



# IMPIANTO AGRO-VOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE DENOMINATO "BUSIA" DA REALIZZARSI NEL COMUNE DI SASSARI (SS)

**OPERA DI PUBBLICA UTILITA'**  
**VALUTAZIONE IMPATTO AMBIENTALE ai sensi del D.Lgs 3 aprile 2006, n.152 ALL. II**

CUSTOMER  
Committente

## BAIONA SUN<sup>1</sup>

ADDRESS  
Indirizzo

20124 MILANO - VIA G.B. PIRELLI, 27  
T. +390292875126

DESIGNERS TEAM  
Gruppo di progettazione

SUPERVISION  
Coordinamento

## FAVERO ENGINEERING

VIA GIOVANNI BATTISTA PIRELLI, 27  
20124 MILANO (MI)  
T. +390292875126

Ing. FRANCESCO FAVERO

CONSULTANTS  
Consulenti

**AMBIENTALE:** Dott.ssa MARZIA FIORONI - Alp-en  
Via C.Battisti 44, 23100 Sondrio (SO) - +39 0342 050347 - mfiaroni@alp-en.it  
**GEOLOGIA, GEOTECNICA E IDRAULICA:** Dott. Geologo FAUSTO PANI  
Via Castelli 2, 09122 Cagliari (CA) - +39 070 272011 - fausto.pani@gmail.com  
**AGRONOMIA:** Dott. Agronomo GIUSEPPE PUGGIONI  
Via Don Minzoni 3, 07047 Thiesi (SS) - +39 348 6621842 - puggioni@gmail.com  
**ARCHEOLOGIA:** Dott. Archeologo FABRIZIO DELUSSU  
Via Depretis 7, 08022 Dorgali (NU) - + 39 3475012131 - archeologofabriziodelussu@gmail.com  
**ACUSTICA:** Ing. CARLO FODDIS - Fad System srl  
Via Rossini 81, 09044 Quartucciu (CA) - + 39 070 2348760 - cf@fadssystem.net  
**FAUNA:** Dott. Naturalista Faunista MAURIZIO MEDDA  
Via Tiepolo 16, 09121 Cagliari (CA) - +39 393 8236806 - meddamaurizio@libero.it  
**FLORA:** Dott. Naturalista FABIO SCHIRRU  
+39 347 4998552 - fabio.schirru@pecagrotecnici.it

REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	CHECKED	APPROVED
00	Ottobre 2023	PRIMA EMISSIONE	Dott. Geol. F. Pani	Dott. Geol. F. Pani	Dott. Geol. F. Pani
01					
02					
03					
04					

DRAWING - Elaborato

TITLE  
Titolo

## RELAZIONE GEOTECNICA

DRAWING DETAILS - Dettagli di disegno

GENERAL SCALE  
Scala generale

-

DETAIL SCALE  
Scala particolari

-

ARCHIVE - Archivio

FILE

DTG\_072

PLOT STYLE

FAVERO ENGINEERING.ctb

CODING - Codifica

PROJECT LEVEL  
Fase progettuale

## DEFINITIVO

CATEGORY  
Categoria

## DTG

PROGRESSIVE  
Progressivo

## 0

## 7

## 2

REVISION  
Revisione

## 00

## INDICE

1	INTRODUZIONE .....	4
2	RIFERIMENTI PER LA PROGETTAZIONE .....	4
2.1	LA NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	4
2.2	CONTENUTI DEL LAVORO .....	7
2.2.1	BASI DATI UTILIZZATE E SISTEMA INFORMATIVO .....	7
2.2.1.1	FONTI CARTOGRAFICHE TOPOGRAFICHE .....	7
2.2.1.2	FONTI MORFODIGITALI .....	7
2.2.1.3	FONTI CARTOGRAFICHE TEMATICHE .....	7
2.2.1.4	BASI ICONOGRAFICHE.....	7
2.2.1.5	BASI DI DATI GEOGRAFICI UTILIZZATE O CONSULTATE.....	8
2.2.1.6	PIANI DI AMBITO REGIONALE O NAZIONALE .....	8
2.2.1.7	STUDI GENERALI E DI SETTORE.....	9
3	CARATTERI GEOLOGICI DEL SETTORE INTERESSATO DAL PROGETTO....	10
3.1	STRATIGRAFIA DELL'AREA .....	11
3.1.1	Il Permo-Trias.....	11
3.1.2	La piattaforma carbonatica mesozoica .....	11
3.1.3	La successione del Cretaceo inferiore .....	12
3.1.4	Il Cretaceo superiore .....	13
3.1.4.1	Formazione di Punta Cristallo (IST) .....	14
3.1.4.2	Formazione di Grascioleddu (GXL).....	14
3.1.4.3	Formazione di Capo Caccia (POC).....	15
3.1.4.4	Formazione di Brunestica (BNT).....	15
3.1.4.5	Unità di Candelazzos (CZS).....	16
3.1.4.6	Piroclastiti di Monte San Pietro (UMP) .....	17
3.1.4.7	Piroclastiti di Monte Miale Ispina (UMM) .....	17
3.1.5	Depositi sedimentari Cenozoici.....	18
3.1.5.1	Subsistema di Portoscuso (PVM2b).....	19
3.1.6	Il Quaternario.....	19

3.2	MODELLO GEOLOGICO LOCALE.....	20
3.3	RELAZIONE GEOTECNICA DI BASE .....	21
3.4	INDAGINI GEOGNOSTICHE DISPONIBILI .....	21
3.5	MODELLO GEOTECNICO .....	22
3.6	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	23
3.6.1	NRR – DOLOMIE E CALCARI.....	23
3.6.2	KEU - MARNE GRIGIO-GIALLOGNOLE E SUBORDINATI CALCARI MARNOSI.....	23

## **INDICE DELLE FIGURE**

Inquadramento generale dell'area di progetto con l'area in rosso	4
Il settore di progetto sulla geologia drappeggiata su Google Earth	10
Rapporto tra le formazioni mesozoiche	13
Rapporti tra le formazioni cenozoiche	18
La geologia dell'area di dettaglio	20
La geotecnica dell'area di dettaglio	22

## 1 INTRODUZIONE

La presente relazione geotecnica si inserisce nell'ambito della Progettazione Definitiva dell'Impianto Agro-Voltaico per la produzione di Energia da Fonte Solare della Potenza di 20 Mw denominato Busia ed ubicato in comune di Sassari in località Tribuna.



Inquadramento generale dell'area di progetto con l'area in rosso

Allo scopo della realizzazione del progetto, le aree di intervento devono essere sottoposte a un'analisi geologica, geotecnica e sismica di base.

Ciò implica una parallela analisi dei pericoli naturali collegati ad acqua, e fenomeni franosi ed una rappresentazione dei risultati sulla cartografia disponibile più aggiornata (DBGT2022).

## 2 RIFERIMENTI PER LA PROGETTAZIONE

Le opere previste si sviluppano interamente nel territorio della Regione Sardegna e la normativa a cui si è fatto riferimento tiene conto di quanto previsto a livello nazionale.

### 2.1 LA NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il presente documento è redatto secondo quanto richiesto dalla normativa vigente ed in particolare, è conforme a quanto richiesto da:

- dal punto H del D.M. 11.3.1988 "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 e delle terre e delle opere di fondazione”;

- dal DM 17-01-2018 NTC2018;
- dagli Eurocodici EC7 ed EC8.

In particolare, il D.M. 17.01.2018 entrato in vigore a partire dal 01-07-2018 stabilisce le Norme Tecniche per le Costruzioni o meglio le norme per la progettazione ed il dimensionamento delle strutture.

Tale documento, come anche precisato dalla successiva Circolare Applicativa del 21.01.2019, con tutti gli ovvi risvolti sulle fasi preliminari della progettazione, è quindi riferito alla fase esecutiva della progettazione.

Per quanto riguarda la sfera attinente la professionalità del geologo vengono richiesti all'interno della progettazione 3 documenti:

- relazione geologica
- relazione geotecnica
- relazione sulla modellazione sismica del sito e pericolosità sismica di base.

La relazione geologica deve contenere le indagini, la caratterizzazione e modellazione geologica del sito in riferimento all'opera ed analizzare la pericolosità geologica del sito in assenza ed in presenza delle opere. La valenza di questo documento è fondamentale non solo per la progettazione esecutiva dell'opera ma per stabilire in fase di progettazione architettonica o preliminare se l'opera si “può fare” e quali saranno le problematiche relative alla stabilità dei terreni ed all'assetto idrogeologico dell'intorno.

La relazione geotecnica riguarda le indagini, la caratterizzazione e modellazione geotecnica del solo “volume significativo” e deve valutare l'interazione opera/terreno ai fini del dimensionamento.

La relazione sulla modellazione sismica deve valutare la pericolosità sismica di base del sito, tale documento riveste importanza per la valutazione della “pericolosità” e quindi va inserito non solo nel livello di progettazione definitivo ma già fin dal livello di progettazione preliminare. Dato che tale documento specie per la trattazione degli effetti di sito assume un carattere prettamente “geologico”, lo stesso può essere redatto in forma indipendente o essere inserito nella relazione geologica.

In particolare la normativa generale presa a riferimento è costituita da:

- Decreto Ministeriale 17.01.2018 “Norme Tecniche per le Costruzioni”.  
Testo Unitario - Norme Tecniche per le Costruzioni
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n. 7/ C.S.LL.PP., 21.01.2019,  
Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le Costruzioni”;
- Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita con prove in sito
- Decreto Ministeriale 2306.2022. “Criteri Ambientali Minimi”

Criteri ambientali minimi (CAM) per l'affidamento del servizio di progettazione di interventi edilizi, per l'affidamento dei lavori per interventi edilizi e per l'affidamento congiunto di progettazione e lavori per interventi edilizi. G.U. SERIE GENERALE Anno 163° n° 183 06/08/2022

- Leggi regionali in materia di pianificazione e di Vincolo Idrogeologico
- Piano di Assetto Idrogeologico (NTA agg. agosto 2023)
- Piano delle Fasce Fluviali
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni
- Ordinanze Autorità di Bacino nazionale, regionale o interregionale
- Piani Territoriali di coordinamento
- Piano Urbanistico di Sassari e relativi Regolamento edilizio e Norme Tecniche di Attuazione
- D.M. 11.03.1988 (pur obsoleto)

Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità e 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

## **2.2 CONTENUTI DEL LAVORO**

Lo studio è finalizzato al conseguimento delle autorizzazioni necessarie alla messa in opera ed è composto da una relazione geologica, tavole grafiche al 1:10.000.

I documenti prodotti sono frutto di materiali con precisione geometrica propria della scala 1:1.000 ed ove non possibile a scala maggiore, al 1:5.000.

