

Comune di : PATTADA
 Provincia di: SASSARI
 Regione: SARDEGNA



Provincia di Sassari



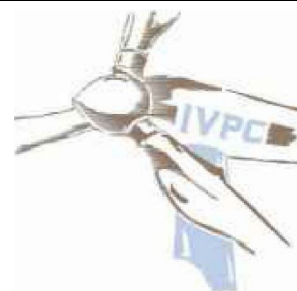
Regione Autonoma
 della Sardegna



PROPONENTE



IVPC Power 8 S.p.A.
 Società Unipersonale
 Sede legale : 80121 Napoli (NA) - Vico Santa Maria a Cappella Vecchia 11
 Sede Operativa : 83100 Avellino - Via Circumvallazione 108
 Indirizzo email ivpcpower8@pec.ivpc.com
 P.I. 02523350449
 Amministratore Unico : Avv. Oreste Vigorito
 Società del Gruppo IVPC



OPERA

PROGETTO IMPIANTO EOLICO DI PATTADA

OGGETTO

TITOLO ELABORATO

RELAZIONE GEOLOGICA, SISMICA, GEOTECNICA

DATA: APRILE 2024

N°/CODICE ELABORATO

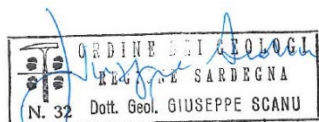
SCALA:

RG 01

Folder:

Tipologia:

Lingua: ITALIANO



N° REVISIONE

DATA

OGGETTO DELLA REVISIONE

ELABORAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA, SISMICA, GEOTECNICA

INDICE

1. PREMESSA	4
1.1 L'incarico di redazione dello studio e aspetti metodologici.....	4
2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	6
3 IL PROGETTO	10
3.1 Le opere in programma.....	10
3.2 Le problematiche geologiche e geotecniche.....	19
3.3 La pericolosità geomorfologica e idraulica.....	20
4. LA GEOLOGIA	24
4.1 Il contesto geologico di riferimento.....	25
5 LA GEOMORFOLOGIA	33
5.1. Premessa.....	33
5.2 Rilievi montani e collinari su rocce metamorfiche e granitoidi paleozoiche (Catena del Goceano).....	33
5.3 Rilievi collinari e superfici a deboli ondulazioni dell'alta valle del Fiume Tirso.....	35
5.4 Idrografia e processi torrentizi.....	35
6. IDROGEOLOGIA	37
7 I CARATTERI LITOLGICI E STRATIGRAFICI LOCALI	40
7.1 Le indagini espletate.....	40
7.2 La stratigrafia e le acque.....	40
8. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO	44
8.1 Premessa.....	44
8.2 La classificazione sismica.....	44
8.3 La sismicità storica.....	47
8.4 La pericolosità sismica di base.....	47
8.5 La vita nominale.....	48
8.6 Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche.....	49
8.7 Periodo di riferimento per l'azione sismica.....	50
8.8 Determinazione dei parametri di risposta.....	50
9 LA GEOTECNICA	54
9.1 Il modello geotecnico.....	54
9.2. Introduzione.....	54
9.3 Generalità.....	54
9.4 Calcolo della capacità portante (NTC 2018).....	56
10 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	63

PARTE I

INTRODUZIONE

1. PREMESSA

1.1 L'incarico di redazione dello studio e aspetti metodologici

Il presente studio geologico, sismico e geotecnico è stato eseguito dalla società Servizi e Progetti (in sigla Ser.Pro) SrLS di Sassari, Via Giagu -9, P. IVA 02649730906, nell'ambito del Progetto per la realizzazione di un campo eolico che interessa principalmente il comune di Pattada e solo per quanto concerne il trasporto dell'energia in cavidotto sotterraneo, anche quelli di Bultei e Benetutti. Si tratta di un intervento che ricade interamente in provincia di Sassari, con ubicazione degli aerogeneratori in comune di Pattada e centrale elettrica in comune di Benetutti, il cui collegamento tramite cavidotto deve necessariamente comprendere una vasta area del comune di Bultei.

Il parco eolico, denominato appunto Pattada Benetutti e Bultei, si compone di tre parti sostanziali. N. 5 aerogeneratori, dell'altezza complessiva di 180 m con altezza al mozzo di 101 m capaci di una potenza da 6,1 MW (6.100 kW), per una potenza complessiva pari quindi a 30,5 MW da realizzare in comune di Pattada, all'interno dei terreni di proprietà comunale, nei rilievi meridionali compresi tra il confine con il territorio di Bultei e la strada di circonvallazione sud che unisce i due tratti della S. S. 128bis, dalla Stazione di Pattada, ovvero dall'ex distributore della zona artigianale fino all'incrocio in prossimità del ponte sul Rio Molinu, grazie alla quale viene dato di escludere l'attraversamento del centro abitato per coloro che devono raggiungere le regioni più interne dall'area di Ozieri.

L'incarico per la redazione del presente studio è stato affidato dal proponente del progetto: la società IVPC SrL, del gruppo IVPC, uno dei principali gruppi a livello nazionale nel settore delle energie rinnovabili con un'esperienza ventennale nello sviluppo, progettazione, costruzione, gestione e manutenzione di parchi eolici e fotovoltaici. Nato nel 1993 da un'idea di Oreste Vigorito, uno dei pionieri nel settore delle fonti rinnovabili, il Gruppo IVPC ha sviluppato fino ad oggi parchi eolici per un totale di circa 1300 MW, costituiti da circa 1200 turbine distribuite su sette regioni italiane. Attualmente, in virtù di varie operazioni societarie susseguitesesi negli anni, il Gruppo IVPC detiene la titolarità di 271.8 MW e gestisce sia l'esercizio che la manutenzione di parchi eolici per circa 500 MW. La qualità del modello di sviluppo del Gruppo IVPC è riconosciuta da Organismi Terzi a livello internazionale attraverso le certificazioni ISO90001, ISO14001, OHSAS18001 ed è sinonimo di garanzia del rispetto e della tutela che il Gruppo pone nei confronti di tutte le popolazioni interessate dalla sua presenza sul territorio e dei suoi stessi lavoratori.

Lo studio fa riferimento alla redazione del Progetto definitivo occorso per la realizzazione del campo e per i Fattibilità Tecnico Economica degli interventi di difesa da rischio idrogeologico sopra indicati e tiene pertanto conto del livello di approfondimento cui deve approdare un progetto di fattibilità, destinato a supportare un appalto integrato e quindi a inquadrare l'area sotto il profilo geologico, morfologico e idrogeologico e fornire gli spunti per i successivi approfondimenti di livello definitivo-esecutivo cui dovranno provvedere i soggetti che parteciperanno alla gara d'appalto.

Lo studio è stato svolto all'interno dello staff Ser.Pro ed è stato redatto dal Prof. Giuseppe Scanu, iscritto all'Ordine Regionale dei Geologi con il n. 32.

Dal punto di vista metodologico, lo studio si basa su:

- Analisi della letteratura scientifica sul Paleozoico sardo con particolare riferimento alla Catena del Goceano;
- Studio della bibliografia specializzata sulla geologia e la lito-stratigrafia della zona;
- Rilievo geologico dell'area interessata dagli interventi in programma;
- Rilievo degli aspetti geomorfologici e idrogeologici della zona;
- Esecuzione di indagini geognostiche e di prove di laboratorio sui terreni provenienti dai terreni di sedime degli interventi;
- Redazione delle cartografie di riferimento geologico, geomorfologico e dei bacini idrografici;
- Analisi dei dati e stesura della relazione geologica finale;
- Analisi dei dati di sismicità relativi al livello nazionale e regionale;

- Verifica dei dati di sismicità disponibili per la Sardegna;
- Esecuzione di prove sismiche per la valutazione dei diversi coefficienti;
- Stesura della relazione sismica;
- Elaborazione dei dati geotecnici dedotti dalle prove di laboratorio;
- Simulazione e calcolo dei comportamenti geotecnici dei terreni sottoposti al carico dell'aerogeneratore;
- Elaborazioni e sintesi conclusiva delle analisi effettuate;
- Stesura e completamento del report finale.

1.2 Normativa di riferimento

La redazione dello studio ha tenuto conto, principalmente dei contenuti delle seguenti disposizioni normative.

- Legge n. 64 del 2 Febbraio 1974: *Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche*;
- D.M. LL.PP. del 11 Marzo 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*;
- Circolare Ministero LL.PP. 24 Settembre 1988 n. 30483: *Legge 2 Febbraio 1974, n. 64; D.M. LL. PP. 11 Marzo 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. Istruzioni per l'applicazione*;
- Circolare Ministero LL.PP. 9 Gennaio 1996 n. 218/24/3: *Legge 2 Febbraio 1974, n. 64; D.M. LL. PP. 11 Marzo 1988. Istruzioni applicative per la redazione della relazione geologica e della relazione geotecnica*;
- D.M. LL.PP. 16 Gennaio 1996: *Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche*;
- 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 decreto ministeriale 16 gennaio 1996*;
- Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20 Marzo 2003 e succ. modifiche ed integrazioni: *Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*;
- *Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006*
- Eurocodice 7, parte 1 - *Regole generali* e 8: parte 5 - *Fondazioni, strutture di contenimento e aspetti geotecnici*;
- D.M. 17 gennaio 2018: *Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni*;
- Piano stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI). - Norme di attuazione testo coordinato per l'assetto Idrogeologico (PAI) – all. 2 alla delib. G.R. n. 2/8 del 20/01/2022;
- D.L. 3 aprile 2006, n. 152 e ss.mm.ii. - "Norme in materia ambientale".
- D.P.R. n. 120 del 13.06.2017: Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo;
- Linee guida Ispra per le terre e rocce da scavo del Consiglio del Sistema Nazionale per la Protezione dell'ambiente.
- Progetto di variante generale di revisione del piano di assetto idrogeologico della Regione Autonoma della Sardegna di cui all'art. 37, comma 1 delle Norme di Attuazione" del PAI per quanto concerne il Sub Bacino 2 – Tirso presentato ufficialmente in webinar il giorno 26 gennaio e disponibile al link: [Delibera del Comitato Istituzionale n.18 del 27/12/2022 - Autorità di Bacino \(regione.sardegna.it\)](#)

- PUC vigente dei comuni di Pattada, Benetutti e Bultei;

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Le figure da 1 a 3 inquadrano direttamente la posizione e l'articolato sviluppo territoriale del parco eolico in progetto, unitamente all'area geografica di riferimento. Come si osserva, si tratta di un intervento che ricade interamente in provincia di Sassari, con ubicazione degli aerogeneratori in comune di Pattada e centrale elettrica in comune di Benetutti, il cui collegamento tramite cavidotto deve necessariamente comprendere una vasta area del comune di Bultei. Nella figura 1 è altresì riportato l'inquadramento nella cartografia IGM.

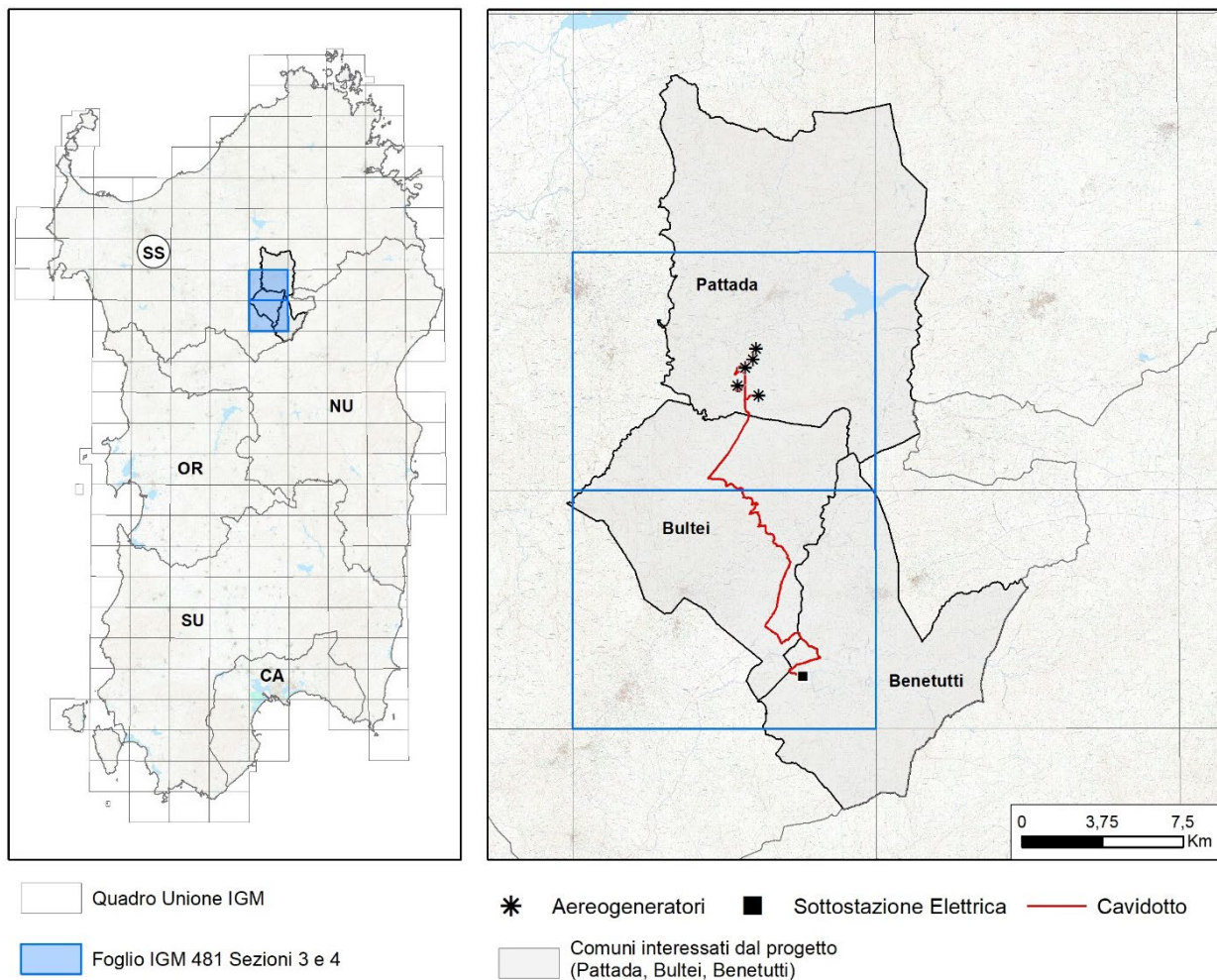


Fig. 1 Inquadramento territoriale e cartografico dell'intervento in progetto

Il parco eolico denominato Pattada Benetutti e Bultei si compone di tre parti sostanziali. N. 5 aerogeneratori, dell'altezza complessiva di 180 m con altezza al mozzo di 101 m capaci di una potenza da 6,1 MW (6.100 kW), per una potenza complessiva pari quindi a 30,5 MW da realizzare in comune di Pattada, all'interno dei terreni di proprietà comunale, nei rilievi meridionali compresi tra il confine con il territorio di Bultei e la strada di circoscrizione sud che unisce i due tratti della S. S. 128bis, dalla Stazione di Pattada, ovvero dall'ex distributore della zona artigianale fino all'incrocio in prossimità del ponte sul Rio Molinu, grazie alla quale viene dato di escludere l'attraversamento del centro abitato per coloro che devono raggiungere le regioni più interne dall'area di Ozieri.

Si tratta delle colline medio alte delle propaggini terminali della catena del Goceano, che proprio in questo settore interrompe la lineare continuità che, in qualche modo, trae origine da Macomer e ospita, nel versante che guarda verso sud est, tutti i paesi del Marghine e quasi tutti quelli del Goceano, ad esclusione di Benetutti e Nule.

La particolarità di questa struttura montuosa, allungata appunto da sembrare una sorta di catena che si eleva al di sopra delle piane del Goceano e di Bolotana – Ottana da una parte e del Logudoro – Meilogu dall'altra, risiede proprio nella denominazione di Marghine la quale, secondo la geografia classica (vedi Baldacci O.) deriva dal fatto che rappresenta un margine fisico e la sua conformazione, tra alternanze di testate laviche e depositi tufacei, tipo cuestas, gli ha assegnato anche il termine di "costa". Tanto che, indifferentemente, il termine di costa del Marghine risulta sinonimo di catena del Marghine, fino al limite della regione Goceano, da dove poi prende il nome che prosegue fino al confine con il comune di Pattada, come si accennava. Peraltro, il limite della testata della catena che ricade in questo comune, rappresentato geomorfologicamente da una depressione su cui scorre la bretella – circonvallazione meridionale di Pattada, segna anche la base dei rilievi collinari di Pattada che guarda direttamente sul massiccio del Monte Lerno, il quale si eleva isolato a pochi chilometri di distanza, verso nord est.

