4,21	27,61	7,61	4,55	27,17	5,78	0,96	21,10	38.66	0,00
6	27,61	7,61	4,55	28,50	8,50	4,93	28,06	6,41	0,97	22,88	38.66	0,00
7	28,50	8,50	4,93	29,50	8,50	5,39	28,99	6,83	1,10	24,80	38.66	0,00
8	29,50	8,50	5,39	30,50	8,50	5,90	29,99	7,07	1,12	26,85	38.66	0,00
9	30,50	8,50	5,90	31,50	8,50	6,45	30,98	7,33	1,14	28,94	38.66	0,00
10	31,50	8,50	6,45	32,51	9,51	7,06	32,02	7,89	1,18	31,09	38.66	0,00
11	32,51	9,51	7,06	33,51	10,51	7,72	33,02	8,71	1,20	33,29	38.66	0,00
12	33,51	10,51	7,72	34,52	11,52	8,44	34,02	9,55	1,24	35,54	38.66	0,00
13	34,52	11,52	8,44	35,53	12,52	9,22	35,03	10,43	1,28	37,86	38.66	0,00
14	35,53	12,52	9,22	36,53	13,52	10,08	36,03	11,34	1,32	40,26	38.66	0,00
15	36,53	13,52	10,08	37,54	14,53	11,01	37,04	12,29	1,37	42,75	38.66	0,00
16	37,54	14,53	11,01	38,52	15,51	12,00	38,03	13,24	1,39	45,30	38.66	0,00
17	38,52	15,51	12,00	39,50	16,50	13,08	39,01	14,23	1,46	47,94	38.66	0,00
18	39,50	16,50	13,08	40,35	16,50	14,12	39,90	15,00	1,34	50,53	38.66	0,00
19	40,35	16,50	14,12	41,20	16,50	15,25	40,73	15,56	1,42	53,08	26.03	0,15
20	41,20	16,50	15,25	42,05	16,50	16,50	41,49	16,08	1,51	55,79	18.76	0,24

**Forze applicate sulle strisce [BISHOP]**

<b>N°</b>	<b>W</b>	<b>Q</b>	<b>N</b>	<b>T</b>	<b>U</b>	<b>E<sub>s</sub></b>	<b>E<sub>d</sub></b>	<b>X<sub>s</sub></b>	<b>X<sub>d</sub></b>
1	580	0	489	342	0	0	168	0	0
2	1715	0	1430	1001	0	168	609	0	0
3	2799	0	2312	1617	0	609	1239	0	0
4	3832	0	3137	2194	0	1239	1979	0	0
5	4812	0	3907	2733	0	1979	2756	0	0
6	5736	0	4624	3234	0	2756	3501	0	0
7	6464	0	5176	3621	0	3501	4125	0	0
8	5526	0	4400	3078	0	4125	4463	0	0
9	4500	0	3567	2495	0	4463	4577	0	0
10	4379	0	3460	2420	0	4577	4530	0	0
11	5103	0	4024	2815	0	4530	4286	0	0
12	5717	0	4506	3152	0	4286	3796	0	0
13	6212	0	4903	3430	0	3796	3022	0	0
14	6578	0	5207	3642	0	3022	1935	0	0
15	6799	0	5409	3784	0	1935	525	0	0
16	6594	0	5283	3696	0	525	-1133	0	0
17	6313	0	5106	3572	0	-1133	-3012	0	0
18	4468	0	3656	2557	0	-3012	-4549	0	0
19	2719	0	1176	2388	0	-4549	-4261	0	0
20	932	0	-2142	2540	0	-4261	-1133	0	0

## FRONTE DI SISTEMAZIONE SUD

### Descrizione terreno

#### *Simbologia adottata*

Nr.	Indice del terreno
Descrizione	Descrizione terreno
$\gamma$	Peso di volume del terreno espresso in kg/mc
$\gamma_w$	Peso di volume saturo del terreno espresso in kg/mc
$\phi$	Angolo d'attrito interno 'efficace' del terreno espresso in gradi
$c$	Coesione 'efficace' del terreno espressa in kg/cm <sup>q</sup>
$\phi_u$	Angolo d'attrito interno 'totale' del terreno espresso gradi
$c_u$	Coesione 'totale' del terreno espressa in kg/cm <sup>q</sup>