Le carte illustrative sono prodotte alla scala 1:10.000, ma i loro contenuti sono propri almeno della scala 1:5.000 per il territorio e 1:2.000 per le aree di dettaglio.

### **2.2.1 BASI DATI UTILIZZATE E SISTEMA INFORMATIVO**

La base di dati utilizzata nel corso del presente lavoro è costituita da materiali di provenienza ufficiale e da materiali originali appositamente prodotti per lo stesso. Le basi informative, utilizzate nel Sistema Informativo della Geostudi, originariamente variamente georiferite, utilizzate in RDN2008 / UTM zone 32N con EPSG:7791, sono state:

#### **2.2.1.1 FONTI CARTOGRAFICHE TOPOGRAFICHE**

- Carta 1:50.000 La Marmora 1834-1839 (raster) (informatizzazione Geostudi)
- Carta 1:25.000 IGM 1888-1940
- Carta 1:25.000 USAF - IGM 1888-1943
- Carta 1:10.000, 1:4.000 e 1:2.000 EIRA 1953 (raster) (fonte R.A.S.)
- Carta 1:25.000 IGM 1950-1968
- Carta 1:25.000 IGM 1987-1994
- Carta 1:10.000 e 1:5.000 CASMEZ 1974 e AGENMEZ 1984 (raster) (fonte R.A.S.)
- Carta 1:10.000 CTR 1996 - 2000 (vettoriale) (fonte R.A.S.)
- Carta 1:10.000 CTR 2004 GEODB\_MP 10k (vettoriale) (fonte R.A.S.)
- Carta 1:10.000 CTR 2022 DBGT10k (vettoriale) (fonte R.A.S.)

#### **2.2.1.2 FONTI MORFODIGITALI**

- DTM a passo 10 m (fonte R.A.S. CNR)
- DTM e DSM a passo 1 m (fonte R.A.S. e CNR)

#### **2.2.1.3 FONTI CARTOGRAFICHE TEMATICHE**

- Carta della vegetazione forestale 1:25.000 (fonte R.A.S.)
- Carta dell'uso attuale del suolo 1:25.000 US2506 (fonte R.A.S.)
- Dati climatologici (termo, pluvio e anemo) dal 1921, localmente 2021 (fonte R.A.S. e ISTAT)
- Carta 1:10.000 aree L. R. 31/89, S.I.C./Z.S.C., Z.P.S., OPPF, IBA, (fonte R.A.S. 2023)
- Carta 1:10.000 aree D.Lgs. 42/04 e PPR (fonte R.A.S.)
- Carta 1:25.000 Geologica (fonte R.A.S., rielaborazione Geostudi)
- Carta 1:25.000 Idrogeologica (fonte R.A.S., rielaborazione Geostudi)
- Carta delle Acclività da DTM 10 m (fonte R.A.S. elaborazione Geostudi)
- Carta delle Esposizioni da DTM 10 m (fonte R.A.S. elaborazione Geostudi)
- Carta delle Fasce Altimetriche da DTM 10 m (fonte R.A.S. elaborazione Geostudi)

#### **2.2.1.4 BASI ICONOGRAFICHE**

- Immagini satellitari a varie date dal 1974 al 2022 (fonti varie elaborazione Geostudi)
- Ortofotocarta (ris. 1 m) 1953 EIRA (fonte R.A.S.)
- Ortofotocarta (ris. 1 m) 1954 IGM (fonte R.A.S.)
- Ortofotocarta (ris. 0.5 m) 1960 CBO (fonte elaborazione Geostudi.)
- Ortofotocarta (ris. 0.5 m) 1962 Cagliari (fonte elaborazione Geostudi.)
- Ortofotocarta (ris. 0.5 m) 1968 IGM (fonte R.A.S.)

- Ortofotocarta (ris. 0,5 m) 1977 ERSAT (fonte R.A.S.)
- Ortofotocarta (ris. 0,5 m) 1987/1994 Centri Urbani (fonte ISPRA)
- Ortofotocarta (ris. 1 m) 1998 AIMA (fonte R.A.S.)
- Ortofotocarta (ris. 1 m) 2000 Ferretti (fonte R.A.S.)
- Ortofotocarta (ris. 1 m) 2003 AGEA (fonte R.A.S.)
- Ortofotocarta (ris. 1 m) 2004 Nistri (fonte R.A.S.)
- Ortofotocarta (ris. 0,7 m) 2005 IKONOS (fonte R.A.S.)
- Ortofotocarta (ris. 0,5 m) 2006 Ferretti (fonte R.A.S.)
- Ortofotocarta (ris. 0,5 m) 2012 (fonte BING)
- Ortofotocarta (ris. 0,5 m) 2013 (fonte R.A.S.)
- Ortofotocarta (ris. 0,2 m) 2013 Centri Urbani (fonte R.A.S.)
- Ortofotocarta (ris. 0,2 m) 2016 (fonte R.A.S.)
- Ortofotocarta (ris. 0,2 m) 2019 (fonte R.A.S.)
- Ortofotocarta (ris. 0,2 m) 2022 coste (fonte Compucart)
- Aerofoto Voli vari raddrizzate b/n a 50 cm, 1m o 2 m rettificata (1943, 1954, 1960, 1965, 1968, 1973, 1987 e 1992, 1995, 1996 e 1998) (fonti varie elaborazione Geostudi)
- Immagini da Google (dal 2002 al 2023)

### **2.2.1.5 BASI DI DATI GEOGRAFICI UTILIZZATE O CONSULTATE**

- Catasto Grotte (fonte R.A.S.)
- Catasto Grotte (<https://www.catastospeleologicoregionale.sardegna.it/>)
- Censimento delle aree minerarie (fonte R.A.S.)
- Catasto Pozzi (CASMEZ Prog n° 25 (Ricerche Idriche Sotterranee in Sardegna - Ia e IIa Fase -informatizzazione Geostudi più dati originali Geostudi))
- Catasto opere di riforestazione dell'Isp. Rip. , ex .AFDRS e dei Rimboschimenti produttivi (fonte R.A.S.)
- Catasto Generale degli Scarichi nei Corpi Idrici (Fonte CEDOC R.A.S. – Pro.Ge.Mi.Sa.)
- Sistema Informativo Territoriale Aree Industriali (SITAI) (Fonte Osservatorio Industriale R.A.S.)
- Sistema Informativo Risorse Idriche Sotterranee (SIRIS) (fonte R.A.S. – Pro.Ge.Mi.Sa.) (2001)
- Piano di Risanamento delle aree minerarie Dismesse (PDR)
- Piano di Valorizzazione dei Compendi Minerari del Sulcis-Iglesiente-Guspinese
- Modulo regionale del sistema informativo nazionale ambiente (SINA-SIRA)
- Sistema informativo ambientale dell'area ad alto rischio del Sulcis-Iglesiente (SINA Q1-2)
- Sistema informativo compendi immobiliari dell'IGEA (SICI)
- Sistema informativo territoriale per la gestione delle Attività Estrattive (SITAE)
- Sistema Informativo Catastrofi Idrogeologiche (SICI)

### **2.2.1.6 PIANI DI AMBITO REGIONALE O NAZIONALE**

- Nuovo Piano Regolatore Generale degli Acquedotti (fonte R.A.S.)
- Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico (basi originali Geostudi e fonte R.A.S.) (2005)
- Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico aggiornamenti ( fonte R.A.S.) **(2023)**
- Piano Stralcio delle Fasce Fluviali ( fonte R.A.S.) (2013)
- Piano Gestione Rischio Alluvioni (fonte R.A.S.) **(2023)**
- Piano Regionale dell'Attività Estrattiva (fonte R.A.S.) (2007)
- Piano dello Smaltimento Reflui (fonte R.A.S.)
- Piano della Tutela delle Acque (fonte R.A.S.) (2006) (sostituito PGDI)
- Piano delle Risorse Idriche Multisetoriali (fonte R.A.S.)
- Piano (Stralcio Direttore di Bacino Reg.le) per l'Utilizzo delle Risorse Idriche (fonte R.A.S.)
- Piano Paesaggistico Regionale: Ambito Costiero (fonte R.A.S.) (05/09/2006)
- Piano Forestale Regionale Ambientale (fonte R.A.S.) (2006)
- Piano di Risanamento della Qualità dell'Aria (fonte R.A.S.)

- Piano Regionale Risanamento Acque (PRRA) (fonte R.A.S.) (1998)
- Piano di Bonifica dei Siti Contaminati (fonte R.A.S. - Pro.Ge.Mi.Sa.) (2003)
- Piano di Sviluppo Rurale (fonte R.A.S.) (2004)
- Piano di Gestione di Distretto Idrografico (fonte R.A.S.) (**3° ciclo 2022**)

#### **2.2.1.7 STUDI GENERALI E DI SETTORE**

- Studio sull'Irrigabilità dei Suoli della Sardegna (Fonte E.A.F. – R.A.S.) (1987)
- Studio SISS (1979-80) e nuovo SISS (1996) (Fonte R.A.S. – C.R.P. - UNICA)
- Progetto IFRAS (fonte R.A.S.)
- Progetto V.A.P.I. (C.N.R. – UNICA)
- Progetto S.C.A.I. (C.N.R. - UNICA)
- Progetto I.F.F.I. (ISPRA – R.A.S.)
- Progetto A.V.I. (Protezione Civile Nazionale - C.N.R. G.N.D.C.I.)
- Studio sulla sensibilità dei suoli alla desertificazione
- Studio sulla salinizzazione dei suoli costieri
- Indagine sull'effettivo utilizzo delle aree irrigue nelle diverse aree di intervento a Integrazione del piano stralcio di bacino regionale per l'utilizzo delle risorse idriche - CRAS (2006)
- Aspetti economici dell'agricoltura irrigua in Sardegna - Inea (2009)

### 3 CARATTERI GEOLOGICI DEL SETTORE INTERESSATO DAL PROGETTO

L'area è caratterizzata fondamentalmente dalla presenza di termini geologici che rimontano al periodo compreso tra il Mesozoico ed il Quaternario.



[Il settore di progetto sulla geologia drappaggiata su Google Earth](#)

Si tratta di formazioni chimiche e chimico-clastiche mesozoiche e quaternarie ospitate in una paleo valle scavata nell'originaria piattaforma carbonatica mesozoica che prosegue in mare con un paleo alveo che segna la morfologia del fondale fino almeno ai 200 m di profondità. Il settore in esame è parte integrante della propaggine meridionale della regione della Nurra.