Quindi la regione di interesse dell'impianto è un'area di transizione, in qualche modo, tra differenti articolazioni montuose e questo gli consente di essere in qualche modo autonomamente differenziata dal resto del sistema orografico della parte centrale dell'Isola.

Più specificamente l'area interessata dalla posizione degli aerogeneratori comprende le regioni di Solorche a ovest, Sa Pala De Sae Tulippu (toponimo così registrato nel geoDB della RAS ma che presumibilmente corrisponde a Sae Tilippu) a settentrione, Sas Concas Boidas a est e Sa Raighina a meridione. Le singole pale, posizionate secondo un allineamento circa nord sud, sono connesse direttamente al cavidotto che si diparte dalla n. 1, la più settentrionale, posizionata in sommità al versante che si apre sulla valle sopra ricordata, di fronte alla bretella di collegamento della S.S. 128 bis, subito a est rispetto alla zona artigianale di Pattada da cui dista un km circa.

La sua ubicazione è pressoché dirimpettaia all'abitato di Pattada, da cui dista un paio di km circa.

Seguendo la viabilità provinciale e quella rurale, il cavidotto inizia il suo lungo percorso di avvicinamento alla centrale elettrica ubicata molto più a sud, nella zona termale di san saturnino a Benetutti.

Dalle singole pale si dipartono poi tratte di viadotto di connessione al tracciato principale secondo uno schema geometricamente ordinato che, nell'ottica di utilizzare soprattutto le tratte di viabilità esistenti, danno luogo a un disegno ramificato armonicamente con delle volute singolari come nel caso della pala n. 4 e n. 5, le più distanti.

Le basi di appoggio di tutti gli aerogeneratori scontano delle altezze comprese intorno ai 900 m circa, superando tale quota nel caso di quelle più meridionali: la più alta risulta essere quella n. 5, a 970 m circa. La geografia dell'area interessata dagli aerogeneratori risulta quindi essere quella montuosa, che dalle articolazioni morfologiche del settore settentrionale (pale da 1 a 3) approda a quella di catena con le pale 4 e 5, caratterizzandosi comunque per poter essere considerata interamente di montagna anche se a tratti differenziata come struttura morfologica.

Il territorio di riferimento è quindi quello tipico della montagna sarda, con ampi tratti ricoperti da boschi e spiazzi e radure a pascolo ma con aree, soprattutto in regione Solorche, interessate dai cantieri di rimboschimento forestale.

L'antropizzazione è sostanzialmente assente e, a parte la viabilità, i caratteristici muretti a secco che delimitano le grandi partizioni della proprietà pubblica (in questa zona sono infatti presenti i terreni del demanio comunale e forestale dei comuni di Pattada e Bultei) o le tancas private, comunque sempre di una certa dimensione.

Sono però presenti due insediamenti importanti, anche se nel primo caso è posto all'interno dell'area di Solorchè ed è attrezzato a parco comunale utilizzata occasionalmente con all'interno un galoppatoio, e contempla un centro di servizi per il ristoro e l'intrattenimento a gestione però solo occasionale.

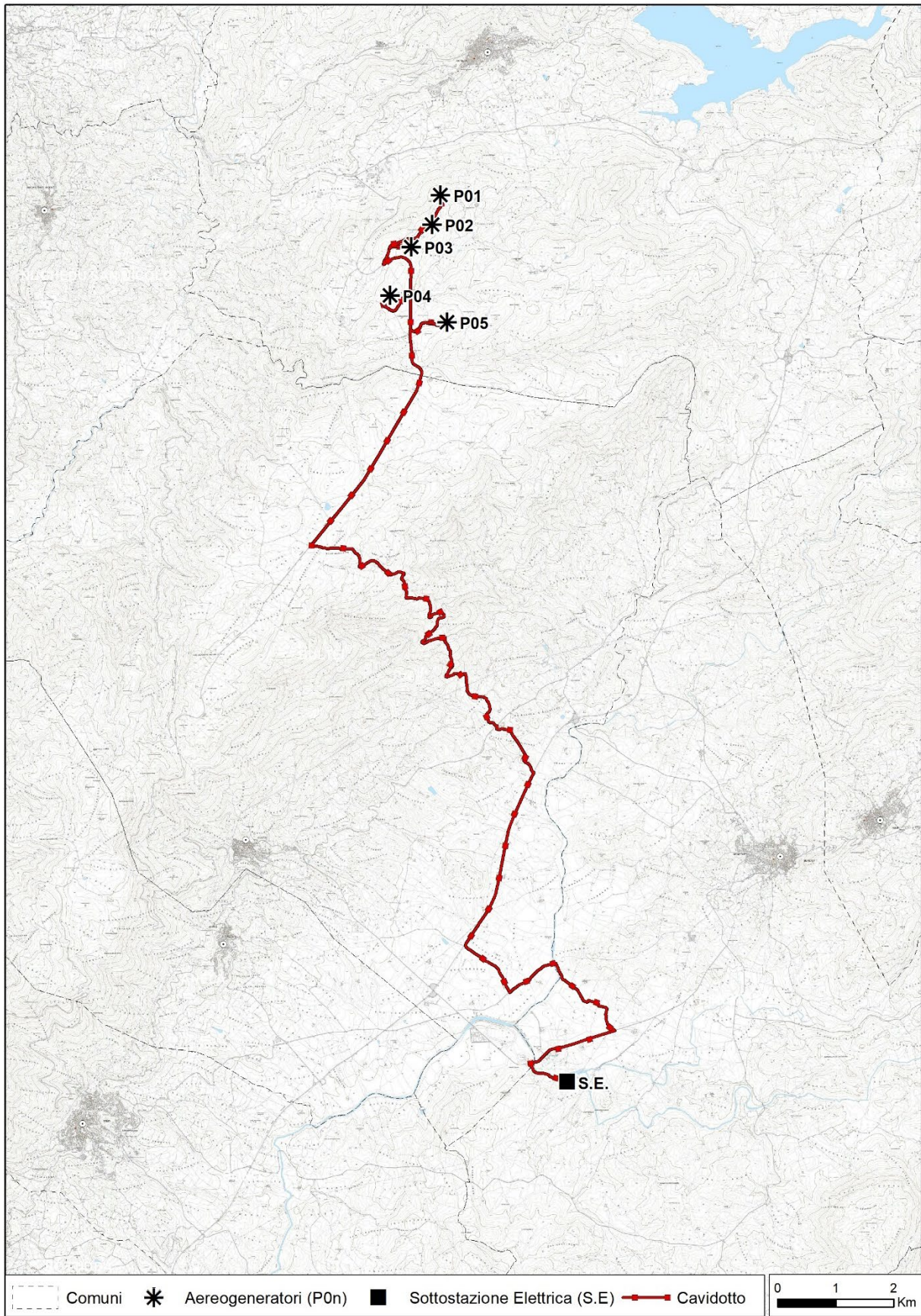


Fig. 2 Inquadramento territoriale dell'intervento in progetto su base GoDB (2022)

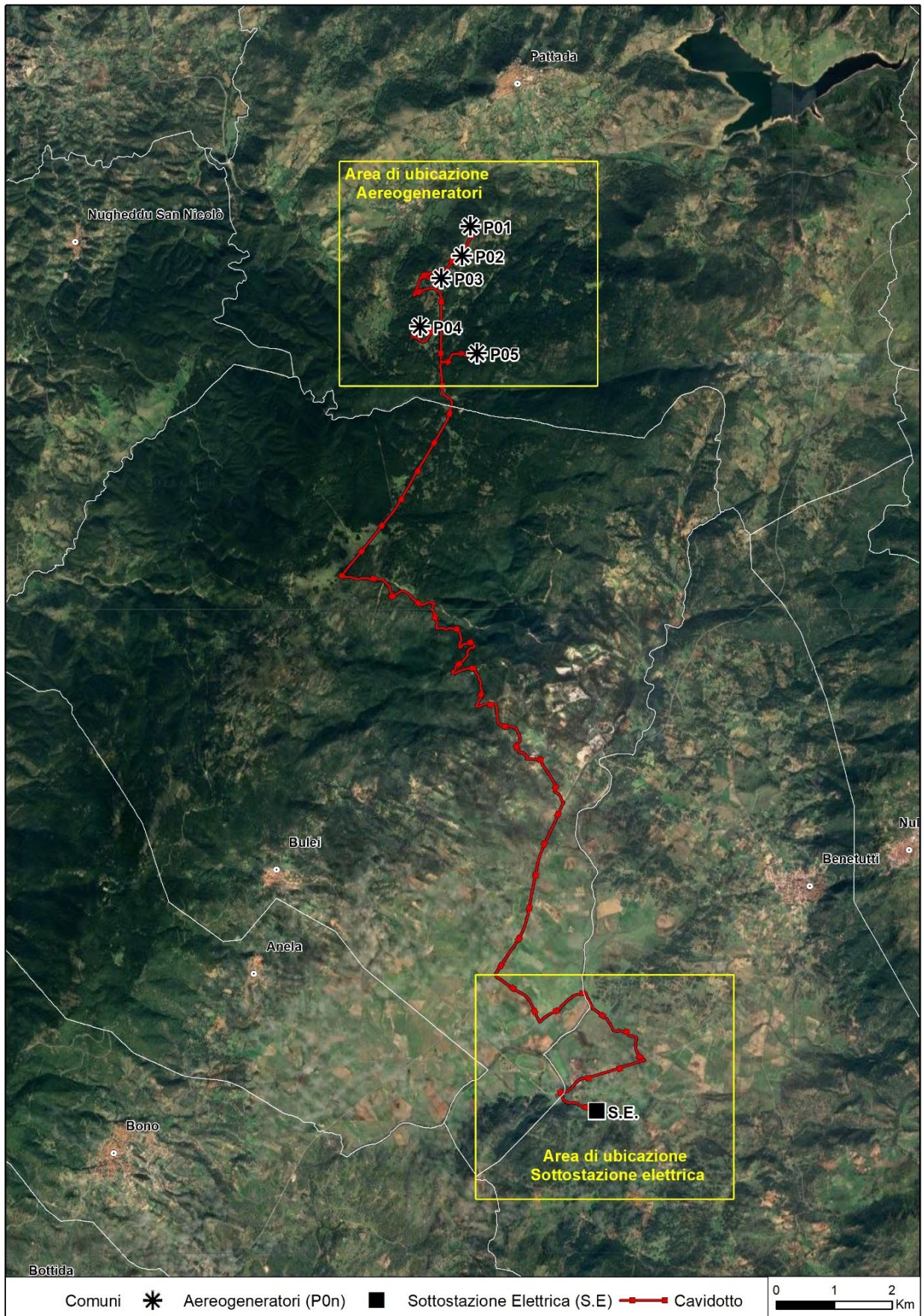


Fig. 3 Inquadramento generale dell'intervento in progetto su ortofoto

Nell'altro caso, si tratta di una struttura religiosa della Diocesi di Ozieri, Casa Betania, utilizzata per gli esercizi spirituali della comunità diocesana ma anche come sede di incontri e convegni, ubicata in comune di Bultei, poco oltre il confine tra i due comuni che corre a breve distanza dalla pala n. 5 con andamento lineare tra le località di Sa Raighina, a ovest, e di Sa Serra, a est, a poche decine di metri dalla provinciale da Passaggio del cavidotto.

Quest'ultimo segue quindi tutta la provinciale che si inerpica sulla sommità della catena dalla zona artigianale di Pattada e dopo avere raggiunto il confine comunale cavalca un lungo percorso rettilineo da nord est a sud ovest, con solo qualche accenno a debolissime curvature in località Molimentos, e dopo avere superato il parco di Sa Fraigada, località molto nota agli appassionati di montagna e per le acque sorgive che ivi si rinvergono abbondanti, e la Punta Iscalesa, vira improvvisamente verso est segue la strada rurale e di penetrazione agraria e forestale, sostanzialmente zigzagando lungo tutto il fianco della catena del Goceano, raggiungendo e attraversando la S. S. n. 128bis nei pressi della ex Stazione delle dismesse ferrovie complementari della Sardegna di Benetutti.

Il percorso di questa tratta è ovviamente articolato a causa delle pendenze elevate dei versanti della Catena, ma è comunque ben percorribile perché di servizio alla forestale e utilizzata dalla cava in attività presente in prossimità della Stazione.

Da qui attraversa, seguendo sempre la viabilità interpodereale, la proprietà privata fino al congiungimento della strada di scorrimento veloce da Borore a Olbia, anche se al momento il suo tracciato è fermo ad Alà dei Sardi, che segue verso sud, fino a Ispadularzo, sempre in comune di Bultei poco prima dell'incrocio con la viabilità sempre provinciale per le Terme di San Saturnino – Benetutti da una parte e per Bultei dall'altra.

Si addentra quindi nuovamente nella proprietà privata volgendo a sud est fino a Zuntura da dove, sempre seguendo la viabilità rurale – interpodereale, volge a nord est fino a superare il Fiume Tirso a Baduomo, quindi virare nuovamente a sud est e incontrare la strada provinciale sopra ricordata, che dall'incrocio con la strada di scorrimento veloce da Borore a Olbia conduce a San Saturnino e a Benetutti, percorrendola in direzione contraria proprio fino alle terme di San Saturnino e ripassare il Fiume in corrispondenza del ponte e poi, imboccando un tracciato più semplice proprio tra il ponte e lo stabilimento detto di San Saturnino. Costeggia il Rio Mannu di Benetutti fino a raggiungere la posizione della centrale elettrica, in località Mercuria.

3 IL PROGETTO

3.1 Le opere in programma

L'impianto eolico in progetto, infatti, sarà composto da n° 5 aerogeneratori di potenza nominale pari a 6,1 MW (6100 kW), con diametro del rotore di 158 m, altezza di mozzo 101 m e altezza complessiva pari a 180 m capaci di erogare una potenza totale pari a 30,5 MW.

Gli aerogeneratori sono tutti localizzati in agro di Pattada, a sud della bretella di collegamento della S.S.128bis che corre a meridione del centro abitato. Per la localizzazione esatta si rimanda alle figure da 2 a 4.

La soluzione di connessione dell'impianto alla Rete di Trasmissione Nazionale prevede il collegamento diretto dell'impianto di utenza, a Benetutti, in prossimità della zona di interesse termale, in località Mercuria, di lato al Rio Mannu di Benetutti.

La soluzione di connessione è stata fornita da TERNA, quale Gestore della RTN.

L'interconnessione tra la sottostazione utente e gli aerogeneratori avverrà attraverso una rete elettrica in MT in cavo interrato, che si svilupperà, per la maggior parte dei percorsi, lungo la rete stradale esistente ed attraverserà oltre che il territorio dei comuni di Pattada, anche quelli di Bultei e di Benetutti, dove è ubicata la cabina primaria di connessione.