Nr.	Descrizione	$\gamma$	$\gamma_w$	$\phi'$	$c'$	$\phi_u$	$c_u$
1	Ghiaia	1937	2039	45,00	0,000	0,00	0,400
2	Riporto	1937	2039	23,00	0,110	0,00	0,400
3	Cappellaccio	1750	2000	23,00	0,300	0,00	0,400

### Profilo del piano campagna

#### *Simbologia e convenzioni di segno adottate*

L'ascissa è intesa positiva da sinistra verso destra e l'ordinata positiva verso l'alto.

Nr.	Identificativo del punto
X	Ascissa del punto del profilo espressa in m
Y	Ordinata del punto del profilo espressa in m

Nr.	X [m]	Y [m]
1	0,00	2,50
2	10,25	2,50
3	20,64	8,50
4	25,64	8,50
5	39,50	16,50
6	56,50	16,50
7	62,67	14,54
8	85,94	7,16
9	100,00	2,70

### Descrizione stratigrafia

#### *Simbologia e convenzioni di segno adottate*

Gli strati sono descritti mediante i punti di contorno (in senso antiorario) e l'indice del terreno di cui è costituito

Strato N° 1 costituito da terreno n° 1 (Ghiaia)

Coordinate dei vertici dello strato n° 1

N°	X[m]	Y[m]
1	37,54	14,54
2	31,50	8,50
3	28,50	8,50
4	22,00	2,00
5	0,00	2,00
6	0,00	0,00
7	100,00	0,00
8	100,00	2,70
9	85,94	7,16
10	62,67	14,54

Strato N° 2 costituito da terreno n° 2 (Riporto)

Coordinate dei vertici dello strato n° 2

N°	X[m]	Y[m]
1	39,50	16,50
2	25,64	8,50
3	20,64	8,50
4	10,25	2,50
5	0,00	2,50
6	0,00	2,00
7	22,00	2,00
8	28,50	8,50
9	31,50	8,50
10	37,54	14,54

Strato N° 3 costituito da terreno n° 3 (Cappellaccio)

Coordinate dei vertici dello strato n° 3

N°	X[m]	Y[m]
1	62,67	14,54
2	56,50	16,50
3	39,50	16,50
4	37,54	14,54

### Descrizione falda

#### Livello di falda

Nr.	X[m]	Y[m]
1	0,00	0,50
2	100,00	0,50

## Risultati analisi

Per l'analisi sono stati utilizzati i seguenti metodi di calcolo :  
Metodo di BISHOP (B)

### Impostazioni analisi

Normativa :

Norme Tecniche sulle Costruzioni 14/01/2008

### **Coefficienti di partecipazione caso statico**

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

<i>Carichi</i>	<i>Effetto</i>		<i>A1</i>	<i>A2</i>
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{Gfav}$	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{Gsfav}$	1,30	1,00
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qfav}$	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qsfav}$	1,50	1,30

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

<i>Parametri</i>			<i>M1</i>	<i>M2</i>
Tangente dell'angolo di attrito		$\gamma_{\tan\phi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace		$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata		$\gamma_{cu}$	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale		$\gamma_{qu}$	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume		$\gamma_{\gamma}$	1,00	1,00

### **Coefficienti di partecipazione caso sismico**

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

<i>Carichi</i>	<i>Effetto</i>		<i>A1</i>	<i>A2</i>
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{Gfav}$	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{Gsfav}$	1,00	1,00
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qfav}$	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qsfav}$	1,00	1,00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

<i>Parametri</i>			<i>M1</i>	<i>M2</i>
Tangente dell'angolo di attrito		$\gamma_{\tan\phi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace		$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata		$\gamma_{cu}$	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale		$\gamma_{qu}$	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume		$\gamma_{\gamma}$	1,00	1,00

### Sisma

Accelerazione al suolo $a_g =$	3.291 [m/s <sup>2</sup> ]
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (Ss)	1.08
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.00
Coefficiente riduzione ( $\beta_s$ )	0.28
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale	0.50
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)	$k_h=(a_g/g*\beta_s*St*S) = 10.13$
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v=0.50 * k_h = 5.06$