Questa regione, in prevalenza pianeggiante, costituisce un alto strutturale che verso est delimita un semigraben miocenico (Bacino di Porto Torres) ben evidenziato sia dai dati sismo-stratigrafici off shore (Thomas & Gennessaux 1986) che da rilevamenti di terreno (Funedda et Al. 2000). I depositi miocenici del semi-graben trasgrediscono con rapporti di onlap questo alto strutturale nel quale i terreni più antichi affiorano progressivamente verso ovest. La trasgressione si realizza al disopra di vulcaniti oligo-aquitani e, talvolta, direttamente sopra le coperture carbonatiche mesozoiche, ad ovest delle quali, sulla costa, affiora il basamento metamorfico varisico. Verso sud la regione confina con il Mejlugu: un'area caratterizzata da plateaux ignimbrici miocenici variamente incisi. A ovest la Nurra è delimitata dal Bacino Ligure-Provenzale (Mar di Sardegna) e a nord dal Golfo dell'Asinara. L'attuale assetto strutturale che controlla la distribuzione e la giacitura dei terreni in affioramento, con molta probabilità si è delineato a partire dall'Oligocene-Miocene inferiore, anche se alcuni tratti strutturali che interessano le coperture mesozoiche possono essere riferiti alla tettonica pirenaica.

Il blocco della Nurra ha subito un tilting verso est che si materializza nell'immersione assiale delle strutture del basamento metamorfico ( assi di pieghe, lineazioni, scistosità) e della stratificazione delle coperture mesozoiche verso est e, quindi, in un drenaggio centrifugo rispetto alla costa. Per questo motivo, prevalgono alte falesie a reggipoggio nel "Mare di fuori, e litorali più bassi, anche se in prevalenza rocciosi, nei tratti di costa orientali che delimitano le penisole di Stintino e Capo Caccia.

## **3.1 STRATIGRAFIA DELL'AREA**

### **3.1.1 Il Permo-Trias**

I terreni più antichi sono costituiti da ruditi e areniti di ambiente lacustre e alluvionale con intercalazioni di vulcaniti acide. Si tratta dei classici sedimenti che interessano i bacini successivi al collasso dell'Orogene Varisico.

Vi si riconosce una successione basale, potente una decina di metri, caratterizzata dalle tipiche facies grigie autuniane sormontate, in discordanza, da conglomerati rossi, a quarzo prevalente, nella tipica facies saxo-turingiana. A questi seguono arenarie e conglomerati di ambiente fluviale nelle quali sono state individuate petrofacies correlabili con il Buntsandstein meso-europeo (Cassinis et al. 1996).

Lo spessore di queste successioni varia da pochi metri, nella zona di lu Capparoni, fino a diverse centinaia, nella zona di Cala del Vino, sulla costa. L'ottima esposizione dei terreni permo-triassici nell'area costiera tra Cala Viola e Porto Ferro ha consentito la loro suddivisione in tre cicli continentali principali ( Cassinis et al. 2003) suddivisi in ulteriori unità stratigrafiche. Il primo ciclo è costituito da terreni siltitici e arenacei con associazioni floristiche autuniane di ambiente lacustre e fluvio lacustre, la seconda da 700 metri di depositi fluviali costituiti da arenarie, siltiti e conglomerati con colorazione tipica dei red beds e ascrivibili al Permiano medio. Infine un orizzonte conglomeratico ad elementi quarzosi (Conglomerato di Porticciolo) fa passaggio ai depositi del Trias in facies Buntsandstein.

### **3.1.2 La piattaforma carbonatica mesozoica**

Sia i depositi clastici che le successive successioni carbonatiche ed evaporitiche del Trias presentano la tipica facies germanica.

L'instaurazione del margine passivo sud-europeo in una vasta regione che comprendeva la Sardegna e la Provenza-Linguadoca, portò alla formazione di un'ampia piattaforma carbonatica con episodi evaporitici la cui stratigrafia è così sintetizzabile:

- Calcari, dolomie e gessi, più o meno argillosi, del Trias medio e superiore. Si tratta di alternanze di calcari e dolomie per uno spessore che a Monte Santa Giusta e ad Alghero è esposto per almeno un'ottantina di metri. Sopra i termini calcareo dolomitici in facies di Muschelkalk poggiano gessi e dolomie , leggermente marnose, con intercalazioni di argilliti verdastre correlabili con la facies di Keuper.

Lo spessore del Keuper è difficilmente valutabile perché coinvolto in una tettonica eiettiva che tende a concentrare i gessi in zone di anticlinali (ad esempio a Cungiareddu) e ad espellerli nelle zone di sinclinale;

- Alla successione triassica fa seguito una potente successione di calcari e dolomie con intercalazioni marnose del Giurassico. E' questa la successione carbonatica più potente della regione.

A Monte Doglia essa è esposta per almeno 500 metri e il suo spessore complessivo è valutabile in almeno 800 metri. Al di là delle suddivisioni formazionali distinguibili nella successione, è importante una descrizione dei suoi caratteri litologici.

Nella parte inferiore della successione giurassica, dal Sinemuriano al Bajociano in continuità col Retico (in facies di Keuper), prevalgono calcari, spesso oolitici, con alternanze, anche fitte, di livelli marnosi mentre nella parte centrale prevalgono alternanze di calcari e dolomie del Bathoniano e Calloviano.

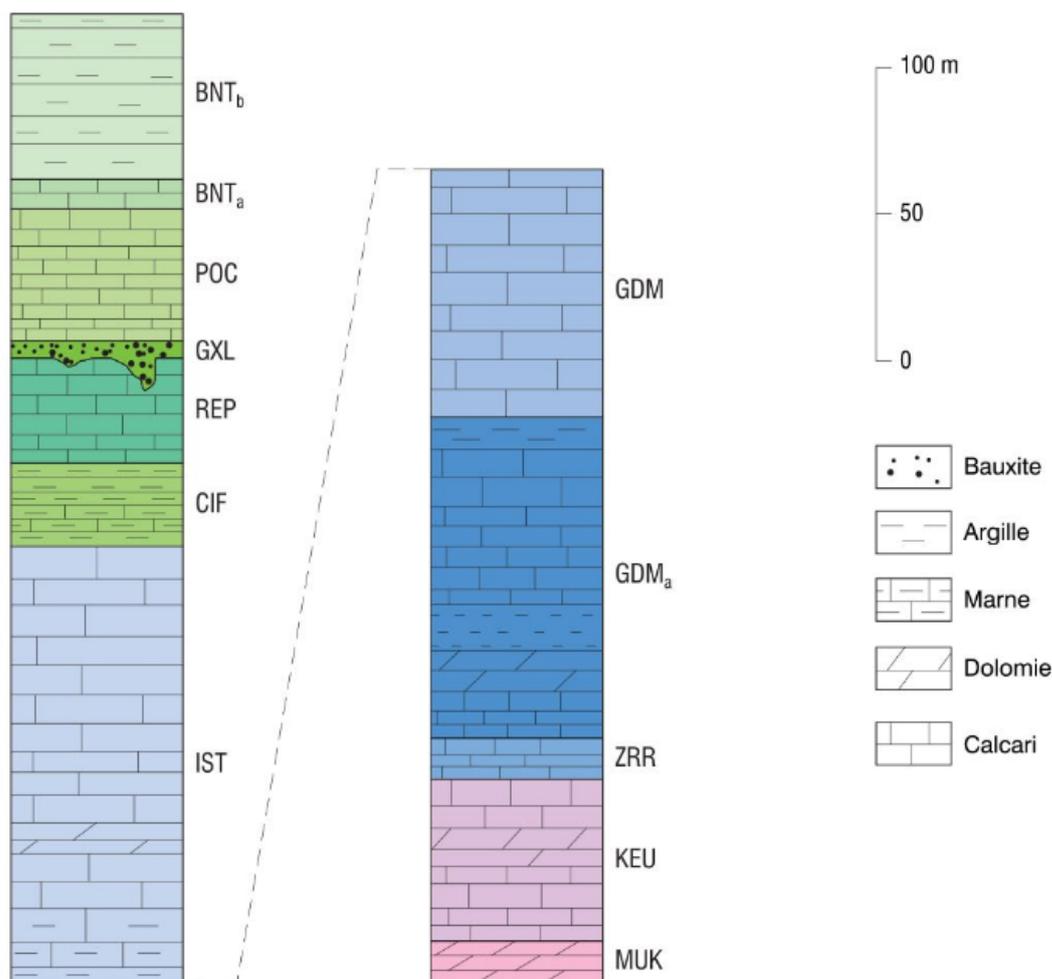
Segue una potente successione di dolomie dell'Oxfordiano-Kimmeridgiano sul quale poggiano calcari micritici, molto puri, del Portlandiano, a loro volta sormontati da marne e calcari marnosi di ambiente lagunare in facies Purbeckiana. Le marne purbeckiane affiorano a Cala d'Inferno presso nell'area del parco in una piccola insenatura sulla falesia occidentale di Capo Caccia.

### **3.1.3 La successione del Cretaceo inferiore**

La penisola di Capo Caccia è il sito che offre la più potente esposizione del Cretaceo inferiore. Nella Nurra questi terreni poggiano sulle marne in facies purbeckiana e sono costituiti da:

- Calcari ben stratificati con strati pluri-decimetrici con abbondante componente organogena (ostreidi, dasicladacee, ecc.) riferibile al Barremiano;
- Calcari dolomitici (50% di dolomite in alcuni campioni), giallastri per la presenza di limonite; hanno componente allochimica organogena, oolitica e intraclastica cementata da calcite spatica. Questo litotipo dovrebbe far passaggio ai calcari in facies Urganiana;
- Calcari bioclastici in facies Urganiana caratterizzati dalla presenza di sporadiche rudiste del genere *Toucasia* (Valanginiano-Aptiano). Affiorano solamente a Capo Caccia e a Nalvonazzos, presso Uri, sotto le vulcaniti terziarie. La loro purezza e l'aspetto massiccio mal stratificato favoriscono il carsismo superficiale. La potenza esposta a Capo Caccia supera i 200 metri.

LOG DELLA SUCCESSIONE SEDIMENTARIA MESOZOICA



Rapporto tra le formazioni mesozoiche

### 3.1.4 Il Cretaceo superiore

I primi terreni trasgressivi sulla paleosuperficie meso-cretacica - in gran parte costituita da bauxite - sono in genere rappresentati da calcari bioclastici, ad ippuritidi, del Coniaciano-Santoniano. Solo a Punta del Frara sopra la bauxite si rinviene un calcare nerastro di ambiente palustre ricco di carofite attribuite alla specie *Munieria grambasti* subsp. Sarda.

I calcari del Cretaceo superiore sono biomicriti e biospariti con intercalazioni di bioherme a rudiste e almeno nella loro parte basale sono stati attribuiti al Coniaciano. Hanno aspetto massivo o grossolanamente stratificato in banchi di spessore superiore al metro, affiorano soprattutto nella parte meridionale della Nurra. A Capo Caccia la loro potenza è variabile ma, facilmente, supera i 100 metri. Costituendo il tetto della bauxite, la loro presenza in affioramento indica la possibilità di rinvenire, sotto di essi, giacimenti di tale minerale.