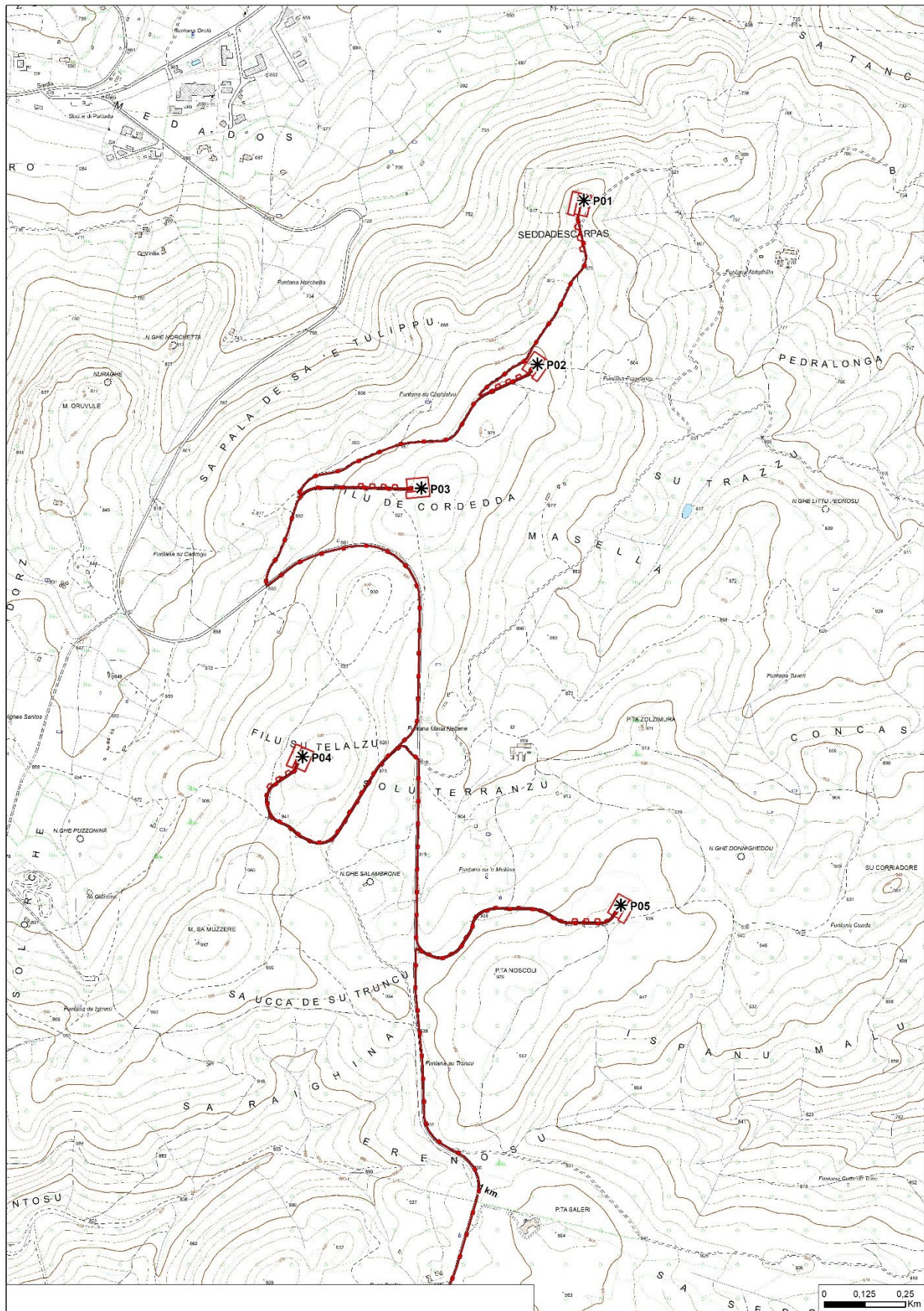


Fig. 4 L'area di posizionamento degli aerogeneratori e l'avvio del percorso del cavidotto (GeoDB 2022)

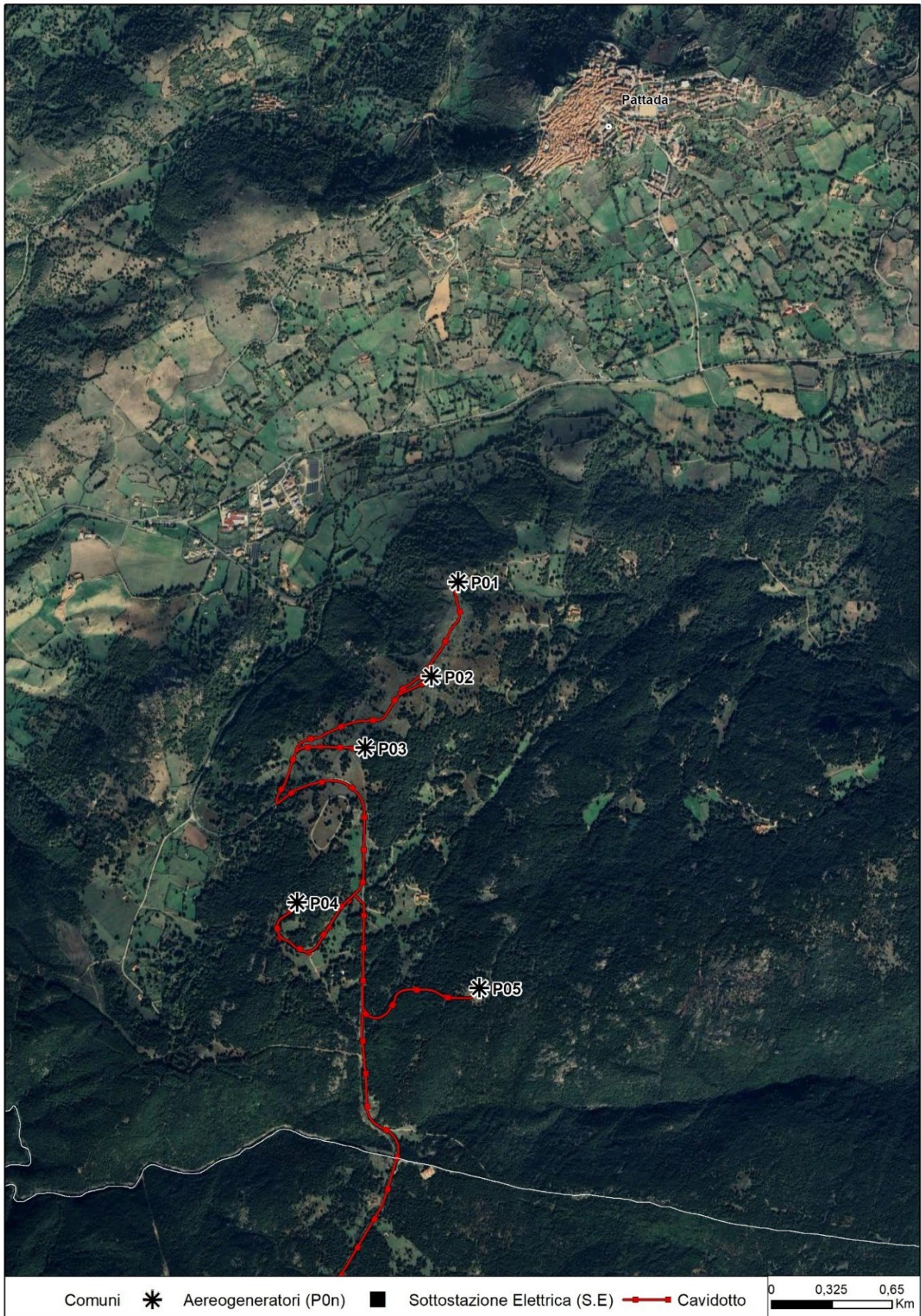


Fig. 5 L'area di posizionamento degli aerogeneratori su ortofoto con Pattada e la sua zona artigianale immediatamente a ovest. Si osservano distintamente anche il galoppatoio, il centro servizi di Solorche a est della pala 4 e la Casa Betania al confine con il comune di Bultei



Fig. 6 L'area di arrivo del cavidotto alla centrale, poco a sud della sponda sinistra del Rio Mannu di Benetutti. Si osservano distintamente alcune infrastrutture realizzate per l'attività termale, impianti sportivi e stabilimenti

Il campo fotovoltaico è raggiungibile dalla strada provinciale n. 161 che, dalla S. S. 128bis, all'altezza della ex stazione e del distributore sopra ricordati, si dirige verso la catena del Goceano e raggiunge Bultei dopo essersi innestata sulla S. P. Bultei – Nughedu San Nicolò. Sostanzialmente, le opere di progetto consisteranno nella:

- Realizzazione di aree di un nuovo impianto eolico formato da n° 5 aerogeneratori, di potenza nominale pari a 6,1 MW, per una potenza complessiva di 30,5 MW.
- Posa in opera di cavidotti, i cui tracciati interrati seguiranno per la maggior parte l'andamento delle strade esistenti;
- Connessione dell'impianto alla rete di Trasmissione Nazionale.

L'interconnessione tra la sottostazione utente e gli aerogeneratori avverrà attraverso una rete elettrica in MT in cavo interrato, che si svilupperà, per la maggior parte dei percorsi, lungo la rete stradale esistente ed attraverserà oltre che il territorio dei comuni di Pattada, quello del comune di Bultei e poi quello di Benetutti, dove è ubicata la cabina primaria.

Gli aerogeneratori di progetto avranno altezza massima al mozzo pari a 101 m ed un rotore di tipo tripala del diametro massimo pari a 158 m, area spazzata pari a 17 662,5 mq e verso di rotazione in senso orario. La navicella avrà una struttura esterna in fibra di vetro con porte a livello pavimento per consentire il passaggio delle strutture interne da montare.

L'aerogeneratore sarà dotato di un sistema di protezione contro i fulmini progettato nel rispetto delle normative di settore.

Ciascun aerogeneratore sarà sostenuto da una torre tubolare di forma tronco-conica in acciaio zincato ad alta resistenza, formata da più tronchi/sezioni.

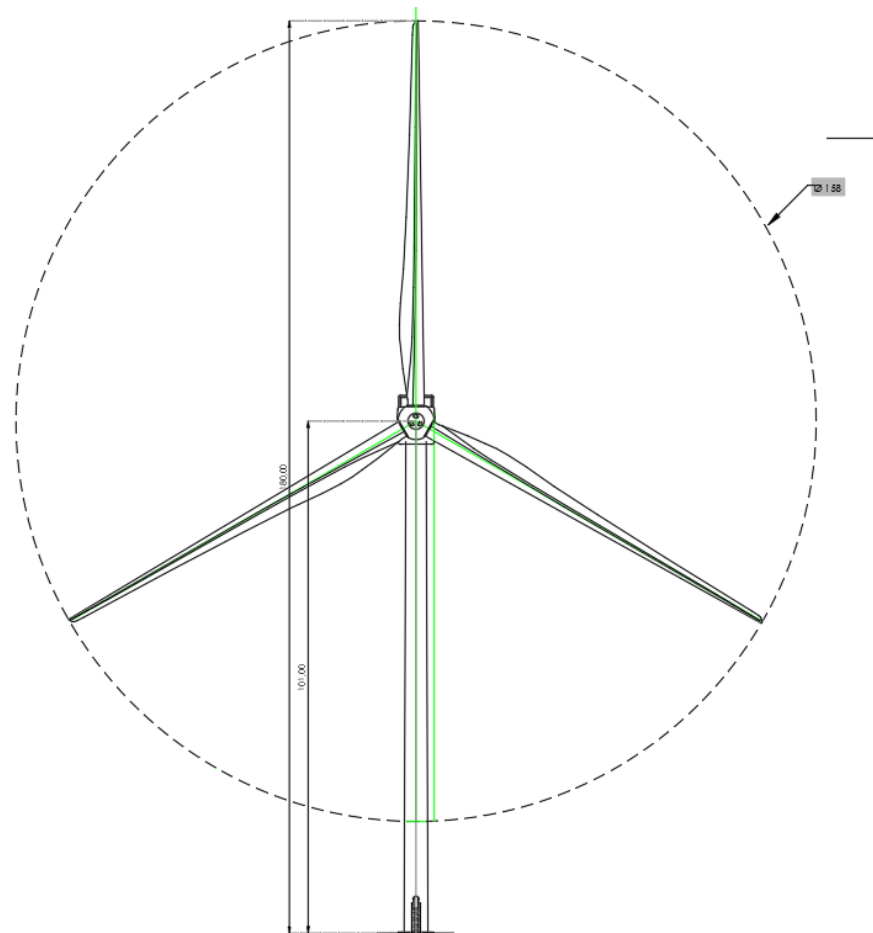


Fig. 7 Caratteristiche geometriche aerogeneratori di progetto

Le strutture di fondazione

La fondazione di supporto degli aerogeneratori è costituita da un plinto di fondazione circolare. La parte inferiore verrà posata su strato di cls magro avente uno spessore minimo di 20 cm. Il plinto di fondazione è costituito da una zattera inferiore e da un piedistallo superiore, sul quale verrà alloggiata la torre di supporto degli aerogeneratori.

La zattera inferiore possiede una pianta circolare, così come il piedistallo di alloggiamento superiore, ed è composta a sua volta da una porzione di base a forma cilindrica, con diametro pari a 19 m ed altezza pari a 0,60 m, e da una porzione tronco conica con diametro inferiore pari a 19,00 m e diametro superiore pari a 5,90 m e un'altezza pari a 1,60 m.

Il piedistallo in elevazione, a pianta circolare possiede un diametro pari a 5,90 m ed altezza complessiva di 0,95 m, di cui 0,30 m sono posti al di fuori del piano finito del piazzale circostante. Il calcestruzzo utilizzato in opera sarà di diversa fattura a seconda dei casi: per il plinto di fondazione circolare, su cui sarà innestata la torre eolica, verrà utilizzato un cls di classe C30/37 e per quanto concerne la zattera di fondazione sarà un CLS classe C45/55 per il collare circolare di alloggiamento. L'acciaio per l'armatura è previsto del tipo B450C controllato in stabilimento.

Inoltre, la piastra di base della torre eolica verrà posizionata tramite una cassaforma a perdere in gomma, su una base di grout con classe di resistenza pari a C90/105. All'interno del getto del plinto di fondazione di base verrà posizionato l'anchor cage, ossia la gabbia di tirafondi in acciaio per il successivo fissaggio della torre eolica. L'area del plinto di fondazione al di là del piedistallo di alloggiamento sarà coperta da materiale di recupero con massa volumica a secco di 18 kN/m².

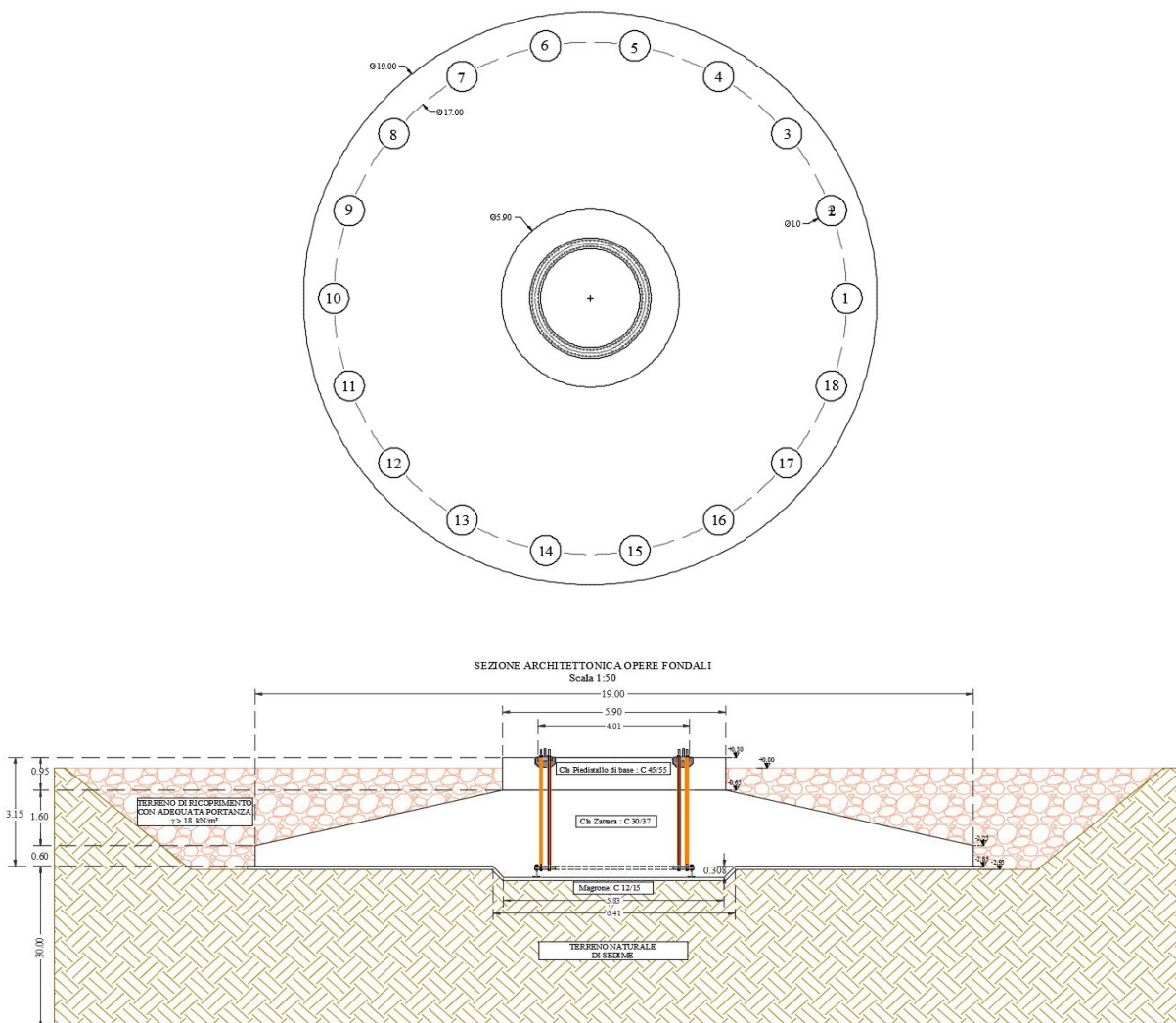


Fig. 8 Pianta architettonica e sezione delle fondazioni dell'aerogeneratore con caratteristiche geometriche

Per ciascun aerogeneratore sarà realizzato un dispersore di terra ai fini della messa a terra dello stesso per garantire la protezione contro i contatti indiretti in bt e in MT. Il dispersore sarà realizzato con un doppio anello in corda di rame nuda da 50 mm² direttamente interrato: un anello sarà posato lungo il perimetro del plinto di fondazione, mentre l'altro sarà posto all'interno dello stesso. I due anelli dovranno essere uniti mediante quattro collegamenti radiali. Nel passaggio della corda di rame nuda lungo i ferri di fondazione della platea e dei pali saranno realizzati vari collegamenti tra i due in modo che i ferri di fondazione possano costituire un dispersore di fatto e quindi contribuire in modo importante alla dispersione della corrente di guasto. Il dispersore così realizzato sarà quindi collegato al collettore di terra da realizzarsi all'interno dell'aerogeneratore a livello della fondazione medesima. Il collegamento avverrà mediante una doppia corda in rame nudo da 50 mm².