Coefficiente di sicurezza richiesto 1.10

Le superfici sono state analizzate per i casi: [PC] [A2M2]

Sisma verticale: verso il basso - verso l'alto

Analisi condotta in termini di tensioni efficaci

Presenza di falda

### Impostazioni delle superfici di rottura

Si considerano delle superfici di rottura circolari generate tramite la seguente maglia dei centri

Origine maglia [m]:	$X_0 = -6,00$	$Y_0 = 22,00$
Passo maglia [m]:	$dX = 2,00$	$dY = 2,00$
Numero passi :	$N_x = 20$	$N_y = 20$
Raggio [m]:	$R = 30,00$	

Si utilizza un raggio variabile con passo  $dR=0,50$  [m] ed un numero di incrementi pari a 20

Sono state escluse dall'analisi le superfici aventi:

- lunghezza di corda inferiore a 1,00 m
- freccia inferiore a 0,50 m
- volume inferiore a 2,00 mc

Numero di superfici analizzate	4808
Coefficiente di sicurezza minimo	1.169
Superficie con coefficiente di sicurezza minimo	1

### Quadro sintetico coefficienti di sicurezza

Metodo	Nr. superfici	$FS_{min}$	$S_{min}$	$FS_{max}$	$S_{max}$
BISHOP	4808	1.169	1	4.715	4808

### Caratteristiche delle superfici analizzate

#### *Simbologia adottata*

Le ascisse X sono considerate positive verso monte

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

$N^\circ$  numero d'ordine della superficie cerchio

$C_x$  ascissa x del centro [m]

$C_y$  ordinata y del centro [m]

R raggio del cerchio espresso in m

$x_v, y_v$  ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (valle) espresse in m

$x_m, y_m$  ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (monte) espresse in m

V volume interessato dalla superficie espresso [cmq]

$C_s$  coefficiente di sicurezza

caso caso di calcolo

$N^\circ$	$C_x$	$C_y$	R	$x_v$	$y_v$	$x_m$	$y_m$	V	$C_s$	caso
1	10,00	40,00	37,50	10,25	2,50	38,98	16,20	71,47	1.169 (B)	[A2M2]

## Analisi della superficie critica

### Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso destra

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

Le strisce sono numerate da valle verso monte

N°	numero d'ordine della striscia
X <sub>s</sub>	ascissa sinistra della striscia espressa in m
Y <sub>ss</sub>	ordinata superiore sinistra della striscia espressa in m
Y <sub>si</sub>	ordinata inferiore sinistra della striscia espressa in m
X <sub>g</sub>	ascissa del baricentro della striscia espressa in m
Y <sub>g</sub>	ordinata del baricentro della striscia espressa in m
α	angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso °(positivo antiorario)
φ	angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
c	coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in kg/cmq
L	sviluppo della base della striscia espressa in m(L=b/cos α)
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in kg/cmq
W	peso della striscia espresso in kg
Q	carico applicato sulla striscia espresso in kg
N	sforzo normale alla base della striscia espresso in kg
T	sforzo tangenziale alla base della striscia espresso in kg
U	pressione neutra alla base della striscia espressa in kg
E <sub>s</sub> , E <sub>d</sub>	forze orizzontali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg
X <sub>s</sub> , X <sub>d</sub>	forze verticali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg
ID	Indice della superficie interessata dall'intervento

### Analisi della superficie 1 - coefficienti parziali caso A2M2 e sisma verso il basso

Numero di strisce	19	
Coordinate del centro	X[m]= 10,00	Y[m]= 40,00
Raggio del cerchio	R[m]= 37,50	
Intersezione a valle con il profilo topografico	X <sub>v</sub> [m]= 10,25	Y <sub>v</sub> [m]= 2,50
Intersezione a monte con il profilo topografico	X <sub>m</sub> [m]= 38,98	Y <sub>m</sub> [m]= 16,20
Coefficiente di sicurezza	C <sub>s</sub> = 1.169	