Ai calcari coniaciani localmente fanno seguito marne e calcari marnosi più o meno arenacee da grigie a giallastre spesso glauconiosi, che si trovano solo localmente intercalati nei calcari del Cretaceo superiore.

Affiorano diffusamente intorno a Olmedo, e nell'incisione del riu Su Mattone, a nord-ovest di Mamuntanas, con spessore di una ventina di metri. La loro presenza non si riscontra nella'area del parco, anche se questa unità stratigrafica affiora nell'area vasta intorno allo stagno di Calich dove fa passaggio a calcareniti e breccie ricche di glauconite.

#### **3.1.4.1 Formazione di Punta Cristallo (IST)**

Calcari, calcari dolomitici, calcari bioclastici, calcari selciferi, calcari marnosi e marne, con intercalazioni di arenarie quarzose, mediamente fratturati, a luoghi con cavità evidenti. A luoghi si presenta estremamente fratturato. Al tetto è presente in maniera discontinua una fascia di alterazione costituita da clasti carbonatici e ghiaie immersi in matrice argillosa.

Giurassico superiore (Oxfordiano - Titoniano)

#### **3.1.4.2 Formazione di Grascioleddu (GXL)**

È costituita da un orizzonte bauxitico di potenza variabile. Affiora nella regione di Grascioleddu, dove è presente un'importante attività estrattiva in sottterraneo.

La formazione bauxitica, vero e proprio giacimento, corrisponde alla lacuna di sedimentazione mesocretacica. In affioramento di colore da bianco a rossastro (fig.17), mostra spessori variabili da nulli ai 4 m. Il letto delle bauxiti è talvolta costituito da argille rosso-giallastre, oppure da breccie carbonatiche rossastre monogeniche a cemento ferruginoso bauxitico, alle quali seguono argille con lignite e bauxiti argillose oolitiche pisolitiche e conglomeratiche.

Essa deriva dall'evoluzione pedogenetica di tipo ferralitico di depositi alluvionali antichi.

La sua genesi può essere definita come un deposito di alteriti trasportate, che in un clima caldo-umido hanno subito una pedogenesi di tipo ferralitico fino ad una bauxitizzazione totale o parziale, come attualmente si rinviene nelle fasce tropicali o subtropicali, contesto questo riconducibile alle condizioni climatiche della Nurra al limite tra il Cretacico inferiore e superiore.

Il limite inferiore, sempre visibile, è discordante sulla successione giurassico-cretacica inferiore.

Il limite superiore, osservabile solo in sottterraneo (miniera di Olmedo) a causa della cattiva condizione di affioramento, è marcato da calcari compatti micritici a Characeae (Munieria grambasti sarda, CHERCHI et alii, 1981b), di spessore variabile, che segnano l'avvio della trasgressione marina del Cretacico superiore, e per i quali è stata attribuita un'età turoniana superiore (MEDUS, 1992; cfr. comunicazione epistolare in CHERCHI & SCHRÖEDER, 1987, p. 48). Questi livelli in precedenza erano stati attribuiti al Coniaciano inferiore da FILIGHEDDU & OGGIANO (1984).

Numerosi fattori quali la paleomorfologia, il carsismo, etc. concorrono a determinare la differente tipologia delle alteriti, ed a controllarne l'estensione laterale e gli spessori (SANNA & TEMUSSI, 1986; OGGIANO et alii, 1987; COMBES et alii, 1993; MC LEAN et alii, 1997; MAMELI et alii, 2007).

L'età è definita in base al letto e al tetto della formazione.

Lo spessore complessivo della formazione, estremamente variabile, può arrivare in alcuni casi a circa 17 m (misurati in tasche carsiche).

Cretacico inferiore-superiore (Albiano-Turoniano)

### **3.1.4.3 Formazione di Capo Caccia (POC)**

Affiora al tetto dei livelli bauxitici (formazione di Graxioleddu, GXL) in regione Sos Labidazzos, a Brunestica, presso l'abitato di Olmedo e nei dintorni di M. Nurra. È costituita da una successione carbonatica rappresentata principalmente da wackstone e bioclasti. Il wackstone di colore avana chiaro, riconducibile ad ambienti protetti a bassa energia, contiene abbondanti miliolidi mentre il grainstone (calcareniti, calciruditi) rappresenta ambienti a maggiore energia e contiene abbondanti frammenti di rudiste (boundstone a rudiste: fig.18), echinodermi e colonie di chetetidi.

Nella Nurra questa formazione affiora sopra un basamento eterocrono (Giurassico, Cretacico inferiore) a causa dell'erosione legata alla lacuna stratigrafica mesocretacica.

A Capo Caccia la successione stratigrafica è stata studiata da vari autori, tra cui PECORINI, 1965; CHERCHI & SCHRÖEDER, 1985, 1987; CHERCHI et alii, 2010; PHILIP & ALLEMANN, 1982; CARANNANTE & SIMONE, 2002; CARANNANTE et alii, 1995.

Sopra un basamento del Barremiano inferiore (formazione di Mal Repos), mostrante un paleokarst con tasche riempite di bauxite (formazione di Graxioleddu), segue in netta discordanza la breccia basale della formazione di Capo Caccia (POC), comprendente frammenti di calcari a Munieria e di pisoliti bauxitiche.

Questi elementi sono contenuti in micriti a miliolidi e *Dicyclina* sp. Un livello situato circa 5 m sopra la base della formazione di Capo Caccia, caratterizzato da *Orbitolinopsis senonicus* (Gendrot, 1968) può essere attribuito al Coniaciano.

La successione prosegue con calcari micritici e bioclastici del Coniaciano-Santoniano.

Le microfaune attribuite al Coniaciano contengono: *Flabellocyclolina laevigata* (Gendrot, 1964), *Martiguesia cyclamminiformis* (Maync, 1959), "*Choffatella*" *rugoretis* (Gendrot, 1968), *Dictyopsella kiliani* (Schlumberger, 1889), *Rotalia reicheli* (Hottinger, 1966).

Superiormente si incontrano associazioni microfaunistiche indicanti il Santoniano: *Pseudocyclamina sphaeroidea* (Gendrot, 1968), *Broeckinella neumannae* (Gendrot, 1968), *Lamarmorella sarda* (Cherchi & Schröder, 1973), *Vidalina hispanica* (Schlumberger, 1900), *Nummofallotia cretacea* (Schlumberger, 1900), *Rotalia reicheli* (Hottinger, 1966). La successione termina con calcari bioclastici e bioerme a rudiste: *Hippurites canaliculatus* (Rolland Du Roquand, 1841), *Vaccinites fortisi* (Catullo, 1834) e radiolitidi. La presenza di *Vaccinites chaperi* (Douvillé, 1879), presente negli ultimi metri, permette di confermare il Santoniano.

Lo spessore è di circa 40-50 m.

Cretacico superiore (Coniaciano-Santoniano)

### **3.1.4.4 Formazione di Brunestica (BNT)**

Questa formazione oltre che nella regione omonima affiora presso Graxioleddu, Binzas Bezzas e lungo il Riu Sassu.

A Graxioleddu (presso l'abitato di Olmedo) si distingue sopra la formazione di Graxioleddu la seguente successione (BNTa), dal basso verso l'alto:

Alternanza di calcari bioclastici a rudiste e foraminiferi bentonici (circa 30 m). Alla base di questa successione si rinviene un conglomerato rimaneggiante elementi bauxitici e purbeckiani (fino a 1,5 m di spessore). Tra le rudiste è stato possibile determinare (PHILIP et alii, 1978; ALLEMANN, 1978): *Vaccinites praegiganteus* (Toucas, 1904), *V. giganteus* (D'Hombres Firmas, 1838), *Hippurites* gr. *Canaliculatus* (Rolland Du Roquand, 1841), *Biradiolites lumbricalis* (D'Orbigny,

1842), *B. cf. angulosus* (D'Orbigny, 1842), *Radiolites* sp. Le rudiste presenti indicano un'età compresa tra il Turoniano superiore (?) ed il Coniaciano.

Calcari bioclastici nocciola, micriti e biocalcareniti grossolane (circa 10 m). Alla sommità ALLEMANN (1978) ha rinvenuto *Vaccinites giganteus*. La ricca microfauna a foraminiferi di questi due livelli (a e b) è rappresentata da *Choffatella rugoretis* (Gendrot, 1968), *Flabellocyclolina laevigata* (Gendrot, 1964), *Pseudocyclammina sphaeroidea* (Gendrot, 1968), *Valvulammina picardi* (Henson, 1948), *Pseudolituonella mariae* (Gendrot, 1968), *Dictyopsella kiliani* (Schlumberger, 1900), *Orbitolinopsis senonicus* (Gendrot, 1968), *Cuneolina conica* (D'Orbigny, 1850), *Nummoloculina irregularis* (Decrouez & Radoicic, 1977), *Dicyclina schlumbergeri* (Munier-Chalmas, 1887). Le faune a macroforaminiferi (soprattutto *Orbitolinopsis senonicus* nell'unità (b), e la presenza di *Vaccinites giganteus* nei primi metri della stessa unità) permettono di attribuire un'età coniaciana.

Calcareniti marnose glauconitiche giallo-verdastre a foraminiferi planctonici e bentonici (circa 30 m). J. Sigal (in PHILIP et alii, 1978) e G. Tronchetti (in ALLEMANN, 1978) avevano determinato: *Globotruncana canaliculata* (Reuss, 1854), *G. concavata* (Brotzen, 1934, forma primitiva), *G. gr. linneana* (D'Orbigny, 1839), *G. mariei* (Gandolfi, 1955), *G. marginata* (Reuss, 1845), *G. longilocula* (Gandolfi, 1955), *Planomalina cf. ehrenbergi* (Barr, 1962), *Heterohelix reussi* (Cushman, 1938), *Globigerinelloides asper* (Ehrenberg, 1854), *Hedbergella delrioensis* (Carsey, 1926), *H. cf. flandrini* (Porthault, 1970), *Whiteinella archaeocretacea* (Pessagno, 1967), *Rugoglobigerina pilula* (Belford, 1960), *Marginotruncana gr. lapparenti* (Brotzen, 1936), *M. coronata* (Bolli, 1945), *Gavelinella pugetensis* (Porthault, 1970), *Bolivinita eleyi* (Cushman, 1927), *Sigalia deflaensis* (Sigal, 1952).

L'elenco dei foraminiferi planctonici determinati da J. Sigal è da revisionare.