A questo collettore saranno collegati gli impianti di terra dell'aerogeneratore necessari per il collegamento a terra di tutte le apparecchiature elettriche dello stesso.

Gli impianti di terra dovranno essere realizzati in conformità alle Norme CEI 99-2 e CEI 99-3 per la parte MT e CEI 64-8 per la parte bt.

Inoltre, nella realizzazione degli impianti di terra si rispetteranno le prescrizioni della norma CEI 103-6 ai fini del contenimento delle interferenze elettromagnetiche.

A tergo delle verifiche e del dimensionamento delle opere fondali a servizio del nuovo aerogeneratore, è possibile asserire che le opere fondali ipotizzate in questa fase preliminare, riescano a fronteggiare le azioni indotte dalla sovra struttura.

Viabilità di servizio agli aerogeneratori

La viabilità di progetto interna al parco eolico avrà una larghezza massima netta della carreggiata pari a 5,00 mt. La fondazione stradale sarà di tipo drenante con materiale arido di cava dello spessore massimo di 50 cm posato su geotessile, con sovrastante strato in misto granulare stabilizzato dello spessore massimo di 10 cm. Il pacchetto fondale sarà compattato mediante rullatura.

Per ciascun nuovo asse stradale di progetto sarà ridotta al minimo indispensabile la modifica del profilo plano-altimetrico e di fatto e non saranno eseguiti tagli e sradicamenti di piante arboree.

I tratti di stradali di nuova realizzazione saranno in futuro utilizzati per la manutenzione degli aerogeneratori e, in generale, saranno costruiti seguendo il più possibile l'andamento topografico esistente, possibilmente correndo lungo i confini particellari catastali, riducendo al minimo gli eventuali movimenti di terra e l'impatto sui terreni di proprietà privata. Il materiale terroso proveniente dagli scavi sarà riutilizzato per i compensi ed il riempimento degli stessi; quello di risulta trasportato e smaltito presso discariche autorizzate.

Oltre alla viabilità di progetto permanente si prevedono interventi di adeguamento per alcuni tratti della viabilità esistente, nonché allargamenti e tratti di viabilità temporanea da dismettere alla fine dei lavori di trasporto e montaggio degli aerogeneratori.

La manutenzione ordinaria avverrà, con le strade di accesso definitive che potranno essere utilizzate da normali mezzi di trasporto.

Le fasi lavorative previste per la viabilità consistono in sintesi:

1. Tracciamento stradale: pulizia del terreno consistente nello scotico del terreno vegetale;
 2. Formazione del sottofondo costituito dal terreno naturale o di riporto, sul quale sarà messa in opera la soprastruttura stradale costituita dallo strato di fondazione e dallo strato di finitura;
 3. Realizzazione dello strato di fondazione: è il primo livello della soprastruttura, ed ha la funzione di distribuire i carichi sul sottofondo ed è costituito da un opportuno misto granulare;
 4. Realizzazione dello strato di finitura: costituisce lo strato a diretto contatto con le ruote dei veicoli.
- La figura in appresso illustra le caratteristiche della sezione stradale tipo.

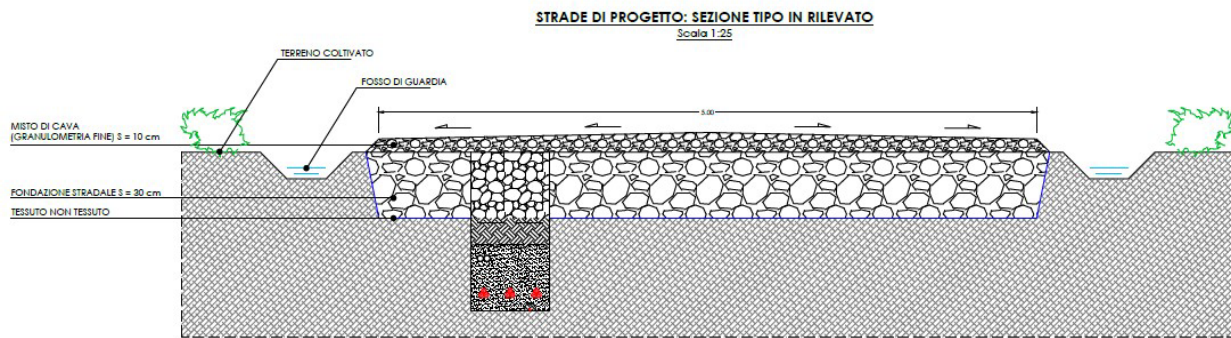


Fig. 9 Sezione stradale tipo

Piazzole di servizio agli aerogeneratori

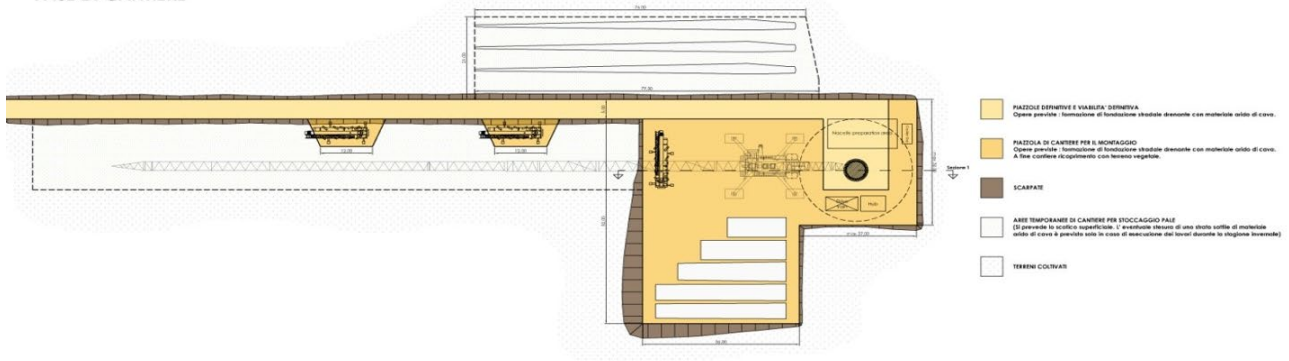
Si prevede la costruzione di piazzole temporanee per il montaggio degli aerogeneratori di forma poligonale. Come le strade saranno dotate di uno strato di fondazione in materiale arido di cava dello spessore massimo di 50 cm posato su geotessile e misto granulare stabilizzato dello spessore massimo di 10 cm.

Le suddette piazzole saranno realizzate secondo le seguenti fasi lavorative:

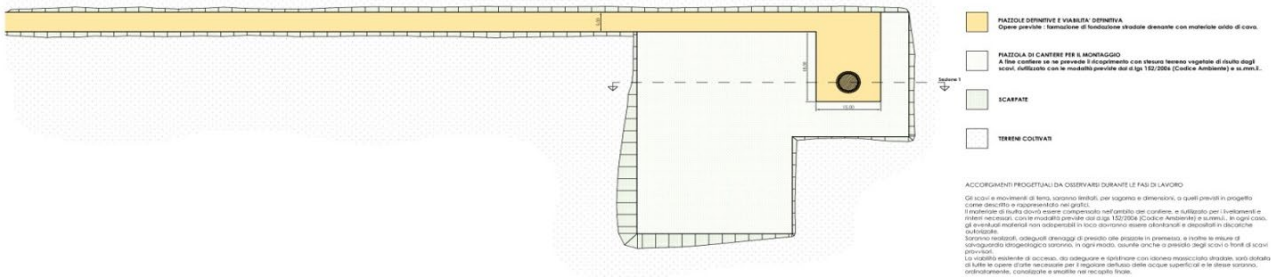
1. Asportazione di un primo strato di terreno vegetale;
2. Eventuale asportazione dello strato inferiore di terreno fino al raggiungimento della quota del piano di posa della massicciata stradale;
3. Compattazione del piano di posa della massicciata;
4. Realizzazione dello strato di fondazione o massicciata di tipo stradale, costituito da misto granulare di pezzatura compresa tra i 4 cm e i 30 cm, che dovrà essere messo in opera in modo tale da ottenere a costipamento avvenuto uno spessore di circa 30-50 cm. Il pacchetto fondale sarà compattato con rullatura. Dopo la fase di montaggio degli aerogeneratori, la superficie di ciascuna piazzola sarà ridotta attraverso il "ricoprimento" parziale con uno strato di terreno vegetale proveniente dagli scavi e riutilizzato nel rispetto della normativa vigente. La piazzola definitiva sarà mantenuta piana e carrabile, allo scopo di consentire di effettuare le operazioni di controllo e/o manutenzione. La parte eccedente utilizzata nella fase di cantiere che verrà ricoperta con riporto di terreno vegetale, sarà "rinaturalizzata" con semina di specie erbacee. I dati tecnici delle piazzole sono riportati nel seguente quadro, mentre in figura è proposto lo schema realizzativo, pianta e sezione, in collegamento all'aerogeneratore.

Piazzole: dati di progetto			
Tipologia	Pianta	Superficie	Superficie complessiva
Provvisoria (Fase di cantiere) : da ricoprire con terreno vegetale e rinaturalizzare alla fine del cantiere.	Poligonale	6.817 mq circa (media)	34.085 mq circa
Permanente	Rettangolare 25x16 m	400 mq circa (media)	4.400, mq circa

FASE DI CANTIERE



SISTEMAZIONE FINALE



SISTEMAZIONE FINALE : SEZIONE TIPO

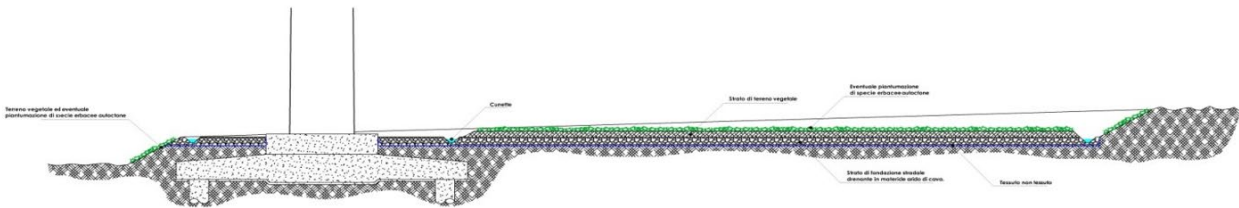


Fig. 10 Schema progettuale delle piazzole di progetto

La rete dei cavidotti interrati

Le connessioni degli aerogeneratori con la sottostazione di trasformazione saranno garantite da una rete 30 kV in cavo interrato posta in fregio alla sede stradale o all'esterno di essa. I cavi saranno posti ad una profondità minima di 1,20 mt dal piano di campagna e lo scavo avrà un'ampiezza pari a 0,60 mt.

Cavidotti : dati di progetto	
Sviluppo lineare complessivo dei cavidotti	21,386 Km circa
Larghezze Scavo a Sezione obbligata	0,60 m

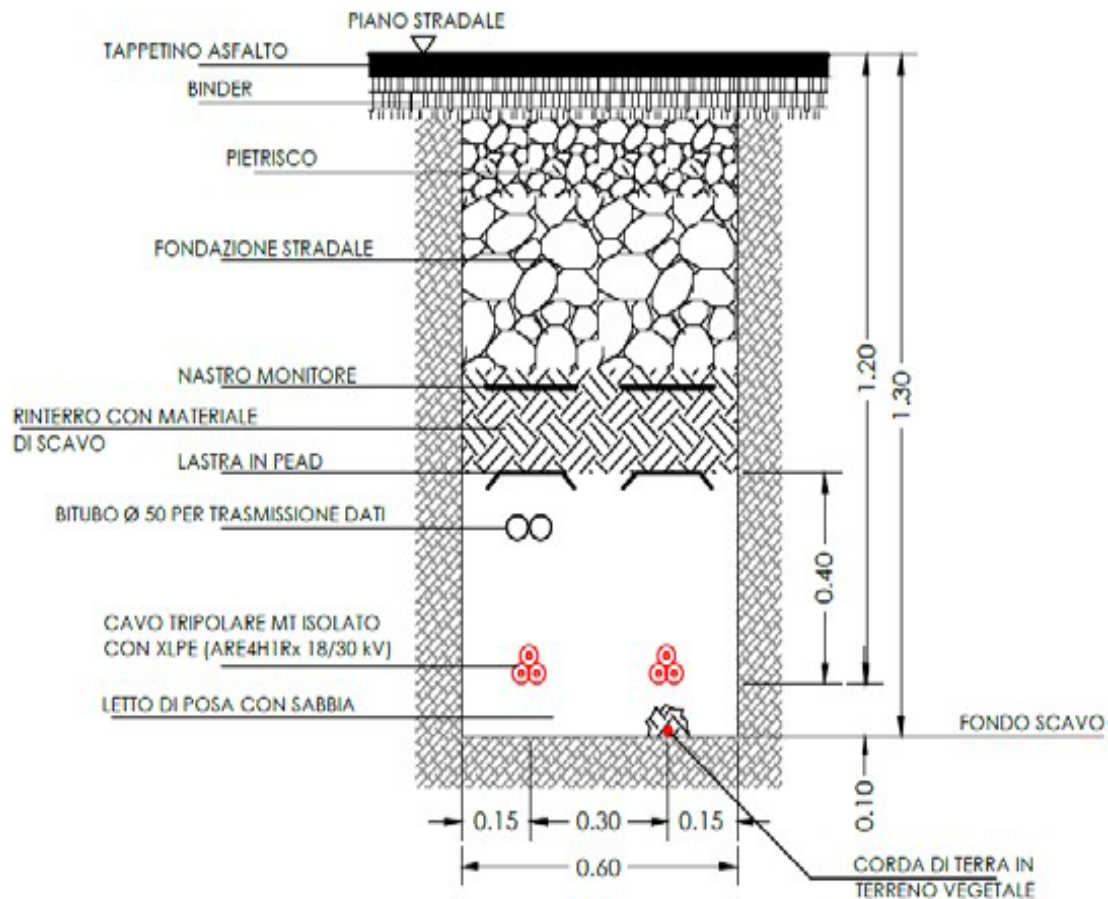
Cavidotti: dati di progetto rispetto alla viabilità	
Sviluppo lineare cavidotti interrati lungo rete viaria esistente	15,689 Km, circa
Sviluppo lineare cavidotti interrati lungo nuova rete viaria di progetto	2,879 Km, circa

Le interconnessioni dei singoli aerogeneratori con la sottostazione e le caratteristiche tecniche dei cavi previsti risultano dallo schema elettrico. Nei punti di intersezione tra la rete in cavo ed

infrastrutture esistenti (condotte irrigue, canali, tombini stradale, sottoservizi, ecc.) si prevede la possibilità di utilizzo della tecnica T.O.C. (perforazione orizzontale teleguidata).

Tra le tecniche “No dig” la T.O.C. risulta essere la meno invasiva e consente di eseguire tratte relativamente lunghe.

L’impiego di questo tipo di tecnica, nel caso di specie per i cavidotti elettrici, rende possibile l’attraversamento di criticità tipo corsi d’acqua, opere d’arte e altri ostacoli come sottoservizi, senza onerose deviazioni ma soprattutto senza alcuna movimentazione di terra all’interno dell’area critica di particolare interesse.



SEZIONE SCAVO TIPO A 2 TERNE SU STRADE ESISTENTI ASFALTATE

Fig. 11 Schema del cavidotto su strade asfaltate

3.2 Le problematiche geologiche e geotecniche

La descrizione delle opere previste nel progetto testé effettuata lasciano intravedere in maniera chiara le problematiche più importanti che lo studio geologico-geotecnico deve contribuire a risolvere e, che nella sostanza, si possono ricondurre direttamente alla tipologia degli interventi programmati. Ovvero, l’interferenza tra il progetto e il suolo, inteso come substrato (geolitologico) atto a supportare i carichi che verranno trasferiti dalla realizzazione delle opere attraverso un’interfaccia fondazionale, contempla:

- 1- La realizzazione del parco eolico attraverso il montaggio degli aerogeneratori nei siti individuati;
- 2- La realizzazione delle piazzole per le movimentazioni di cantiere ma che però non dovranno poi sostenere nessuna infrastruttura;
- 3- La realizzazione delle nuove tratte di viabilità necessaria per raggiungere i siti di progetto;

4- La realizzazione del cavidotto di conferimento dell'energia prodotta alla centrale elettrica. Si tratterà, cioè, di effettuare tutti gli accertamenti (studi, ricerche bibliografiche, rilevamenti, indagini, prove, calcoli e valutazioni, ecc.) atte a definire:

- a) Le eventuali interferenze tra opere e Piano di Assetto Idrogeologico, parte acque e parte frane;
- b) Le condizioni di stabilità dei siti di intervento;
- c) I modelli geologici e geotecnici dei siti interessati dalle fondazioni e dalle altre strutture;
- d) Definire la tipologia delle fondazioni (atteso che nel caso degli aerogeneratori è già definita e sarà di tipo continua su platea) e la profondità del piano di posa;
- e) Calcolare l'ampiezza della base di appoggio della fondazione stessa sulla base dei caratteri geolitologici, geotecnici, geomorfologici dei terreni e in relazione alle risposte sismiche locali;
- f) Valutare le problematiche geologiche in relazione alla costruzione delle nuove tratte stradali;
- g) Valutare le condizioni della rete viaria esistente interessata dai cavidotti in relazione alla necessità di essere affiancata da scavi a sezione obbligata e le condizioni di fattibilità degli scavi nelle nuove tratte in progetto;
- h) Valutare le interferenze tra opere in programma, in particolare il cavidotto, soprattutto in relazione agli attraversamenti stradali e fluviali, laddove il cavidotto adotti la tecnica T. O. C.