### Geometria e caratteristiche strisce

N°	X <sub>s</sub>	Y <sub>ss</sub>	Y <sub>si</sub>	X <sub>d</sub>	Y <sub>ds</sub>	Y <sub>di</sub>	X <sub>g</sub>	Y <sub>g</sub>	L	α	φ	c
1	10,25	2,50	2,50	11,74	3,36	2,54	11,24	2,80	1,48	1,52	18.76	0,09
2	11,74	3,36	2,54	13,22	4,21	2,64	12,56	3,21	1,49	3,79	18.76	0,09
3	13,22	4,21	2,64	14,70	5,07	2,80	14,01	3,70	1,49	6,07	18.76	0,09
4	14,70	5,07	2,80	16,19	5,93	3,01	15,48	4,21	1,50	8,35	18.76	0,09
5	16,19	5,93	3,01	17,67	6,79	3,29	16,95	4,76	1,51	10,65	18.76	0,09
6	17,67	6,79	3,29	19,16	7,64	3,63	18,43	5,35	1,52	12,97	18.76	0,09
7	19,16	7,64	3,63	20,64	8,50	4,04	19,91	5,96	1,54	15,31	18.76	0,09
8	20,64	8,50	4,04	22,31	8,50	4,58	21,46	6,40	1,75	17,82	18.76	0,09
9	22,31	8,50	4,58	23,97	8,50	5,20	23,12	6,69	1,78	20,52	18.76	0,09
10	23,97	8,50	5,20	25,64	8,50	5,92	24,77	7,02	1,81	23,26	18.76	0,09
11	25,64	8,50	5,92	27,13	9,36	6,64	26,39	7,61	1,65	25,91	31.45	0,03
12	27,13	9,36	6,64	28,62	10,22	7,45	27,87	8,42	1,69	28,47	38.66	0,00
13	28,62	10,22	7,45	30,10	11,08	8,34	29,36	9,27	1,74	31,09	38.66	0,00
14	30,10	11,08	8,34	31,59	11,93	9,34	30,84	10,17	1,79	33,78	21.89	0,07
15	31,59	11,93	9,34	33,08	12,79	10,44	32,32	11,12	1,85	36,57	18.76	0,09
16	33,08	12,79	10,44	34,56	13,65	11,67	33,80	12,12	1,93	39,45	18.76	0,09
17	34,56	13,65	11,67	36,05	14,51	13,03	35,27	13,19	2,02	42,47	22.71	0,07
18	36,05	14,51	13,03	37,54	15,37	14,55	36,72	14,31	2,13	45,63	33.79	0,02
19	37,54	15,37	14,55	38,98	16,20	16,20	38,02	15,37	2,19	48,93	18.76	0,09

**Forze applicate sulle strisce [BISHOP]**

<b>N°</b>	<b>W</b>	<b>Q</b>	<b>N</b>	<b>T</b>	<b>U</b>	<b>E<sub>s</sub></b>	<b>E<sub>d</sub></b>	<b>X<sub>s</sub></b>	<b>X<sub>d</sub></b>
1	1175	0	1196	1465	0	0	1313	0	0
2	3441	0	3482	2130	0	1313	2861	0	0
3	5537	0	5559	2737	0	2861	4435	0	0
4	7461	0	7440	3289	0	4435	5853	0	0
5	9210	0	9133	3789	0	5853	6956	0	0
6	10781	0	10648	4238	0	6956	7605	0	0
7	12170	0	11986	4639	0	7605	7682	0	0
8	13530	0	13269	5171	0	7682	7174	0	0
9	11658	0	11344	4633	0	7174	6357	0	0
10	9495	0	9131	4017	0	6357	5479	0	0
11	7638	0	6939	4080	0	5479	5343	0	0
12	7908	0	6894	4716	0	5343	5402	0	0
13	7928	0	6886	4711	0	5402	5078	0	0
14	7676	0	7272	3633	0	5078	3277	0	0
15	7126	0	6819	3374	0	3277	1203	0	0
16	6247	0	5898	3162	0	1203	-736	0	0
17	4996	0	4522	2834	0	-736	-2203	0	0
18	3318	0	2893	2047	0	-2203	-3176	0	0
19	1143	0	-47	1634	0	-3176	-2182	0	0