La distribuzione di *Dicarinella concavata* (Brotzen, 1934), (= ex *Globotruncana concavata*) arriva sino al Santoniano inferiore. La presenza di *Sigalia deflaensis* conferma comunque l'età santoniana. A Graxioleddu la successione stratigrafica BNTa è ricoperta dalle ignimbriti oligo-mioceniche.

In direzione ENE, in località Brunestica, la successione mostra livelli superiori appartenenti all'unità BNTb. Si tratta di calcari biosparitici biancastri, talora nodulari (circa 30 m di spessore), mostranti un ambiente deposizionale più aperto caratterizzato da elevata energia, con ricche faune a rudiste. PHILIP et alii (1978) avevano riconosciuto *Vaccinites giganteus* var. *major* (Toucas, 1904), cf. *Hippuritella toucasi* (D'Orbigny, 1847), cf. *H. praetoucasi* (Toucas, 1903), *Hippurites socialis* var. *irregularis* (Toucas, 1903). Questa associazione, in particolare *V. giganteus* var. *major*, indica il Santoniano.

Notevole è l'interesse paleogeografico di questa successione in quanto mostra l'approfondimento del bacino sedimentario da W (formazione di Capo Caccia: POC) verso E (formazione di Brunestica: BNT).

In sondaggi effettuati nella Nurra orientale, sotto la coltre ignimbratica è stata riconosciuta una successione emipelagica del Santoniano-Campaniano (SANNA & TEMUSSI, 1986).

Cretacico superiore (Coniaciano-Campaniano)

### **3.1.4.5 Unità di Candelazzos (CZS)**

Depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica, pomiceo-cineritici, prevalentemente non saldati, di colore grigio-violaceo.

Burdigaliano p.p.

### **3.1.4.6 Piroclastiti di Monte San Pietro (UMP)**

Affiorano soprattutto lungo i versanti del rilievo di M. Miale Ispina (E e SE di Olmedo) e altri limitrofi quali il piccolo rilievo di M. S. Pietro. L'affioramento è formato da ignimbriti non saldate di colore prevalentemente grigio-biancastro, rosate se debolmente alterate nella matrice. Si presentano massive, con litici di dimensioni fino a 10-15 cm di ignimbriti e subordinatamente andesiti e ancora più raramente di litotipi del basamento paleozoico, in percentuale stimabile intorno a 1%, pomici fino a 20-30 cm e cristalli di plagioclasio e biotite (che a volte raggiungono i 5 mm di dimensione), immersi in matrice cineritica.

Lungo il bordo meridionale del lago del Cuga si osserva una concentrazione di litici mediamente di 7-8 cm, ma anche la presenza di alcuni blocchi di 20-30 cm, verosimilmente interpretabili come relativi a ground layer. Qualche volta (zona di M. S. Pietro e, più a S, di M. S'incantu) alla base del prodotto di flusso si sono osservati depositi di caduta di spessore metrico, contenenti frustoli carboniosi; più raramente sono state riscontrate strutture di degassazione.

A N di Olmedo, oltre il rio Su Mattone, le ignimbriti si presentano invece costituite prevalentemente da ceneri fini con pomici e litici di piccole dimensioni, massive e litificate per effetto di feldspatizzazione, come determinato su base diffrattometrica; poiché non si osservano affioramenti più a N di questa zona, tali depositi possono essere interpretati derivanti da ash-cloud.

In sezione sottile mostrano cristalli liberi di plagioclasio, biotite e ossidi, litici di andesiti, ignimbriti e metamorfiti, in matrice a tessitura vitroclastica con frammenti vetrosi delle tre principali morfologie (cuspidate, piatte, pumice), poco o nulla devetrificata.

Lo spessore dei depositi è variabile, raggiungendo il centinaio di metri a M. Miale Ispina (SE di Olmedo).

L'età radiometrica determinata nell'ambito del Progetto CARG con il metodo  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  su plagioclasio è di  $19,13 \pm 0,48$  Ma.

Burdigaliano p.p.

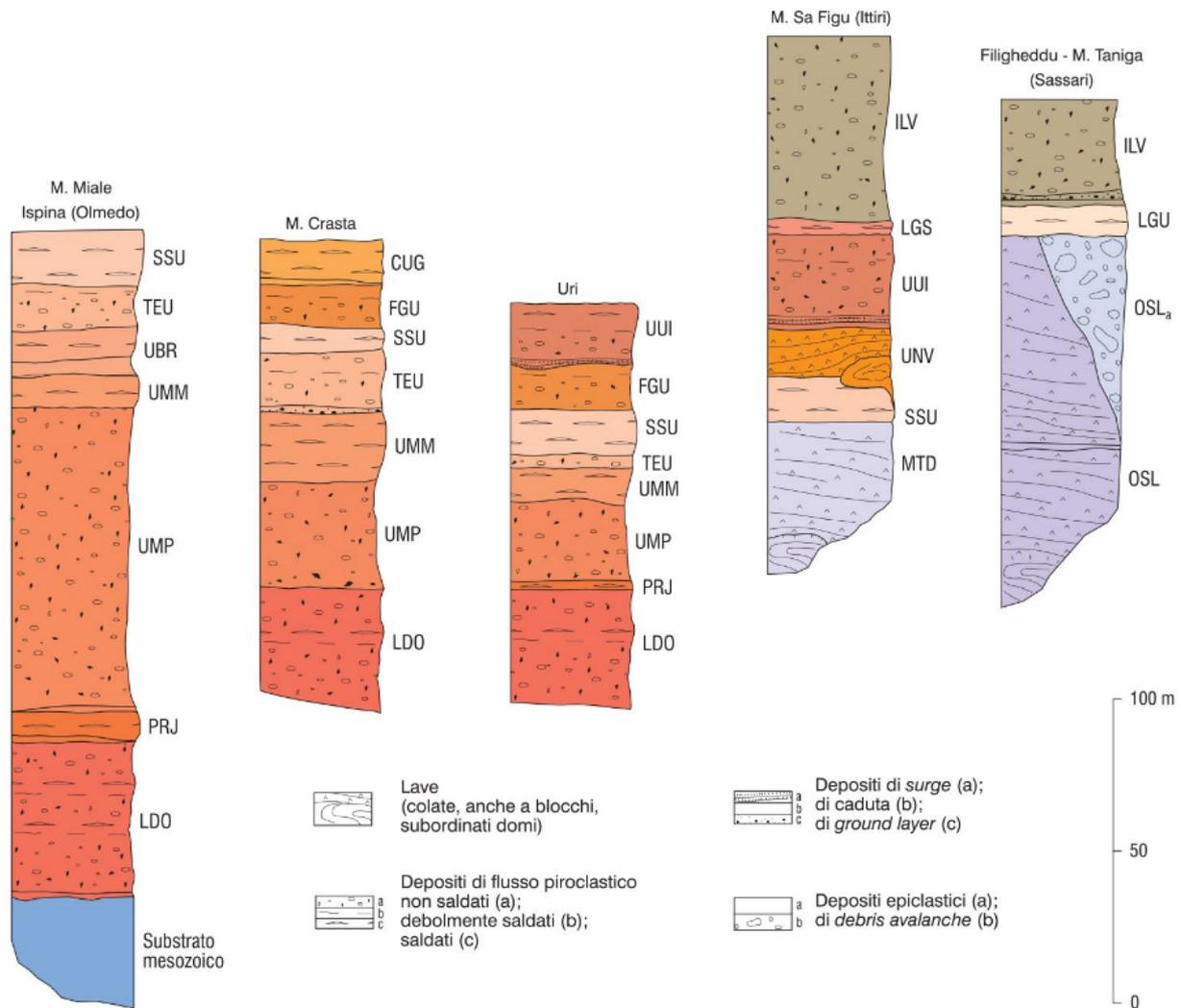
### **3.1.4.7 Piroclastiti di Monte Miale Ispina (UMM)**

Sono depositi vulcanici che si ritrovano verso la sommità di una serie di rilievi tra Uri e Olmedo (M. Miale Ispina, M. Su Bandito e, più a S, M. Crasta), costituiti da ignimbriti saldate caratterizzate da affioramenti di colore tipicamente rossastro e da una sorta di peculiare "cariatura". Al taglio fresco le ignimbriti hanno colore violaceo e più raramente nerastro, mostrano marcata tessitura eutassitica evidenziata da fiamme chiare che raggiungono i 20-30 cm (all'erosione delle quali è probabilmente connessa la "cariatura"); gli altri componenti sono litici in genere di piccole dimensioni (2-3 cm al massimo) e numerosi cristalli di plagioclasio e più raramente di pirosseno.

Localmente le ignimbriti mostrano strutture reomorfiche, come si può osservare nei fronti di scavo del serbatoio del sistema irriguo della Nurra di Olmedo (loc. Padru Salari, sull'altopiano di M. Miale Ispina). In sezione sottile si osservano cristalli liberi di plagioclasio, biotite, clinopirosseno (quasi sempre molto alterato) e ossidi, litici di andesiti e ignimbriti; la tessitura è più o meno marcatamente eutassitica. La devetrificazione della componente juvenile è più o meno avanzata, caratterizzata da sferuliti o, più raramente, da porzioni a tessitura granofirica.

Rispetto alle sottostanti piroclastiti di Monte San Pietro i rapporti stratigrafici sono di evidente disconformità, come si può osservare lungo i versanti del rilievo di M. Miale Ispina - M. Su Suerzu. Lo spessore varia da 10 a circa 30 m.

Burdigaliano p.p.



Rapporti tra le formazioni cenozoiche

### 3.1.5 Depositi sedimentari Cenozoici

Si tratta di depositi sia marini, legati alla trasgressione Burdigaliana, che continentali.

I depositi marini miocenici non interessano l'area del parco. Mentre I sedimenti continentali più antichi sono costituiti da un deposito lacustre che affiora nell'immediato entroterra del settore più orientale della spiaggia di di Porto Conte. Si tratta dell'unico bacino dell'Oligocene superiore presente nella Sardegna nord-occidentale a prevalente sedimentazione marnoso-arenacea contenente una ricca paleoflora a carofite e numerosi gasteropodi tra cui *Planorbis declivis* e *Lymnea pachygaster* (Pecorini 1962)

Intorno a Monte Zirra e al lago di Baratz affiorano alluvioni con argille ocracee e violette ricche di rizoliti. La loro età non è univoca, viene riferita sia al Miocene superiore .

Depositi travertinoidi e sabbie più o meno cementate, potenti fino ad un massimo di 10 metri. Affiorano tra Olmedo e le tenute Sella e Mosca (Pleistocene);

Eolianiti pre-tirreniane (PVM1). Si tratta di arenarie con discreta diagenesi dovuta ad un cemento carbonatico secondario. Affiorano lungo la costa a sud di Alghero, nell'area tra Mamuntanas e l'aeroporto e all'interno del parco le migliori esposizioni sono nelle scogliere permiane del "Mare di fuori" tra Cala viola e Porto Ferro.