Di ciò si darà atto nel prosieguo del presente rapporto.

3.3 La pericolosità geomorfologica e idraulica

La Regione Sardegna fino all'istituzione dell'Autorità di bacino regionale esercita le competenze di pianificazione di bacino idrografico attraverso i propri organi ed uffici.

Ai sensi della Legge 183/89 e della Legge 267/98, con deliberazione n. 54/33 in data 30.12.2004 la Giunta regionale ha approvato il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.). Per ognuno dei sette sub bacini il P.A.I. ha individuato:

- le aree a pericolosità idraulica;
- le aree a pericolosità da frana;
- le mappe del rischio relative alla pericolosità idraulica e da frana;
- le norme di salvaguardia che disciplinano le aree a pericolosità idraulica e da frana;
- la programmazione delle misure di mitigazione del rischio.

L'individuazione delle aree pericolose è stata articolata in quattro livelli di pericolosità:

- aree a molto alta probabilità di inondazione, se allagabile con portata con tempo di ritorno minore o uguale a 50 anni (Hi4);
- aree ad alta probabilità d'inondazione se allagabile con portata con tempo di ritorno minore o uguale a 100 anni (Hi3);
- aree a moderata probabilità d'inondazione se allagabile con portata con tempo di ritorno minore o uguale a 200 anni (Hi2);
- aree a bassa probabilità d'inondazione se allagabile con portata con tempo di ritorno minore o uguale a 500 anni (Hi1).

Secondo la notazione usuale, il rischio idraulico, R_i , è stato definito come il prodotto di tre fattori secondo l'espressione:

- $R_i = H_i E V$
- R_i = rischio idraulico totale, quantificato secondo i 4 livelli

Hi = pericolosità idraulica, ossia la probabilità di superamento della portata al colmo di piena che, in accordo al DPCM 29/09/98, nella redazione del P.A.I. è stata ripartita in 4 livelli pari a 0.02, 0.01,

0.005, 0.002, che corrispondono ai periodi di ritorno T di 50 (Hi4), 100 (Hi3), 200 (Hi2) e 500 (Hi1) anni.

E = elementi a rischio, che ai sensi del DPCM 29/09/98, sono costituiti da persone e cose suscettibili di essere colpiti da eventi calamitosi. Nella redazione del P.A.I. ad ogni elemento a rischio è stato attribuito un peso secondo una scala compresa fra 0 e 1, a seconda della classificazione attribuita allo stesso elemento.

V = vulnerabilità intesa come capacità a resistere alle sollecitazioni indotte dall'evento, e quindi dal grado di perdita degli elementi a rischio E in caso del manifestarsi del fenomeno. Nella redazione del P.A.I. la vulnerabilità, in accordo al DPCM 29/09/98, è stata assunta pari all'unità.

Il P.A.I. individua sul reticolo idrografico regionale un insieme di tronchi caratterizzati da condizioni particolarmente critiche in relazione al rischio idraulico. Pertanto, l'analisi effettuata dal P.A.I. è da ritenersi parziale rispetto all'estensione territoriale del bacino unico regionale. Inoltre, appare importante evidenziare che le mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni predisposte nell'ambito del P.A.I. non soddisfano le indicazioni di cui all'art. 6 del D.Lgs n. 49/2010, per i quali si rimanda al Piano di gestione del rischio di alluvioni.

Sulla base degli stessi principi metodologici contenuti nelle Linee Guida del P.A.I., i Comuni della Sardegna, ai sensi dell'art. 8 comma 2 delle Norme di Attuazione del P.A.I., in sede di adozione di nuovi strumenti urbanistici anche di livello attuativo e di varianti generali agli strumenti urbanistici vigenti, hanno redatto appositi studi di compatibilità idraulica riferiti a tutto il territorio comunale o alle sole aree interessate dagli atti proposti all'adozione, le cui indicazioni sono state valutate e, qualora da queste scaturissero nuove aree classificate a pericolosità idrogeologica, sottoposte all'approvazione del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino.

Mediante la successiva redazione del Piano stralcio delle fasce fluviali (P.S.F.F.), la Regione Sardegna ha voluto integrare e approfondire gli studi predisposti nell'ambito del P.A.I. in materia di alluvioni. Infatti, mediante il P.S.F.F. sono state considerate e analizzate le aste fluviali per tutta la loro estensione e non più per tronchi critici, a questo si rimanda per un maggior dettaglio sulle aree a rischio idraulico.

La cartografia del P.A.I. è attualmente consultabile nei formati raster e vettoriale. Dal mese di Marzo 2012 è attivo Sardegna Mappe P.A.I., il navigatore dedicato alla consultazione delle carte del Piano di Assetto Idrogeologico in cui è possibile consultare e scaricare le carte della pericolosità da frana e idraulica e del relativo rischio.

I dati pubblicati sono aggiornati al 2020. Per verificare la presenza di ulteriori aggiornamenti nell'area di interesse, si consulti la documentazione sul sito web dell'Autorità di Bacino della Sardegna, nella apposita sezione dedicata agli atti (Delibere del Comitato Istituzionale e Determinazioni del Segretario Generale dell'AdB) o contattare il Servizio Difesa del Suolo dell'Agenzia del Distretto Idrografico della Sardegna (ADIS).

Le mappe delle pericolosità idraulica e da frana consultabili nel presente portale hanno una finalità esclusivamente informativa mentre la situazione delle pericolosità effettivamente vigenti è riportata nei certificati di destinazione urbanistica che, ai sensi dell'articolo 4, comma 8 delle Norme del PAI, sono rilasciati dai Comuni.

La figura in appresso riporta la situazione per quanto concerne il PAI in generale dell'area vasta di studio e contempla sia la parte acque sia la parte frane. Come si vede molti settori sono scoperti, soprattutto in sinistra Tirso, in quanto non catalogati e in attesa dello studio dei singoli comuni afferenti. Sostanzialmente le aree di pericolosità e di rischio più elevato non vanno a interferire con le opere in progetto, tranne che per i cavidotti nel loro percorso in pianura perché intercettano il reticolo idrografico minore, lo stesso Fiume Tirso e il Rio Mannu di Benetutti.

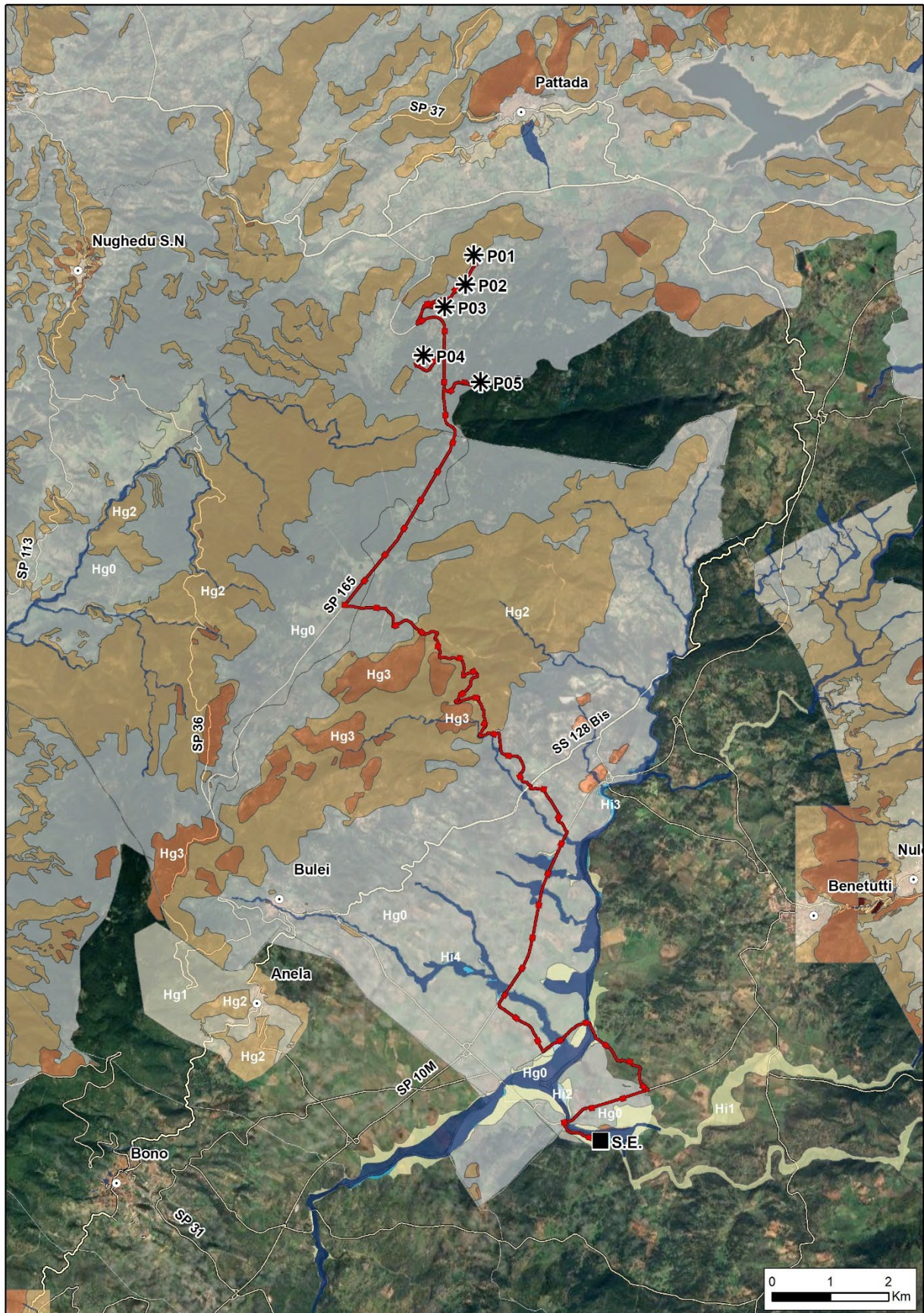






Fig. 12a Lettura del PAI per l'area in esame (Fonte: Geoportale, Sardegna mappe -PAI)

Pericolo Idraulico

-  Hi1 - P1 (Aree a pericolosità idraulica Moderata o Fascia geomorfologica)
-  Hi2 - P2 (Aree a pericolosità idraulica Media)
-  Hi3 - P2 (Aree a pericolosità idraulica Elevata)
-  Hi4 - P3 (Aree a pericolosità idraulica Molto Elevata)

Pericolo Geomorfologico






-  Hg0 - (Aree studiate non soggette a potenziali fenomeni franosi)
-  Hg1 - (Aree a pericolosità da frana Moderata)
-  Hg2 - (Aree a pericolosità da frana Media)
-  Hg3 - (Aree a pericolosità da frana Elevata)
-  Hg4 - (Aree a pericolosità da frana Molto elevata)

Fig. 12b Lettura del PAI per l'area in esame - Legenda(Fonte: Geoportale, Sardegna mappe -PAI)

RELAZIONE GEOLOGICA

4. LA GEOLOGIA

4.1 Il contesto geologico di riferimento

I caratteri geologico-strutturali dell'area in esame, come in pratica di tutto il Goceano, derivano dai numerosi e complessi eventi che hanno interessato tutta la Sardegna a partire dall'Era paleozoica. Per una loro completa ed esauriente conoscenza, sia pure di sintesi, base poi del lavoro di dettaglio oggetto del presente studio, è quindi necessario affrontare il contesto evolutivo geologico-strutturale di tutta la regione.

Com'è noto, la struttura fondamentale del basamento sardo ha avuto origine dall'Orogenesi ercinica che vi ha prodotto deformazioni, metamorfismo e magmatismo; la zonazione in aree a diverso grado metamorfico che caratterizza le litologie paleozoiche della Sardegna ed i risultati delle più recenti ricerche strutturali, hanno consentito di applicare alla catena ercinica sud-europea (e quindi allo stesso basamento sardo che di essa non sono che un segmento) i modelli orogenetici della tettonica delle placche.

Secondo la ricostruzione effettuata da numerosi autori, la catena ercinica sud europea avrebbe avuto origine nell'era paleozoica da una collisione associata a subduzione di crosta oceanica e metamorfismo di alta pressione (1^a fase, Siluriano) seguita, per la completa consunzione della crosta dell'oceano sud-armoricano, da una collisione continentale che ha prodotto inspessimento crostale, magmatismo e metamorfismo (2^a fase, Devoniano-Carbonifero).

La Sardegna sud-occidentale è caratterizzata dalla presenza di spesse sequenze epicontinentali del Cambriano inferiore-Ordoviciano inferiore; l'assenza, in queste sequenze, di vulcanismo calcoalcalino e la transizione a facies di mare più profondo da SW verso NE (Sardegna centro-orientale) fanno ritenere che si tratti di un margine continentale passivo di lunga durata.

Nella Sardegna centrale e sud-orientale invece (Goceano, Sarcidano, Salto di Quirra, Gerrei, Sarrabus) la potente successione sedimentaria Cambriano-Ordoviciano inferiore (Formazioni di S. Vito e di Solanas), derivante dai depositi di conoidi sottomarine, è sormontata da grandi spessori di metavulcaniti (nel Sarcidano possono raggiungere la potenza di 400-500 metri) attribuite all'attività di un arco vulcanico sviluppatosi nell'Ordoviciano inferiore-medio (Garbarino et al., 1981).

L'assenza del vulcanismo calcoalcalino nell'Ordoviciano superiore è da attribuire all'interruzione del processo di subduzione, infatti la coltre vulcano-sedimentaria della Sardegna centro e sud-orientale e la "puddinga" dell'Iglesiente sono stati ricoperti (in seguito alla trasgressione che ha seguito il collasso dell'arco vulcanico) da depositi terrigeni continentali e di litorale assai variabili in potenza ed in facies che costituiscono l'Ordoviciano superiore fossilifero (a brachiopodi, cistoidi e crinoidi). Anche i basalti intercalati in questi sedimenti sono legati alla dinamica distensiva successiva allo stress da subduzione (Scholz et al., 1971).

Dopo un intervallo di circa 100 Ma, privo di attività magmatica, si ha, in successione, la deposizione degli scisti neri con lenti di calcare ad *Orthoceras* del Siluriano inferiore, la sedimentazione pelagica delle argille marnose con calcari del Siluriano superiore e dei calcari a tentaculiti del Devoniano inferiore e medio; in particolare, la sedimentazione pelagica indica una restaurazione del margine passivo lungo il continente di Gondwana.

La geometria della collisione continentale che ha determinato la formazione del settore meridionale della catena ercinica è così ricostruibile:

- il margine sovrascorrente del continente armoricano è rappresentato dal "Complesso metamorfico di Alto Grado" affiorante nella Sardegna settentrionale (Gallura, Baronia, Asinara) che costituisce la parte più interna della catena ed è formato da migmatiti e gneiss migmatitici in facies anfibolitica. Sono presenti inoltre, all'interno di sporadici affioramenti di metabasiti, delle paragenesi relitte in facies eclogitica;
- il margine sottoscorrente della placca del Gondwana è rappresentato dal "Complesso metamorfico di Basso e Medio Grado" affiorante nella Sardegna centrale e sud-orientale. Si tratta di un metamorfismo progrado che varia da sud verso nord dalla facies a scisti verdi a quella anfibolitica;

- i due "Complessi" appena descritti sono separati da un contatto tettonico, costituito dalla "linea" Posada-Asinara interpretato come un segmento della sutura ercinica sudeuropea. Una fascia milonitica con frammenti di crosta oceanica (le stesse metabasiti sporadicamente presenti anche nel Complesso di Alto Grado, più a nord) che dalla foce del fiume Posada attraversa tutta la Sardegna settentrionale fino all'Isola di Asinara, laddove la scarsità di crosta oceanica coinvolta potrebbe essere dovuta ad una convergenza obliqua fra le due placche (Armorica e Gondwana).