Arenarie eoliche post-tirreniane più o meno rielaborate in ambiente alluvionale. Affiorano in prevalenza intorno ai rilievi mesozoici costieri (Monte Doglia, Monte Murone, ecc.).

### **3.1.5.1 Subsistema di Portoscuso (PVM2b)**

È rappresentato da depositi formanti la Litofacies nel Subsistema di Portoscuso (SINTEMA DI PORTOVESME). Si tratta prevalentemente di sabbie e arenarie eoliche con subordinati detriti e depositi alluvionali. PLEISTOCENE SUP.

Lo spessore dei depositi è di qualche metro e la superficie basale sembra essere anch'essa debolmente inclinata a suggerire la presenza di antichi pediment modellati poco prima dell'aggradazione. Dato che notoriamente i pediment sono tipici di condizioni climatiche aride e costituiscono superfici di equilibrio che garantivano il trasporto dei sedimenti dal versante alla pianura (THOMAS, 1997), è verosimile che essi si siano modellati durante la fase iniziale dell'ultima glaciazione, caratterizzata da una generale aridità in tutto il bacino del Mediterraneo (CREMASCHI & TROMBINO, 1998; ROSE et alii, 1999; D'OREFICE et alii, 2007).

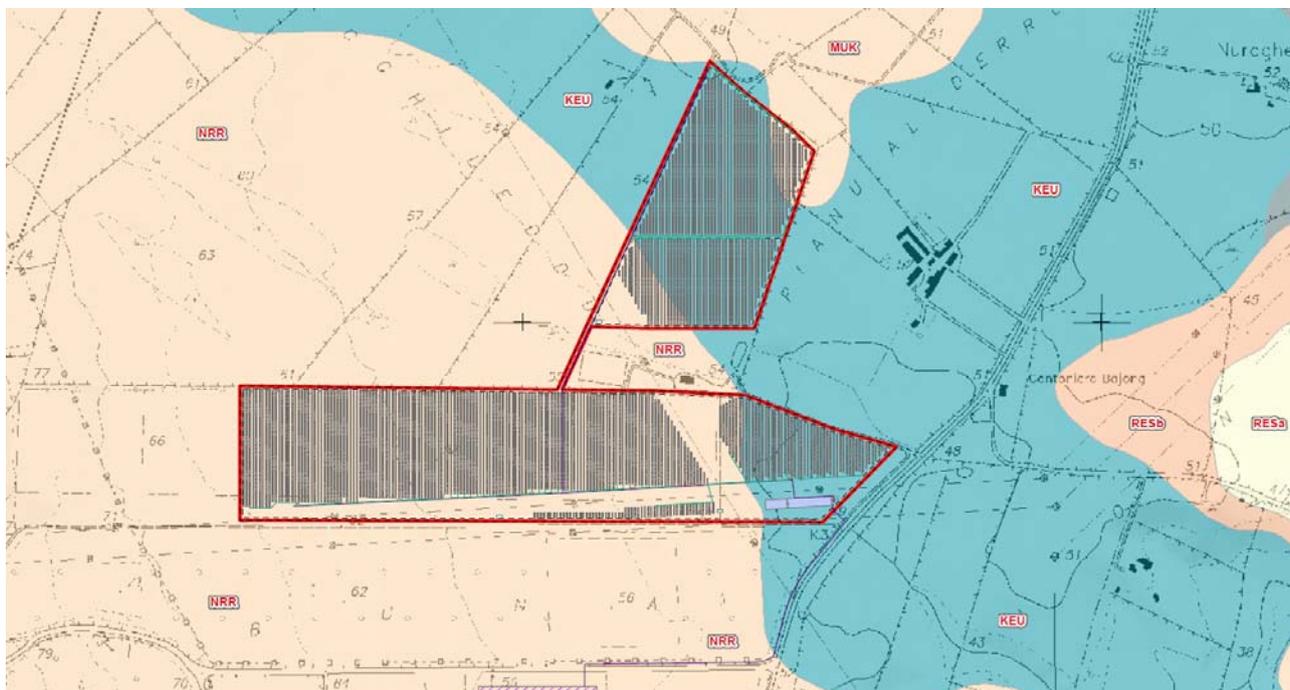
### **3.1.6 Il Quaternario**

In superficie, completano la descrizione della stratigrafia 2 formazioni:

- bc ,Depositati alluvionali. Limi ed argille. OLOCENE
- b2 ,Coltri eluvio-colluviali. Detriti immersi in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti, arricchiti in frazione organica. OLOCENE.

### 3.2 MODELLO GEOLOGICO LOCALE

Il modello geologico dell'area di progetto ricade in un'area caratterizzata dalla presenza di un substrato roccioso calcareo-dolomitico o calcareo-siltitico (NRR e KEU marginalmente MUK) a poca profondità, talora sub-affiorante.



La geologia dell'area di dettaglio

In superficie, i terreni calcarei e sabbiosi sono mascherati da una coltre eluvio-colluviale di modesto spessore, costituita da detriti immersi in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti.

Di seguito viene descritto più in dettaglio il modello geologico del tracciato riferito principalmente alle opere d'arte maggiori.

Il modello geologico risulta piuttosto semplice e vede, per le profondità di riferimento, i suoli poggianti sui calcari calcari oolitici, oncolitici e bioclastici, marne e calcari marnosi; calcari grigio-bluastri con lenti di selce della formazione della Nurra (NRR), e nell'area orientale le marne grigio-giallognole con subordinati calcari marnosi talvolta intercalate da sottili strati di argille varicolori ricche in gesso.

Tali formazioni risultano mediamente compatte a tratti sciolte con trovanti litoidi per tutta la profondità possibilmente riscontrabile delle opere di fondazione dell'impianto.

La falda è stata riscontrata ad alcuni m dal piano campagna per circa tutto il settore investigato.

### **3.3 RELAZIONE GEOTECNICA DI BASE**

Le informazioni geologiche disponibili sull'area del tracciato proposto ed anche delle alternative sono congrue con lo stesso e rendono almeno in tale fase, non necessario approfondire una parte del tracciato.

Pur tuttavia, rimane scoperta da informazioni dirette la tratta del percorso, peraltro non interessato da proposte alternative, comunque da investigare.

### **3.4 INDAGINI GEOGNOSTICHE DISPONIBILI**

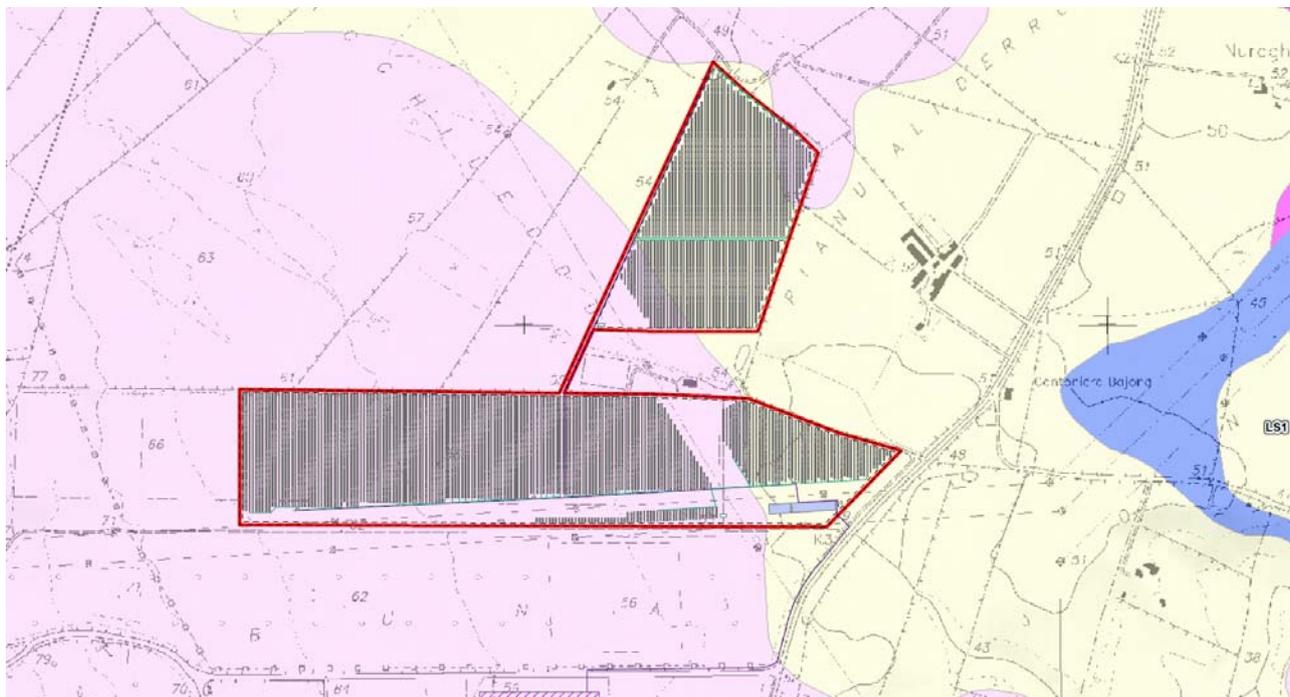
In particolare, i dati geognostici presi in esame sono riferibili alle seguenti campagne d'indagine:

- Prove penetrometriche eseguite appositamente nell'anno 2023.
- Prove sismiche eseguite appositamente 2023.

I relativi rapporti di prova sono allegati.

### 3.5 MODELLO GEOTECNICO

Il modello geotecnico dell'area di progetto è costituito dalla presenza di un substrato roccioso calcareo-dolomitico o calcareo-siltitico (NRR e KEU) a poca profondità, talora sub-affiorante.



La geotecnica dell'area di dettaglio

In superficie, i terreni calcarei e sabbiosi sono mascherati da una coltre eluvio-colluviale di modesto spessore, costituita da detriti immersi in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti.

Di seguito viene descritto più in dettaglio il modello geologico del tracciato riferito principalmente alle opere d'arte maggiori.

Il modello geologico risulta piuttosto semplice e vede, per le profondità di riferimento, i suoli poggianti sui calcari calcari oolitici, oncolitici e bioclastici, marne e calcari marnosi; calcari grigio-bluastri con lenti di selce della formazione della Nurra (NRR), e nell'area orientale Le marne grigio-giallognole con subordinati calcari marnosi talvolta intercalate da sottili strati di argille varicolori ricche in gesso.

Tali formazioni risultano mediamente compatte a tratti sciolte con trovanti litoidi per tutta la profondità possibilmente riscontrabile delle opere di fondazione dell'impianto.