La collisione è testimoniata da due eventi metamorfici:

- il primo, che caratterizza il "Complesso di Alto Grado", è un metamorfismo precoce in facies eclogitica; nel Massiccio Centrale Francese e nel Massiccio Armoricano questo metamorfismo ha età radiometriche comprese tra 430 e 380 Ma (non esistono datazioni analoghe per la Sardegna settentrionale e la Corsica);
- il secondo metamorfismo, che interessa il "Complesso di Medio e Basso Grado" e la "Linea Posada-Asinara" è connesso all'appilamento crostale che ha accompagnato la collisione continentale. Le coperture del margine sottoscorrente (ossia del "Complesso di Basso e Medio Grado") rappresentate dalle sequenze sedimentarie e vulcaniche del Cambriano-Carbonifero inferiore si sono scollate dal loro basamento e accumulate in una pila di falde comprese tra la linea Posada-Asinara e la "Zona Esterna" della catena costituita dal Sulcis-Iglesiente (Sardegna SW).

A sua volta il Complesso di Basso e Medio Grado può essere suddiviso in due parti nettamente diversificate dal punto di vista metamorfico e stratigrafico, separate dalla linea ideale che unisce la Barbagia con la costa di Tertenia. Questa linea presenta infatti tutte le caratteristiche di un contatto tettonico di primo grado essendo marcata da fasce cataclastico-milonitiche e da evidenti discordanze tra le diverse unità geologiche a contatto.

Tra il contatto citato ed il Complesso di Alto Grado della Sardegna settentrionale (Baronie, Gallura Asinara) affiorano metamorfiti di basso e medio grado che costituiscono il Complesso delle "Falde Interne", mentre a sud del contatto medesimo affiorano le unità tettoniche del Sarcidano, Salto di Quirra, Gerrei e Sarrabus: il Complesso delle "Falde Esterne".

Nell'area delle falde interne è invece molto diffuso in affioramento (nucleo della "sinforme" della Barbagia e massiccio del Gennargentu) un potente complesso epimetamorfico costituito in prevalenza da una successione terrigena nota in letteratura come "Postgotlandiano" (Vai e Coccozza, 1974). Nonostante il metamorfismo più intenso, la rarità dei livelli guida e dei ritrovamenti fossiliferi renda spesso incerta l'attribuzione litostratigrafica dei protoliti di questo complesso, esso è stato correlato con l'Unità di Fiorentini affiorante e proprio nel Goceano (Oggiano, 1991).

Successivamente, il basamento sardo è interessato da una inversione postcollisionale della tettonica, da compressiva a distensiva, che nelle zone interne dell'orogene (Sardegna settentrionale) inizia probabilmente più precocemente, nel Carbonifero inferiore, mentre nella Sardegna centro meridionale ha avuto luogo tra il Carbonifero superiore (Westfaliano) e il Permiano, quando al termine della convergenza il collasso gravitativo ha coinvolto tutta la crosta inspessita.

Il passaggio dal Paleozoico al Mesozoico nelle medesime condizioni ambientali ha reso problematica una dettagliata suddivisione stratigrafica a causa della scarsità di fossili in quei livelli.

In questo paragrafo ci limiteremo a fare un rapido escursus sull'evoluzione paleogeografica del Permiano. Le successioni sono costituite per un primo periodo dai sedimenti di ambiente continentale permotriassici trasgressivi sulla catena ercinica sottostante, peneplanata a seguito della intensa erosione che ha caratterizzato la fine dell'era paleozoica (post-carbonifera). I sedimenti appena citati, attribuiti al Permiano, dove presenti (Nurra), poggiano in discordanza su filladi quarzifere attribuite all'Ordoviciano. Nella Nurra è inoltre presente la sequenza di facies triassiche più completa della Sardegna, riferite al "tipo germanico". La sedimentazione inizia in ambiente continentale nel Trias inferiore e passa ad un ambiente lagunare evaporitico e litorale nel Trias medio e superiore.

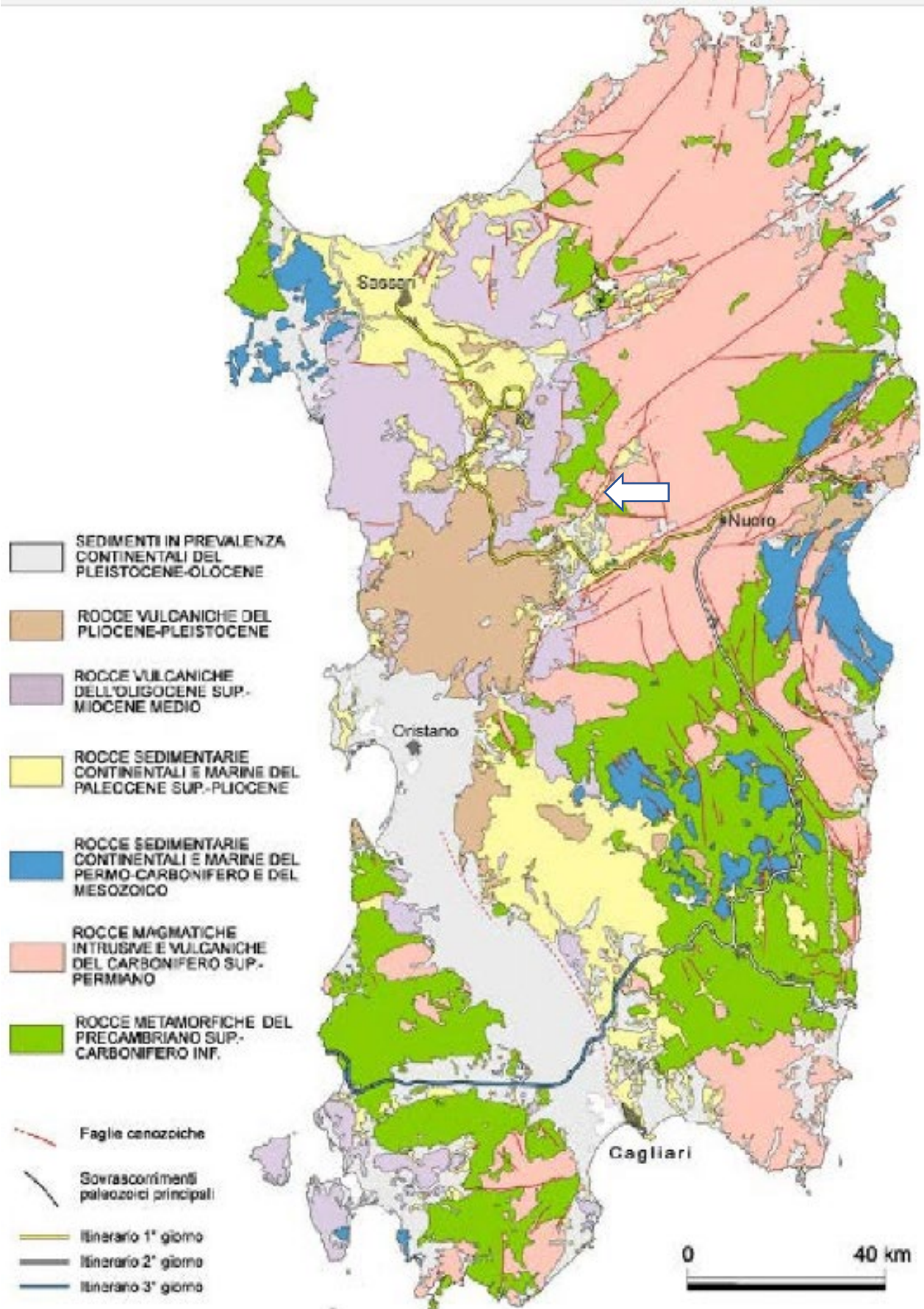


Fig. 13 Lo schema strutturale dell'Isola con evidenziata l'area in esame da cui si può evincere l'assetto derivato dalla sopraddette descrizioni (Carmignani et. al, 2008)

All'inizio del Giurese, nel settore occidentale della Sardegna, all'ambiente lagunare evaporitico del Trias superiore si sostituisce un ambiente di piattaforma costiera. Non vi sono indizi attendibili per dimostrare la completa sommersione dell'intera Isola durante il Giurese; appare tuttavia probabile che l'estendersi dell'ingressione marina, da occidente verso oriente, abbia isolato una dorsale mediana la quale, in qualche punto, ha consentito una certa comunicazione tra il bacino occidentale e quello orientale. Per le differenti caratteristiche litostratigrafiche si possono distinguere tre ambienti diversi di sedimentazione. Il bacino occidentale, il bacino orientale ed una zona centrale, detta "dei tacchi".

Nel bacino centrale (Barbagia di Seui e Belvi, Sarcidano) le successioni giuresi hanno quella particolare morfologia e giacitura indicata col nome di "tacchi o tønneri" e mostrano caratteri litostratigrafici che le differenziano dagli altri due bacini.

Il periodo compreso tra il Cretaceo e l'Eocene medio, è caratterizzato da depositi di sedimenti continentali e marini non interessati da importanti strutture tettoniche, nemmeno nei depositi trasgressivi dell'Eocene poggianti in discordanza sul Paleozoico. Nel Cretaceo, infatti, i tre bacini marini che con probabilità si sono instaurati nel Giurese, pur con qualche modifica nei limiti geografici e di estensione sembra abbiano persistito.

Dall'Era mesozoica, caratterizzata da una sostanziale tranquillità dal punto di vista geologico-strutturale, si passa all'Era cenozoica durante la quale, pur persistendo il carattere cratonico, l'Isola subisce i riflessi del ciclo orogenico alpino che vi ha causato la fratturazione del basamento paleozoico ed il parziale piegamento e dislocamento delle sequenze sedimentarie mesozoiche (dove presenti).

La tettonica terziaria del basamento Sardo-Corso deve essere correlata con l'evoluzione dei tre margini che lo caratterizzano:

- un margine collisionale, iniziato verso la fine dell'Era mesozoica, seguito da una distensione che per alcuni autori ha avuto inizio nell'Oligocene (Boccaletti et al., 1971; Dercourt et al., 1986), secondo altri nel Miocene inferiore (Egal, 1992);
- un margine passivo con una fase di rifting (Oligocene superiore) e un moto di deriva e rotazione del blocco Sardo-Corso (Burdigaliano), da associare all'apertura del Bacino delle Baleari e del Mar Tirreno settentrionale (Cherchi e Montadert, 1982, 1984; Bellon et al., 1977; Rehault, 1981; Genesseeux et al., 1989; ecc.);
- un margine passivo riferibile al Miocene superiore-Pliocene associato all'apertura del Mar Tirreno meridionale (Sartori, 1989).

4.2 Geologia, litologia e caratteri geostrutturali dell'area in esame

Gli elementi geologico-strutturali che, a grande scala, caratterizzano il territorio in esame sono:

- il complesso metamorfico ercinico (ed il magmatismo granitoide associato);
- il sistema di faglie trascorrenti sinistre di età terziaria con trend NE-SW e N-S;
- il vulcanismo oligo-miocenico e plio-quadernario.

Nel territorio in esame sono presenti in affioramento litologie riferibili al Paleozoico, al Cenozoico, al Quaternario ed attuali; mancano terreni attribuibili al Mesozoico durante il quale probabilmente per l'emersione di questo settore dell'Isola vi è stata una parziale interruzione della sedimentazione accompagnata da processi di erosione. Non tutte le determinazioni di età geologica dei singoli affioramenti sono sicure in quanto, soprattutto per quanto concerne i depositi quaternari ed attuali privi di riferimenti paleontologici, ci si è basati sui rapporti stratigrafici reciproci e sulle analogie regionali relative alla dinamica geomorfologica.

Il Paleozoico

Il Paleozoico è rappresentato dal complesso metamorfico affiorante delle Catene del Marghine e del Goceano, dalle rocce granitoidi e dalle manifestazioni filoniane connesse di cui daremo di seguito una descrizione delle principali facies e differenziazioni.

Facies metamorfiche

Nell'area di interesse sono presenti tre facies metamorfiche principali; si tratta di affioramenti risalenti ad un periodo compreso tra il Cambro-Ordoviciano ed il Devoniano, situati lungo il complesso metamorfico che costituisce la parte sommitale della catena del Goceano, da Burgos ad Anela. Questi affioramenti presentano una evidente giacitura di copertura dei graniti sottostanti, messi in posto durante l'orogenesi ercinica e diffusamente rappresentati in particolare nel settore ad oriente della catena. Dal punto di vista litologico i caratteri stratigrafici dell'area presentano numerose analogie con la formazione di Meana Sardo, affiorante tra la Barbagia di Belvi e la Barbagia di Seulo. Il termine metamorfico più antico forma l'Unità di Ozieri, presente in grande prevalenza nei territori di Illorai, Burgos, Bono, Anela e Bultei. L'immersione strutturale della catena verso ovest determina l'affioramento dei termini più profondi nel versante orientale. Dal basso sono stati distinti all'interno del territorio di nostro interesse, i seguenti termini dell'Unità:

- un complesso costituito da alternanze di metarenarie quarzitiche e metapeliti grigio scure; nella parte alta sono presenti banchi di qualche metro di spessore di meta-microconglomerati ad elementi di quarziti. In relazione a questo ultimo termine, che si trova a contatto con le metavulcaniti sovrastanti ed è interessato da metamorfismo pre-ercinico, si ipotizza una fase di emersione con erosione del vecchio basamento che troverebbe riscontro con la Fase Sarda dell'Ordoviciano inferiore (Discordanza Sarrabese). Lo sviluppo verticale raggiunge valori massimi di 600 mt a M.te Rasu (1239 s.l.m.). Sebbene non si siano rilevate strutture sedimentarie ben conservate, i caratteri d'insieme fanno ritenere si tratti di depositi a carattere torbiditico, correlabili con le Formazioni di Solanas e/o S. Vito (Oggiano 1994, Calvino 1972, Minzioni 1974).
- un complesso metavulcanico costituito da metaderivati da vulcanoclastiti acide, conglomeratiche che affiorano a M.te Pisano in associazione con altre metavulcaniti acide correlabili con la successione vulcano-sedimentaria diffusamente rappresentata nella Sardegna SW. Risalgono alla fase di collisionale tra placche oceaniche dell'Ordoviciano medio, ampiamente descritta dal punto di vista geodinamico e litologico nel capitolo precedente.
- una successione terrigena, trasgressiva sulle metavulcaniti precedenti, costituita da metarenarie quarzoso feldspatiche, metasiltiti, quarziti e livelli conglomeratici. I caratteri composizionali e tessiturali della successione sono stati correlati con i sedimenti trasgressivi caradociani dell'Unità di Meana Sardo. Intercalati in questi sedimenti sono stati rinvenute metabasiti ad affinità alcalina.

Dal punto di vista tettonico, l'area in esame appartiene al sistema delle catene del Marghine e del Goceano che, costituendo un *höst* paleozoico, segnano il margine orientale della fossa sarda. Procedendo verso ovest, infatti, il basamento sprofonda gradualmente, secondo un sistema di blocchi gradonati, sepolto dalle vulcaniti terziarie. In quest'area, pur con evidenti condizionamenti legati alla diversa natura delle litologie rispetto alle aree granitiche, prevale un trend di discontinuità con orientazione NE-SW, caratteristico anche dei sistemi filoniani di M.te Rasu.

Rocce granitoidi

Il complesso intrusivo ercinico affiora diffusamente nel versante orientale e meridionale della catena del Goceano. Gli affioramenti più vicini all'area di interesse si trovano a ovest dell'abitato di Bono ed al confine con il territorio di Burgos e nella valle del Tirso dove localmente risultano nascosti all'osservazione diretta dai terreni di copertura di origine detritica. Dal punto di vista composizionale prevalgono i termini più basici a tendenza tonalitica, con cristalli di K-feldspato rosati pluricentimetrici. Si tratta di plutoniti a grana media caratterizzate quasi sempre da marcata anisotropia tessiturale dove, non di rado, sono presenti degli inclusi a grana fine di composizione dioritico-tonalitica. L'età radiometrica, determinata con il metodo Rb/Sr, ha rivelato per questa facies intrusiva un'età di 307 ± 6 Ma. L'insieme degli elementi giacaturali, tessiturali e strutturali suggerisce una messa in posto a livelli alto crostali in un contesto cinematico. Sono state differenziate le seguenti facies, elencate in ordine cronologico, dalla più antica:

- dioriti quarzifere, granodioriti;
- graniti a grana media;
- graniti pegmatitici a grana grossa;

- micrograniti a struttura da granulare a porfirica.

Manifestazioni filoniane

Le manifestazioni filoniane possono essere distinte in due gruppi:

- i filoni basici che hanno una composizione prevalentemente basaltica ad affinità calcalkalina e subordinatamente shoshonitica (molto frequentemente in letteratura si fa riferimento ai tipi lamprofirici), la loro cronologia è molto incerta e complessa poiché intersecano un po' tutte le facies intrusive e sono in gran parte legati alla fratturazione del basamento nelle fasi tardo erciniche;
- i filoni a composizione intermedia e acida mostrano una buona affinità con le facies intrusive diffuse nel territorio (anch'esse a chimismo intermedio); i filoni di porfidi granitici non particolarmente diffusi nel territorio di interesse, presentano localmente una isorientazione prevalente che con molta probabilità riflette i sistemi di fratture prevalenti nel basamento nelle fasi tardo-erciniche e permo-triassiche;
- i filoni quarziticci presenti lungo il versante occidentale del massiccio del M.te Rasu.