La falda è stata riscontrata ad alcuni m dal piano campagna per circa tutto il settore investigato.

### 3.6 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Sulla base della vasta mole di dati provenienti da indagini geognostiche e dalle prove di laboratorio effettuate nell'area e dalle indagini puntuali operate sul sedime del progetto, è possibile attribuire al substrato, le caratteristiche seguenti

#### 3.6.1 NRR – DOLOMIE E CALCARI

La caratterizzazione geomeccanica dell'unità è stata eseguita a partire dai valori della resistenza a compressione uniassiale  $\sigma_{ci}$ , ottenuta sui campioni indisturbati di roccia intatta, dalle caratteristiche delle superfici dei giunti e dalla spazatura (valore dell'indice GSI) nonché dal valore dell'indice  $m_i$  associato al tipo di roccia. In particolare, è stato assunto un intervallo di  $\sigma_{ci}$  pari a  $32 \div 60$  MPa e un valore di  $m_i$  pari a 8 ( $8 \pm 3$ ), ricavato da dati di letteratura per rocce sedimentarie (calcare micritico – Hoek et al.).

Il GSI è stato determinato qualitativamente (abaco di Hoek e Marinos, 2000), sulla base delle sole indagini geotecniche considerando per l'ammasso una struttura di tipo "Very Blocky" e per le superfici delle condizioni di tipo "Fair/Poor". Per l'unità in esame è stato quindi assunto un intervallo del GSI pari a  $30 \div 45$ .

Il calcolo dei parametri Hoek Brown, utilizzati per la definizione dell'ammasso calcareo, viene eseguito assegnando un indice di classificazione GSI=35.

Per l'unità geotecnica NRR si considerano i seguenti parametri geotecnici:

$\gamma = 24 \div 25$  kN/m<sup>3</sup> peso dell'unità di volume;

$c' = 100 \div 200$  kPa coesione;

$\varphi = 35^\circ - 38^\circ$  angolo di attrito;

$E = 500$  MPa modulo Elastico;

$\nu = 0,15$  coefficiente di Poisson.

Coesione efficace = 250,0 kPa; Modulo Young = 100 MPa;  $V_p = 3000$  m/s;  $V_s = 950$  m/s

#### 3.6.2 KEU - MARNE GRIGIO-GIALLOGNOLE E SUBORDINATI CALCARI MARNOSI

La caratterizzazione geomeccanica dell'unità è stata eseguita a partire dai valori della resistenza a compressione uniassiale  $\sigma_{ci}$ , ottenuta sui campioni indisturbati di roccia intatta, dalle caratteristiche delle superfici dei giunti e dalla spazatura (valore dell'indice GSI) nonché dal valore dell'indice  $m_i$  associato al tipo di roccia. In particolare, è stato assunto un intervallo di  $\sigma_{ci}$  pari a  $20 \div 25$  MPa e un valore di  $m_i$  pari a 8 ( $8 \pm 3$ ), ricavato da dati di letteratura per rocce sedimentarie (calcare micritico – Hoek et al.).

Il GSI è stato determinato qualitativamente (abaco di Hoek e Marinos, 2000), sulla base delle sole indagini geotecniche considerando per l'ammasso una struttura di tipo "Very Blocky" e per le superfici delle condizioni di tipo "Fair/Poor". Per l'unità in esame è stato quindi assunto un intervallo del GSI pari a  $20 \div 25$ .

**COMUNE DI SASSARI – PROVINCIA DI SASSARI**  
**IMPIANTO AGRO-VOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE DELLA**  
**POTENZA DI 20 MW DENOMINATO "BUSIA" DA REALIZZARSI NEL COMUNE DI SASSARI (SS)**

---

Quindi il calcolo dei parametri Hoek-Brown, utilizzati per la definizione dell'ammasso calcareo, viene eseguito assegnando un indice di classificazione GSI =20:

Per l'unità geotecnica KEU si considerano i seguenti parametri geotecnici:

$\gamma = 23 \div 24 \text{ kN/m}^3$  peso dell'unità di volume;

$c' = 40 \text{ kPa}$  coesione;

$\varphi = 25 \div 33^\circ$  angolo di attrito;

$E = 265 \text{ MPa}$  modulo Elastico;

$\nu = 0,15$  coefficiente di Poisson.

# PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

FTV BUSIA

**PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE**  
**(DYNAMIC PROBING)**  
**DPSH – DPM (... scpt ecc.)**

**Note illustrative - Diverse tipologie di penetrometri dinamici**

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi  $\delta$ ) misurando il numero di colpi N necessari.

Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M
- altezza libera caduta H
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura  $\alpha$ )
- avanzamento (penetrazione)  $\delta$
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente) :

- tipo LEGGERO (DPL)
- tipo MEDIO (DPM)
- tipo PESANTE (DPH)
- tipo SUPERPESANTE (DPSH)

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	peso della massa M (kg)	prof.max indagine battente (m)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	$M \geq 60$	25

**penetrometri in uso in Italia**

In Italia risultano attualmente in uso i seguenti tipi di penetrometri dinamici (non rientranti però nello Standard ISSMFE):

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)  
 massa battente M = 30 kg, altezza di caduta H = 0.20 m, avanzamento  $\delta$  = 10 cm, punta conica ( $\alpha=60-90^\circ$ ), diametro D 35.7 mm, area base cono  $A=10 \text{ cm}^2$  rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)  
 massa battente  $M = 20$  kg, altezza di caduta  $H=0.20$  m, avanzamento  $\delta = 10$  cm, punta conica ( $\alpha = 60-90^\circ$ ), diametro  $D = 35.7$  mm, area base cono  $A=10$  cm<sup>2</sup> rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;

- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)  
 massa battente  $M = 73$  kg, altezza di caduta  $H=0.75$  m, avanzamento  $\delta=30$  cm, punta conica ( $\alpha = 60^\circ$ ), diametro  $D = 50.8$  mm, area base cono  $A=20.27$  cm<sup>2</sup> rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;

- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)  
 massa battente  $M=63.5$  kg, altezza caduta  $H=0.75$  m, avanzamento  $\delta=20-30$  cm, punta conica conica ( $\alpha = 60^\circ-90^\circ$ ) diametro  $D = 50.5$  mm, area base cono  $A = 20$  cm<sup>2</sup>, rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.

### Correlazione con N<sub>spt</sub>

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi N<sub>spt</sub> ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con N<sub>spt</sub>. Il passaggio viene dato da:

$$N_{spt} = \beta_t N$$

Dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui  $Q$  è l'energia specifica per colpo e  $Q_{spt}$  è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

- $M$  = peso massa battente;
- $M'$  = peso aste;
- $H$  = altezza di caduta;
- $A$  = area base punta conica;
- $\delta$  = passo di avanzamento.

### Valutazione resistenza dinamica alla punta R<sub>pd</sub>

Formula Olandesi

$$R_{pd} = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

- $R_{pd}$  = resistenza dinamica punta (area  $A$ );
- $e$  = infissione media per colpo ( $\delta/N$ );
- $M$  = peso massa battente (altezza caduta  $H$ );
- $P$  = peso totale aste e sistema battuta.

### Metodologia di Elaborazione.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*.

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini 1983 - Meyerhof 1956 - Desai 1968 - Borowczyk-Frankowsky 1981.

Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e delle resistenze alla punta.

## Valutazioni statistiche e correlazioni

### Elaborazione Statistica

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Dynamic Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono :

#### **Media**

Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### **Media minima**

Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### **Massimo**

Valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### **Minimo**

Valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### **Scarto quadratico medio**

Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### **Media deviata**

Valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### **Media + s**

Media + scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### **Media - s**

Media - scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

## Pressione ammissibile

Pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 mt. ed immersione  $d = 1$  mt..

## Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

### **Liquefazione**

Permette di calcolare utilizzando dati  $N_{spt}$  il potenziale di liquefazione dei suoli (prevalentemente sabbiosi).

Attraverso la relazione di *SHI-MING (1982)*, applicabile a terreni sabbiosi, la liquefazione risulta possibile solamente se  $N_{spt}$  dello strato considerato risulta inferiore a  $N_{spt}$  critico calcolato con l'elaborazione di *SHI-MING*.

### **Correzione $N_{spt}$ in presenza di falda**

$N_{spt} \text{ corretto} = 15 + 0.5 \times (N_{spt} - 15)$

$N_{spt}$  è il valore medio nello strato

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda).

#### **Angolo di Attrito**

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956 - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 mt.; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 mt. per terreni sopra falda e < 8 mt. per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)
- Meyerhof 1956 - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).
- Sowers 1961 - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 mt. sopra falda e < 7 mt. per terreni in falda)  $\sigma > 5$  t/mq.
- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38°.
- Malcev 1964 - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m. e per valori di angolo di attrito < 38°).
- Schmertmann 1977 - Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da Dr %.
- Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION) Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda)  $\sigma > 15$  t/mq.
- Shioi-Fukuni 1982 (JAPANESE NATIONAL RAILWAY) Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose.
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda)  $\sigma > 15$  t/mq.
- Meyerhof 1965 - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 mt. e con % di limo > 5% a profondità < 3 mt.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

#### **Densità relativa (%)**

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie Dr viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Meyerhof (1957).
- Schultze & Menzenbach (1961) per sabbie fini e ghiaiose NC, metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

#### **Modulo Di Young ( $E_y$ )**

- Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici.
- Schultze-Menzenbach, correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970), correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia.
- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

#### **Modulo Edometrico**

- Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia.
- Buisman-Sanglerat, correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.
- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

#### **Stato di consistenza**

- Classificazione A.G.I. 1977

#### **Peso di Volume Gamma**

- Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

#### **Peso di volume saturo**

- Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948-1967. Correlazione valida per peso specifico del materiale pari a circa  $\gamma = 2,65$  t/mc e per peso di volume secco variabile da 1,33 (Nspt = 0) a 1,99 (Nspt = 95)

#### **Modulo di poisson**

- Classificazione A.G.I.

**Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)**

- Seed-Idriss 1978-1981 . Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio  $\tau$  e la tensione verticale di consolidazione per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie e terreni sabbio-ghiaiosi attraverso grafici degli autori.

**Velocità onde di taglio  $V_s$  (m/sec)**

- Tale correlazione è valida solamente per terreni incoerenti sabbiosi e ghiaiosi.

**Modulo di deformazione di taglio ( $G$ )**

- Ohsaki & Iwasaki – elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite.
- Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

**Modulo di reazione ( $K_0$ )**

- Navfac 1971-1982 - elaborazione valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso .

**Resistenza alla punta del Penetrometro Statico ( $Q_c$ )**

- Robertson 1983  $Q_c$

**Correlazioni geotecniche terreni coesivi****Coesione non drenata**

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA 1983.
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con  $N_{spt} < 8$  , argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948).  $C_u$  min-max.
- Sanglerat , da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi , tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività  $> 5$  , per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
- Sanglerat , (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche  $< 10$  colpi, per resistenze penetrometriche  $> 10$  l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche " di Sanglerat.
- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità , ( $C_u$ - $N_{spt}$ -grado di plasticità).
- Schmertmann 1975  $C_u$  (Kg/cmq) (valori medi), valida per **argille e limi argillosi** con  $N_c=20$  e  $Q_c/N_{spt}=2$ .
- Schmertmann 1975  $C_u$  (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC .
- Fletcher 1965 - (Argilla di Chicago) . Coesione non drenata  $C_u$  (Kg/cmq), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità .
- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.
- Shioi-Fukuni 1982 , valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann.
- De Beer.

**Resistenza alla punta del Penetrometro Statico ( $Q_c$ )**

- Robertson 1983  $Q_c$

**Modulo Edometrico-Confinato ( $M_0$ )**

- Stroud e Butler (1975) - per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità ( $IP < 20$ ), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ( $IP < 20$ ) - da esperienze su argille glaciali .
- Vesic (1970) correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).
- Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato - $M_0$  (Eed) (Kg/cmq)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto  $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$ ).
- Buisman- Sanglerat, valida per argille compatte ( $N_{spt} < 30$ ) medie e molli ( $N_{spt} < 4$ ) e argille sabbiose ( $N_{spt}=6-12$ ).

**Modulo Di Young ( $E_y$ )**

- Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P.  $> 15$

- D'Appollonia ed altri (1983) - correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

#### *Stato di consistenza*

- Classificazione A.G.I. 1977

#### *Peso di Volume Gamma*

- Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

#### *Peso di volume saturo*

- Correlazione Bowles (1982), Terzaghi-Peck (1948-1967), valida per condizioni specifiche: peso specifico del materiale pari a circa  $G=2,70$  (t/mc) e per indici dei vuoti variabili da 1,833 ( $N_{spt}=0$ ) a 0,545 ( $N_{spt}=28$ )



**PROVA ...DPL\_BUSIA 1**

Strumento utilizzato...  
 Prova eseguita in data  
 Profondità prova  
 Falda non rilevata

Penny 20 10cmq 90°  
 27/02/2023  
 ,50 mt

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,10	9	0,857	17,42	20,34	0,87	1,02
0,20	35	0,705	55,73	79,10	2,79	3,95
0,30	41	0,653	60,48	92,66	3,02	4,63
0,40	46	0,651	67,65	103,95	3,38	5,20
0,50	58	0,649	85,05	131,07	4,25	6,55

**STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPL\_CURRELI****TERRENI COESIVI****Coesione non drenata (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Terzaghi-Peck	Sanglerat	Terzaghi-Peck (1948)	U.S.D.M. S.M	Schmertm ann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begemann	De Beer
Strato 1	6,88	0,20	0,43	0,86	0,25	0,28	0,67	0,61	0,62	0,95	0,34	1,21	0,86
Strato 2	31,36	0,50	2,12	3,92	0,00	1,17	3,12	2,78	2,53	3,24	1,57	5,54	3,92

**Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)**

Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	6,88	0,20	Robertson (1983)
Strato 2	31,36	0,50	Robertson (1983)

**Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
Strato 1	6,88	0,20	31,57	--	71,96	86,00
Strato 2	31,36	0,50	143,88	--	321,65	313,60

**Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
Strato 1	6,88	0,20	58,72	68,80
Strato 2	31,36	0,50	340,24	313,60

**Classificazione AGI**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato 1	6,88	0,20	Classificaz. A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
Strato 2	31,36	0,50	Classificaz. A.G.I. (1977)	ESTREM. CONSISTENTE

**Peso unità di volume**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	6,88	0,20	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	1,41
Strato 2	31,36	0,50	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	1,69

**Peso unità di volume saturo**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	6,88	0,20	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	1,88
Strato 2	31,36	0,50	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	2,05

**TERRENI INCOERENTI****Densità relativa**

	Nspt	Prof. Strato	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze	Skempton 1986
--	------	--------------	--------------------	---------------	----------	---------------

		(m)			&Menzenbach (1961)	
Strato 1	6,88	0,20	33,11	65,18	63,09	25,67
Strato 2	31,36	0,50	69,07	100	67,33	64,86

**Angolo di resistenza al taglio**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornbur n-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
Strato 1	6,88	0,20	6,88	28,97	21,97	29,93	0	32,45	0	<30	25,16	29,06	35,83	26,73
Strato 2	31,36	0,50	31,36	35,96	28,96	36,78	0	39,96	42	32-35	36,69	36,41	49,06	40,04

**Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
Strato 1	6,88	0,20	6,88	---	55,04	---	---	---
Strato 2	31,36	0,50	31,36	399,72	250,88	370,75	415,20	231,80

**Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
Strato 1	6,88	0,20	6,88	---	41,60	48,85	68,68
Strato 2	31,36	0,50	31,36	188,16	91,88	222,66	177,87

**Classificazione AGI**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato 1	6,88	0,20	6,88	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO
Strato 2	31,36	0,50	31,36	Classificazione A.G.I. 1977	ADDENSATO

**Peso unità di volume**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	6,88	0,20	6,88	Meyerhof ed altri	1,62
Strato 2	31,36	0,50	31,36	Meyerhof ed altri	2,15

**Peso unità di volume saturo**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	6,88	0,20	6,88	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,90
Strato 2	31,36	0,50	31,36	Terzaghi-Peck 1948-1967	2,50

**Modulo di Poisson**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
Strato 1	6,88	0,20	6,88	(A.G.I.)	0,34
Strato 2	31,36	0,50	31,36	(A.G.I.)	0,29

**Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
Strato 1	6,88	0,20	6,88	398,33	406,14
Strato 2	31,36	0,50	31,36	1657,70	1026,11

**Velocità onde**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità (m/s)
Strato 1	6,88	0,20	6,88	Ohta & Goto (1978) Limi	61,238
Strato 2	31,36	0,50	31,36	Ohta & Goto (1978) Limi	101,391

**Modulo di reazione Ko**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko (Kg/cm <sup>3</sup> )
Strato 1	6,88	0,20	6,88	Navfac 1971-1982	1,07
Strato 2	31,36	0,50	31,36	Navfac 1971-1982	4,55

**Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	6,88	0,20	6,88	Robertson 1983	10,72
Strato 2	31,36	0,50	31,36	Robertson 1983	45,90

**PROVA ...DPL\_BUSIA 2**

Strumento utilizzato...  
 Prova eseguita in data  
 Profondità prova  
 Falda non rilevata

Penny 20 10cmq 90°  
 05/07/2023  
 ,40 mt

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,10	30	0,757	51,29	67,80	2,56	3,39
0,20	45	0,655	66,57	101,69	3,33	5,08
0,30	49	0,653	72,28	110,73	3,61	5,54
0,40	49	0,651	72,06	110,73	3,60	5,54

**STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPL\_UNALI****TERRENI COESIVI****Coesione non drenata (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Terzaghi-Peck	Sanglerat	Terzaghi-Peck (1948)	U.S.D.M. S.M	Schmertm ann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begemann	De Beer
Strato 1	22,95	0,10	1,55	2,87	1,00	0,88	2,28	2,03	1,92	2,37	1,15	4,09	2,87
Strato 2	34,42	0,40	2,32	4,30	0,00	1,27	3,43	3,05	2,74	3,58	1,72	6,10	4,30

**Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)**

Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	22,95	0,10	Robertson (1983)
Strato 2	34,42	0,40	Robertson (1983)

**Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
Strato 1	22,95	0,10	105,30	--	235,87	229,50
Strato 2	34,42	0,40	157,92	--	352,86	344,20

**Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
Strato 1	22,95	0,10	243,53	229,50
Strato 2	34,42	0,40	375,43	344,20

**Classificazione AGI**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato 1	22,95	0,10	Classificaz. A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE
Strato 2	34,42	0,40	Classificaz. A.G.I. (1977)	ESTREM. CONSISTENTE

**Peso unità di volume**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	22,95	0,10	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	1,59
Strato 2	34,42	0,40	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	1,69

**Peso unità di volume saturo**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	22,95	0,10	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	1,99
Strato 2	34,42	0,40	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	2,05

**TERRENI INCOERENTI****Densità relativa**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
--	------	------------------	--------------------	---------------	------------------------------	---------------

Strato 1	22,95	0,10	61,85	100	69,91	55,36
Strato 2	34,42	0,40	72,18	100	68,27	67,69

**Angolo di resistenza al taglio**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornbur n-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
Strato 1	22,95	0,10	22,95	33,56	26,56	34,43	0	37,92	42	30-32	33,55	33,88	46,35	36,42
Strato 2	34,42	0,40	34,42	36,83	29,83	37,64	0	40,56	42	32-35	37,72	37,33	49,88	41,24

**Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
Strato 1	22,95	0,10	22,95	341,95	183,60	271,51	352,12	189,75
Strato 2	34,42	0,40	34,42	418,77	275,36	406,86	438,15	247,10

**Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
Strato 1	22,95	0,10	22,95	137,70	74,60	162,95	140,36
Strato 2	34,42	0,40	34,42	206,52	98,16	244,38	191,51

**Classificazione AGI**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato 1	22,95	0,10	22,95	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato 2	34,42	0,40	34,42	Classificazione A.G.I. 1977	ADDENSATO

**Peso unità di volume**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	22,95	0,10	22,95	Meyerhof ed altri	2,05
Strato 2	34,42	0,40	34,42	Meyerhof ed altri	2,17

**Peso unità di volume saturo**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	22,95	0,10	22,95	Terzaghi-Peck 1948-1967	2,46
Strato 2	34,42	0,40	34,42	Terzaghi-Peck 1948-1967	2,50

**Modulo di Poisson**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
Strato 1	22,95	0,10	22,95	(A.G.I.)	0,31
Strato 2	34,42	0,40	34,42	(A.G.I.)	0,29

**Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
Strato 1	22,95	0,10	22,95	1236,09	847,91
Strato 2	34,42	0,40	34,42	1809,32	1086,18

**Velocità onde**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità (m/s)
Strato 1	22,95	0,10	22,95	Ohta & Goto (1978) Limi	65,984
Strato 2	34,42	0,40	34,42	Ohta & Goto (1978) Limi	96,559

**Modulo di reazione Ko**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko (Kg/cm <sup>3</sup> )
Strato 1	22,95	0,10	22,95		---
Strato 2	34,42	0,40	34,42		---

**Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	22,95	0,10	22,95		---
Strato 2	34,42	0,40	34,42		---