I terreni di copertura (Quaternario e attuale)

Nella Catena del Goceano, sia a causa di un reticolo idrografico non particolarmente sviluppato, sia per la limitatezza dei bacini idrografici di raccolta, non si registrano depositi ciottolosi di origine alluvionale degni di nota. I processi di alterazione e disgregazione chimica del basamento paleozoico o cenozoico, infatti, hanno avuto una assoluta prevalenza su quelli fisico-meccanici e gli alvei attuali sono quindi interessati dalla presenza di depositi prevalentemente sabbiosi. Tuttavia, lungo alcuni ripidi versanti dei rilievi paleozoici si possono registrare diffusi processi gravitativi con falde detritiche di una certa rilevanza in spessore ed estensione.

Nel settore di interesse, la più intensa attività geomorfologica ed il prevalere dei processi di trasporto hanno generato depositi di copertura estesi e variegati sia dal punto di vista composizionale e stratigrafico, sia dal punto di vista delle modalità di messa in posto.

Sono presenti dei depositi degli alvei attuali caratterizzati da una più o meno abbondante componente sabbiosa o ciottolosa, in ragione della estensione del bacino imbrifero, della natura del substrato e dei fattori del modellamento del rilievo, maggiormente sviluppati a valle dell'abitato di Bono.

I detriti di falda, presenti in maniera diffusa soprattutto nell'area a monte dell'abitato e interessanti direttamente le opere in progetto, sono rappresentati da depositi di versante incoerenti o a debole cementazione, cumuli detritici e blocchi di frana immersi nella matrice terrigeno-clastica.

I depositi di versante sono costituiti da clasti eterometrici di scisto e granito con spigoli smussati o arrotondati a causa dei processi di alterazione e anche se non particolarmente elaborati, immersi in una matrice prevalentemente sabbiosa nelle aree granitiche e sabbioso-argillosa dove prevalgono le metamorfite. Lo spessore di questi detriti è variabile nell'ordine dei metri; raramente raggiunge profondità consistenti e sfuma gradualmente verso le sottostanti rocce del basamento granitico metamorfico alterato al tetto.

I cumuli detritici sono formati da clasti sciolti a spigoli vivi di dimensioni generalmente non superiori ai 20-30 centimetri, accumulati al piede di ripide pareti, di cornici o bancate vulcaniche o picchi rocciosi in quota. Nelle stesse aree, non di rado, sono inoltre disseminati blocchi rocciosi di considerevoli dimensioni.

Le coperture terrigene eluvio-colluviali rappresentano depositi molto limitati in estensione, presenti su paleo-depressioni, in piccole vallecicole o su superfici a deboli ondulazioni. Poggiano in livelli ad andamento lenticolare direttamente sul basamento scistoso o granitico paleozoico più o meno intensamente alterati e spesso sfumano direttamente verso i detriti sopra ricordati. Sono costituiti da terre limo-sabbiose o argilloso-sabbiose incoerenti, di colore scuro a causa dell'abbondante sostanza organica e possono essere sede di falde acquifere stagionali di scarsa potenzialità. La potenza di queste coperture è estremamente variabile tra i 30 e 60 cm delle aree collinari ai 2-3 metri delle depressioni o del fondovalle. Nelle aree pedemontane del versante orientale della Catena del Goceano, a partire dalla linea di rottura topografica del versante della catena, quindi in pratica

dall'area dell'abitato, sono presenti dei depositi di tipo glacis piuttosto compatti, con clasti smussati di granito e matrice prevalentemente sabbioso-argillosa.

La potenza osservabile è variabile fra 1 e 3 metri, ma può superare localmente i 4 metri. Questi depositi, generalmente, ricoprono il basamento paleozoico e vulcanico terziario, le colline di granito arenizzato e, localmente, giacciono sotto i terrazzi antichi.

La carta allegata ricostruisce la situazione geologica e litologica dell'area interessata dalla realizzazione degli interventi.

Neotettonica

Il territorio in esame, rientrando interamente nel F°194 e comprendente la valle del Tirso, gli intervalli di tempo presi in esame in letteratura sono: 2° (da 5.2 a 3.4 Ma); 3° (da 3.4 a 0.7 Ma); 4° (da 0.7 a 0.018 Ma); 5° (da 0.018 Ma all'attuale). Durante gli intervalli II e III può essere suddivisa in due settori:

- l'area più occidentale è caratterizzata da un sollevamento generale durante gli intervalli II e III lungo faglie precedenti riattivate. Il sollevamento è testimoniato dalle consistenti coltri alluvionali presenti lungo la faglia Illorai-Tavolara (all'epoca attiva) su cui si è parzialmente impostato il Fiume Tirso; inoltre, la rete idrografica è fortemente incassata e vi sono indizi di una paleoidrografia assai differente dall'attuale.
- l'area centro-orientale, interposta tra la faglia di Illorai-Tavolara e la faglia di Nuoro, durante gli stessi intervalli è anch'essa in sicuro sollevamento anche se in misura minore rispetto alle aree contigue; il settore è inoltre caratterizzato da alcune valli impostate su faglie di difficile datazione e paleosuperfici ben conservate.

Nell'intervallo IV, l'analisi degli indizi morfologici e tettonici non ha consentito una datazione attendibile dei fenomeni; gli elementi strutturali citati precedentemente possono quindi essere considerati come probabili, in ogni caso l'erosione regressiva che isola le diffuse paleosuperfici presenti e l'assenza di depositi alluvionali porta a concludere che tutta l'area sia stata soggetta ad un continuo benché debole sollevamento.

Legenda

	COMPLESSO GRANITOIDE DEL GOCEANO-BITTESE
	CORTEO FILONIANO
	DEPOSITI OLOCENICI DELL'AREA CONTINENTALE
	DEPOSITI PLEISTOCENICI DELL'AREA CONTINENTALE
	DISTRETTO VULCANICO DI BONORVA
	DISTRETTO VULCANICO DI OTTANA
	SEDIMENTI ALLUVIONALI
	SEDIMENTI LEGATI A GRAVITÀ
	SUCCESSIONE SEDIMENTARIA OLIGO-MIOCENICA DEL BACINO DEL TIRSO
	UNITÀ TETTONICA DI FIORENTINI
	UNITÀ TETTONICA DI OZIERI

Fig. 14a Carta geolitologica di dettaglio dell'area di intervento

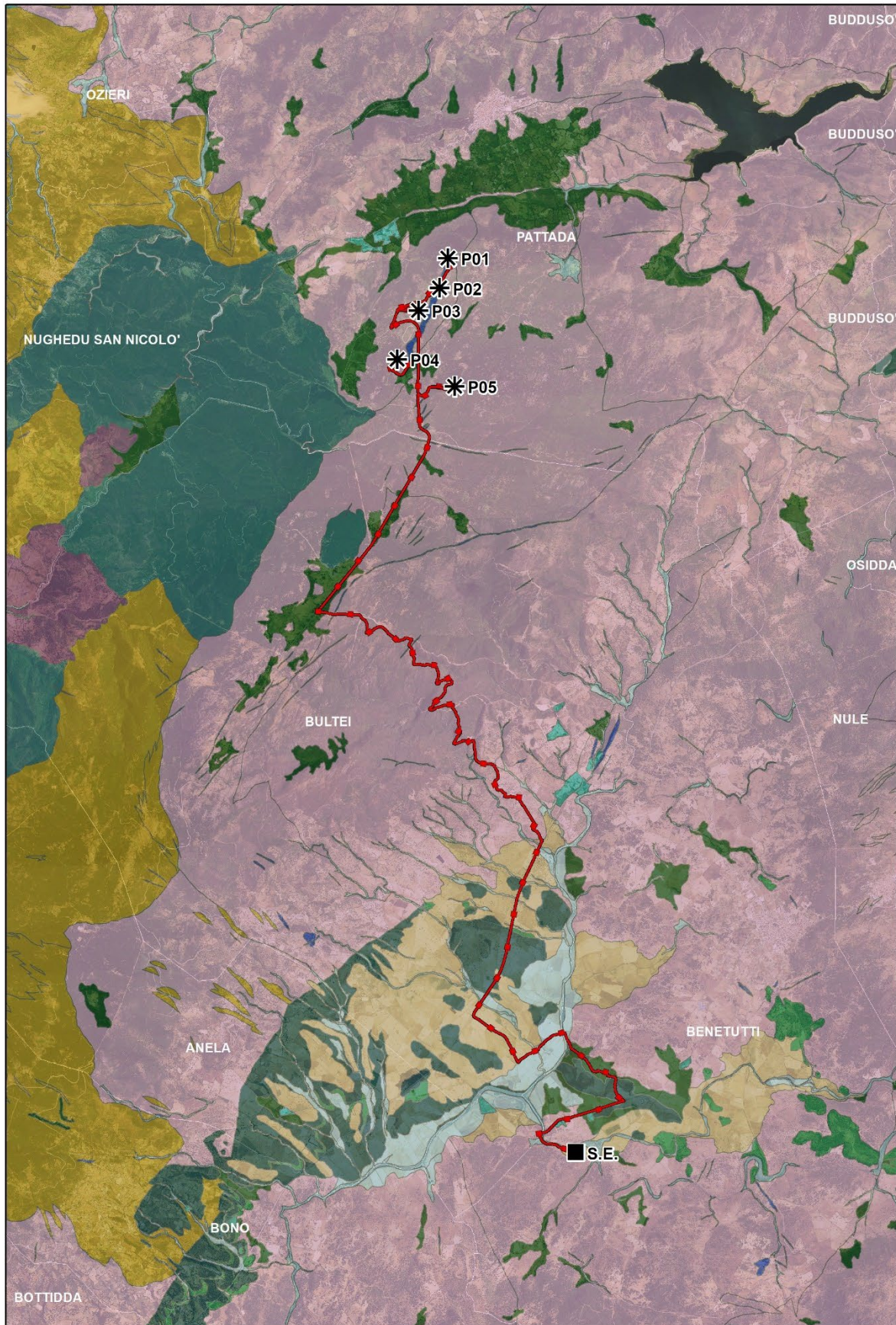


Fig. 14b Carta geolitologica di dettaglio dell'area di intervento

5 LA GEOMORFOLOGIA

5.1. Premessa

Le forme del rilievo dell'area derivano principalmente dall'evoluzione geologico-strutturale e dalle litologie affioranti; la prima (sia di età Paleozoica, sia di età Cenozoica) ha infatti prodotto faglie a diversi stili tettonici con frammentazioni e dislocazioni di masse litoidi e, nel terziario, estesi ed intensi episodi vulcanici. L'area in esame, e il Goceano in generale, di fatto, evidenzia in quale misura la complessità dell'assetto strutturale si sia riflessa sull'evoluzione del rilievo. Profondi ed estesi processi deformativi con formazione di pieghe ad elevata inclinazione, falde di ricoprimento e sovrascorrimenti, intrusione dei graniti, innalzamento crostale e conseguenti intensi processi erosivi, vulcanismo terziario e plio-quadernario sono tutti processi all'origine dei netti contrasti del rilievo che caratterizzano il territorio.

Nel settore indagato, le principali forme a grande scala sono:

- l'alto strutturale rappresentato dall'horst metamorfico paleozoico che costituisce la Catena del Goceano (quota massima M.te Rasu con 1.258 m s.l.m.);
- espandimenti vulcanici relativi al ciclo calcareo sardo oligo-miocenico e del plio-quadernario non affioranti nell'area di interesse;
- superfici strutturali di raccordo tra rilievi paleozoici e cenozoici;
- il basso strutturale, costituito dall'alta valle del Tirso (quota minima circa 220 m s.l.m.) ugualmente fuori zona, sotto l'abitato di Bono.

Nell'ambito dell'indagine geomorfologica, scendendo a scala più operativa, sono state eseguite due suddivisioni essenziali, tali da permettere di individuare le principali unità geomorfologiche, le forme ed i processi responsabili dell'attività morfogenetica attuale.

Le "unità geomorfologiche" rappresentano un quadro di riferimento fisico-geografico con tre settori principali costituiti dai rilievi montani, dalle fasce pedemontane di raccordo e dalle valli a moderata acclività. Questi settori sono tutti singolarmente interessati e/o collegati da processi geomorfologici del passato e attuali (si tratta, in definitiva, di aree che presentano una certa omogeneità in quanto evolutesi in base a processi morfogenetici ben individuabili).

Gli "elementi geomorfologici" rappresentano invece le forme derivanti da un modellamento dovuto a processi fisico-chimici quali alterazione chimica della roccia (ad es. dissoluzione dei calcari, idrolisi dei silicati), azione delle acque correnti superficiali e della gravità. Le principali unità individuate e distinte nell'area su base lito-morfologica sono le seguenti:

- rilievi montani su rocce metamorfiche (Catena del Goceano);
- rilievi collinari e superfici a deboli ondulazioni dell'alta valle del Fiume Tirso.

Vengono di seguito descritti i caratteri salienti delle unità geomorfologiche individuate nell'area e, nell'ambito di ciascuna di queste, le forme di erosione e di accumulo che ne precisano con maggior dettaglio le morfogenesi recenti e attuali; un paragrafo a parte sarà dedicato alla descrizione del reticolo idrografico e dei processi torrentizi.

5.2 Rilievi montani e collinari su rocce metamorfiche e granitoidi paleozoiche (Catena del Goceano)

Come detto, il «contraccollo» terziario dell'Orogenesi alpina (caratterizzato da diverse fasi tettoniche di carattere disgiuntivo) è stato accompagnato in Sardegna da una fase di *rifting* ed un moto di deriva della zolla sardo-corsa; questa evoluzione ha determinato la frattura, lo sprofondamento e la dislocazione del basamento paleozoico che è stata tanto maggiore quanto più ci si avvicina all'asse della fossa sarda. Tale evoluzione strutturale è all'origine del pilastro

tettonico della Catena del Goceano delimitato a ovest da faglie e rilievi collinari metamorfici da considerarsi come forme evolutive legate all'erosione post-ercinica.

La morfologia di queste aree, che costituiscono il versante occidentale della catena del Goceano e del Margine, non appare nel complesso particolarmente aspra: alle quote superiori (come detto, la vetta più alta è rappresentata dal M.te Rasu, 1.258 m) prevalgono i fattori morfogenetici di carattere fisico. Le due catene montuose sono infatti soggette ad intensi processi erosivi da parte degli agenti esogeni, ed in particolare dalle acque incanalate che esplicano la loro azione soprattutto in concomitanza di violenti temporali (in prevalenza nelle aree scistose che sono le più degradate). Tuttavia, non sembra che questi processi diano luogo a sostanziali alterazioni dell'equilibrio morfologico esistente anche perché i ripidi versanti delle vette più elevate si raccordano con le aree collinari a quote medie caratterizzate dal vulcanismo terziario e quaternario senza salti morfologici particolarmente elevati.

Nel settore a ovest della Catena, alle quote medie (intorno 750-800 m s.l.m.), vicini al raccordo con le litologie vulcaniche terziarie, sono presenti forme collinari arrotondate (peneplanate ?) ove le rotture di pendio nette sono molto limitate e localizzate lungo alcune incisioni fluviali connesse alla neotettonica del settore.

L'evoluzione di queste superfici, generalmente caratterizzate da deboli pendenze e in cui prevalgono i fattori morfogenetici di carattere chimico, ha dato luogo alla formazione di una copertura colluviale a prevalente composizione terrigena di spessore generalmente modesto.

Il versante orientale della Catena del Goceano presenta invece mediamente una acclività sensibilmente maggiore dei versanti; esso, infatti, si affaccia sulla piana di Benetutti dove si è impostato il Fiume Tirso, con un dislivello massimo dell'ordine di 800-900 m.

Anche questi versanti sono soggetti ai fattori morfogenetici di carattere prevalentemente fisico, sebbene non di rado il basamento granitoide sia caratterizzato da intensi processi di alterazione chimica. Lungo i versanti, alle quote superiori agiscono intensi processi erosivi dovuti sia agli agenti esogeni ed all'opera delle acque incanalate, sia in forma di erosione areale che esercitano questa azione soprattutto in concomitanza di violenti temporali provenienti da sud e sud-est (in prevalenza nelle aree scistose che sono le più degradate o caratterizzate dall'affioramento di roccia nuda o da un suolo estremamente sottile).

Questi processi, comunque, non danno luogo a sostanziali alterazioni dell'equilibrio morfologico esistente se non laddove la copertura vegetale risulta particolarmente degradata e dove i diffusi interventi antropici sui versanti (disboscamenti, sentieramenti, incendi) hanno creato delle superfici particolarmente sensibili all'azione erosiva delle acque meteoriche.

Proprio a metà quota del suddetto versante (400 – 500 m), dove si registra la prima rottura di pendio netta, si è sviluppato il centro abitato di Bono. Il basamento di questo settore, costituito in gran parte da intrusioni granitoidi ed in minor misura da alcuni lembi di vulcanismo calcocalino oligo-miocenico, è stato in gran parte sepolto da una coltre detritica in forma di conoide (glacis d'accumulo).

La dinamica geomorfologia successiva alla sua deposizione, per il carattere sedimentologico del materiale deposizionale, ha determinato il suo smembramento in rilievi collinari a profilo convesso allungati verso il fondovalle riesumando, in alcune aree, il basamento. Nella fascia altimetrica inferiore (300-400 m), i glacis di accumulo poggiano sul basamento granitoide e vulcanico terziario riesumato e sono ricoperti dalle alluvioni ciottolose terrazzate antiche, originate da alcuni affluenti di destra del Tirso (Rio Bicole, Rio Pabusi, Rio Nurcoro).

Queste alluvioni sono caratterizzate dalla tipica morfologia tabulare con debole inclinazione verso l'alveo dei corsi d'acqua da cui sono state generate.

In queste aree si esplicano gli stessi processi erosivi precedentemente illustrati, localmente aggravati dalla impermeabilità del manto asfaltato dell'area urbanizzata che, oltretutto, costituisce

uno sbarramento al naturale deflusso delle acque meteoriche provenienti da monte. Gli agenti esogeni, quindi, rappresentati in questo caso sia dalle acque incanalate dal dedalo di viuzze asfaltate sia dall'erosione areale, esercitano questa azione in concomitanza di violenti temporali prevalentemente nelle aree con le coperture detritiche o con il basamento graniticoide fortemente alterato che sono le più erodibili.

Per gran parte del territorio urbanizzato, tuttavia, questi processi non danno luogo ad alterazioni particolarmente gravi dell'equilibrio morfologico esistente, se non laddove la copertura vegetale risulta particolarmente degradata e dove l'imperizia degli interventi antropici sui versanti (disboscamenti, sbancamenti, ecc.) ha creato delle superfici particolarmente sensibili all'azione erosiva delle acque superficiali di origine meteorica, in quanto non adeguatamente regimate dal punto di vista idraulico o controllate dai fattori che predispongono all'instabilità dei versanti.

Ancora più a valle, lungo la stretta fascia che dalla quota di 300 metri degrada verso la sponda destra del Tirso, affiora nuovamente e diffusamente il basamento graniticoide.

L'andamento del rilievo è caratterizzato generalmente da pendenze deboli o al più moderate, da cupole rocciose emergenti per morfoselezione, numerosi picchi rocciosi isolati e forme derivanti dal disfacimento subaereo (tafoni in parete o basali).

5.3 Rilievi collinari e superfici a deboli ondulazioni dell'alta valle del Fiume Tirso

I rilievi su rocce granitiche, maggiormente rappresentati nel settore sud-orientale del territorio in esame, anche se in parte fuori dall'area in studio, sono molto estesi e costituiscono la fascia altimetrica meno elevata. Si presentano sia sotto forma di massicci sia di creste e picchi rocciosi non di rado allineati secondo direttrici prevalenti che indicano sovrapposizioni e interferenze con eventi strutturali coevi o successivi alla loro messa in posto.

La cintura di rilievi più esterna lungo il confine sud-orientale del territorio comunale, è costituita dalle pendici settentrionali della Serra di Orotelli tra Nidu e S'Abile (531 m) e P.ta Su Arzu (637 m) e, ad est, dall'allineamento tra Contra D'Oschiri (598 m), M.gu de Laranei (473 m), M.sa Turrita (456 m). Procedendo da Nidue e s'Abile verso occidente, la cintura di rilievi procede in direzione NNE-SSW per circa 2,5 km, interrotta dall'alveo incassato del Rio Carradores.

Questa cintura di rilievi indica il limite orientale di un ambito degradante verso l'asse principale del Tirso dalle quote massime, intorno ai 600 metri, fino ai 230 metri che rappresentano la quota media del corso d'acqua citato nel tratto di nostro interesse.

L'andamento del rilievo è caratterizzato generalmente da pendenze deboli o al più moderate, da cupole rocciose emergenti per morfoselezione, numerosi picchi rocciosi isolati e limitate forme derivanti dal disfacimento subaereo (tafoni in parete o basali).

Le forme del rilievo evidenziano sostanzialmente la prevalenza dei fattori morfogenetici di carattere chimico rispetto a quelli di carattere fisico; infatti, i processi di carattere gravitativo sono limitati alle pareti verticali e sub-verticali delle forme residuali distribuite "a macchia di leopardo" in tutto questo settore (cupole rocciose o picchi isolati) e alle falde detritiche presenti lungo i versanti più ripidi degli alvei incassati.

Aree quindi limitate e ben localizzabili, in cui non si segnalano rilevanti fenomeni di instabilità geomorfologia connessi a un grave degrado della copertura vegetale o a processi di denudazione ma nelle quali sussistono per lo più fattori di pericolosità geomorfologia potenziale da porre in relazione con eventi meteorici di carattere eccezionale.

5.4 Idrografia e processi torrentizi

L'horst paleozoico costituito dalla catena del Goceano delimita anche il bacino idrografico del Fiume Tirso. Il crinale principale di separazione, all'interno del settore di interesse e partendo da

nord, è formato dall'allineamento del M.te Unturzu (1103 m.), P.ta Chelchidores (1117 m), P.ta Masiedda (1152 m), P.ta di Bobore Manchinu (1176 m), M.te Rasu (1258 m).

Il Tirso nasce nell'altopiano di Buddusò tra i rilievi di M.te Longos (925 m) e Sa Janna Bassa (955 m) dove assume la denominazione di Rio de Su Campu; in questo tratto del corso d'acqua la litologia è rappresentata da graniti ed in minima parte da sequenze metamorfiche paleozoiche.

Dopo circa 6 chilometri dalla testata in località Sos Canales, una traversa da origine ad un invaso con capacità utile di circa 3,6 Mmc, la cui acqua è utilizzata per usi civili in diversi centri del Goceano.

A valle dello sbarramento di Sos Canales, il Tirso procede con direzione ENE-WSW per circa 6 km per poi deviare per altri 10 km assumendo la direzione prevalente NE-SW; successivamente assume direzione N-S per altri 5 km e, subito dopo una nuova deviazione secondo la direzione ENE-WSW, raggiunge il Rio Mannu di Benetutti, importante affluente della sinistra idrografica, procedendo secondo questo trend per ancora 5 km circa. Alla fine dell'ultimo tratto citato raggiunge il territorio di interesse, a ben 31 km dalla testata. Dopo un'ultima deviazione, secondo direzione NNE-SSW, procede per altri 10 km circa, superando abbondantemente i confini del territorio in esame. Proprio 700-800 m oltre questo confine, a valle, si unisce al Tirso un altro affluente di sinistra di una certa importanza, il Rio Carradores che ha nel territorio di Bono una parte rilevante del suo bacino imbrifero. Questo Rio nasce in un tratto del versante settentrionale della Serra di Orotelli formante una conca compresa tra Nidu E S'Abile (581 m), P.ta Corra Gherbina (594 m), P.ta Sas Ranchidas (562 m). Il ramo principale nel primo tratto è chiamato Rio Crastadulesu ed ha una direzione NNW-SSE per circa 2,5 km. Dopo una piccola deviazione di circa 300 m con un angolo di quasi 90 gradi (in direzione NNE-SSW), in corrispondenza della quale riceve l'affluente di destra Rio Costa de Calarighes (avente stessa direzione NNE-SSW), riprende nuovamente il trend precedente per altri 2 km con il nome di Rio Sas Vortas. Segue col nome di Rio Carradores per un tratto di 6 km con andamento meandriforme ed irregolare ma con trend prevalente E-W fino al congiungimento con il Tirso. Il ramo principale ha una lunghezza di circa 10,5 km. Sempre limitandoci al sub-bacino imbrifero rientrante nel territorio in esame, si può affermare che il contributo al Tirso degli affluenti di destra è dato da numerosi torrenti caratterizzati da un decorso non molto sviluppato in lunghezza: Rio Mulinu, Rio Montrigori, Riu Bicole, Riu di Nurcaro, Riu Caramidda, Rio di Pabusi, Rio di Nurcora. Si tratta di corsi d'acqua che presentano uno sviluppo prevalentemente perpendicolare all'asta del Tirso provenienti dai ripidi versanti orientali della Catena del Goceano culminante nel M.te Rasu e nella P.ta Bobore Manchinu. Tutto il tratto del Tirso esaminato, ma con ancora più evidenza i suoi affluenti di sinistra, sono fortemente condizionati dalla tettonica, presentano infatti un andamento a tratti meandriforme con alveo incassato, a tratti angolato. L'area in esame, in particolare, è caratterizzata da un'idrografia a carattere prevalentemente torrentizio. I corsi d'acqua presentano portate estremamente variabili nel corso dell'anno ideologico, da porre in stretta relazione con gli apporti pluviometrici stagionali. Segue una lenta e graduale diminuzione delle portate durante i mesi primaverili, fino al raggiungimento dei minimi nei mesi di agosto e settembre. Non di rado possono registrarsi delle piene improvvise e di breve durata, da porre in relazione con violenti temporali più frequenti nel semestre più caldo dell'anno. Questo è tanto più frequente e rilevante per gli scopi del presente lavoro, nelle aree con basamento metamorfico paleozoico, caratterizzate da permeabilità piuttosto bassa. Tuttavia, per quanto concerne i processi connessi alla dinamica fluviale non sono state rilevate situazioni di particolare pericolosità. I fenomeni cui prestare comunque maggiori attenzioni restano:

1. erosioni spondali e divagazioni localizzate in alcuni limitati tratti del Tirso e dei principali affluenti caratterizzati da un andamento meandriforme;

2. un certo "disordine idraulico" in alcuni impluvi ed incisioni che caratterizzano il centro abitato l'area urbana di Bono; si tratta di aree in cui si passa procedendo da monte a valle da aree ad elevata pendenza con incisioni nette in solchi di ruscellamento concentrato che raccolgono le acque circolanti lungo i versanti, ad aree dove una rottura di pendio piuttosto accentuata riduce le pendenze, in cui non vi è un ben definito alveo torrentizio, spesso a causa dell'accumulo di materiali di riporto e rifiuti di vario genere.

Localmente, la carta geomorfologica elaborata tiene conto di queste dinamiche e mette in evidenza le forme e i processi che interessano direttamente l'area in esame. Non si può non osservare una certa diversità rispetto alla carta geolitologica per quanto concerne le coperture detritiche. In quest'ultima, infatti, le coperture, compresi anche i livelli di alterazione eluviale delle sottostanti metamorfiti e granititi, sono genericamente indicate con una sola voce e interessano tutta la parte del versante sovrastante direttamente il centro abitato, mentre nella precedente, in relazione alla forma sono stati classificati solo quelli che, morfologicamente, le denotano. Ciò anche in relazione alla finalità del presente studio.

6. IDROGEOLOGIA

Com'è noto, in base alla sua capacità di assorbimento ed alla sua permeabilità, una roccia viene penetrata dalle acque meteoriche: questo è il processo di infiltrazione (che è alla base del fenomeno di ricarica degli acquiferi sotterranei). Col ruscellamento, invece, le acque meteoriche non penetrano nel sottosuolo, ma defluendo in superficie giungono in tempi più o meno lunghi al recapito finale. La prevalenza dell'infiltrazione sul ruscellamento o viceversa è legata a fattori geomorfologici, geologici e biologici:

Il principale fattore morfologico che influenza l'infiltrazione ed il ruscellamento è rappresentato dall'acclività dei versanti. All'aumentare dell'acclività, infatti, aumenta l'aliquota di acque meteoriche che scorrono in superficie (ruscellamento) e diminuisce quella di acque che si infiltrano. Anche le caratteristiche degli spartiacque superficiali costituiscono un fattore di condizionamento. In alcuni settori (in particolare quello occidentale), l'area in esame presenta spartiacque piuttosto aperti che determinano una dispersione delle acque superficiali su vaste superfici sub pianeggianti o a deboli pendenze caratterizzate da una idrografia poco sviluppata. Nel settore occidentale, invece, la presenza di un reticolo idrografico meno aperto fa sì che le acque superficiali tendano a raccogliersi nelle aste fluviali principali. Un altro elemento di condizionamento è rappresentato dall'evoluzione delle fratture della compagine rocciosa.

I fattori geologici che condizionano i processi d'infiltrazione o di ruscellamento sono quelli da cui dipende la capacità di assorbimento e percolazione delle acque ossia la permeabilità della roccia. Essi sono essenzialmente la litologia, il grado di fratturazione secondaria (tettonica) e i processi di alterazione superficiale. Il grado di fratturazione secondaria influisce sensibilmente in particolare nelle rocce litoidi in quanto le fratture fanno aumentare la permeabilità della compagine rocciosa. Tra i fattori biologici, il più importante è rappresentato dalla vegetazione; essa riduce sensibilmente l'impatto delle acque meteoriche sul suolo e ne facilita l'infiltrazione a causa della maggiore permeabilità dello strato superficiale interessato dalla deposizione del fogliame e dagli apparati radicali. Le fasce montane e collinari dell'area di interesse sono caratterizzate da elevate acclività e presentano generalmente una buona copertura vegetale; alle quote inferiori è presente invece la copertura erbosa dei pascoli che, per la maggior parte dell'anno, esercita un'importante funzione di protezione del suolo.

Infiltrazione efficace e coefficiente di infiltrazione potenziale (c.i.p.)

Al fine di determinare un ordine di grandezza della quantità d'acqua che si infiltra nel sottosuolo contribuendo al processo di ricarica delle falde e la quantità che defluisce superficialmente, è stato attribuito a ciascun complesso idrogeologico (i complessi idrogeologici sono stati definiti nel paragrafo successivo) un coefficiente di infiltrazione potenziale (c.i.p.), espresso in percentuale rispetto alla pioggia netta; i valori del c.i.p. sono stati scelti in base a dati di letteratura (Celico, 1986; Civita, 1994).

COMPLESSI IDROGEOLOGICI	c.i.p. (%)
Complesso delle metamorfite fessurate e dei graniti l.s.	5÷30
Plutoniti arenizzate	5÷40
Coperture eluviali e colluviali	0÷45
Depositi detritici ed alluvionali	5÷50

Al fine di facilitare la lettura del territorio in chiave idrogeologica, le litologie sono qui di seguito divise e/o accorpate in complessi idrogeologici, in funzione delle loro caratteristiche di permeabilità relativa. Per complesso idrogeologico (Civita, 1973) si intende "un insieme di termini litologici simili aventi una comprovata unità spaziale e giaciturale, un tipo di permeabilità prevalente comune ed un grado di permeabilità relativa che si mantiene in un campo di variazione piuttosto ristretto".

Complesso metamorfico paleozoico e rocce granitoidi

In genere, in Sardegna, le rocce metamorfiche costituiscono degli acquiferi a bassissima permeabilità nei quali l'acqua circola nella parte più superficiale, fino a qualche metro di profondità (Celico, 1986): infatti la parte più superficiale della roccia, che non presenta alcuna solubilità, è interessata da fratture derivanti da fenomeni tettonici, di scistosità e stratificazione. Tra le varie fratture le più acquifere sono quelle verticali e sub-verticali, generalmente associate a sistemi filoniani. La porosità efficace è generalmente molto bassa in rapporto ai più o meno intensi processi di argillificazione legati alle frequenti intercalazioni filladiche. Nell'area in esame la scarsa fratturazione e i processi di argillificazione rendono questo complesso generalmente a permeabilità molto bassa e, solo in aree limitate, a permeabilità media per fratturazione.

Le rocce granitoidi costituiscono degli acquiferi a bassa permeabilità nei quali l'acqua circola nella parte più superficiale, fino a una quota media di 40-50 metri (Celico, 1986): la parte più superficiale della roccia è interessata da fratture derivanti da fenomeni tettonici e di decompressione. Anche in questo caso, tra le varie fratture, quelle più acquifere sono le verticali o sub-verticali e la porosità efficace è generalmente molto bassa. Nel territorio indagato il grado generale di permeabilità è molto basso per porosità, localmente diventa medio-alto per fratturazione.

Complesso delle plutoniti alterate

Alla rete di fratture che interessa la roccia granitoide si sovrappone una coltre superficiale permeabile per porosità costituita da un "sabbione" granitico grossolano localmente frammisto a una frazione argillosa; le fessure, come già detto generate da fenomeni tettonici e di decompressione, in condizioni climatiche favorevoli vengono interessate da una serie di fenomeni di alterazione fisica e chimica tra cui i più diffusi e frequenti sono quelli termoclastici, crioclastici, di idratazione e idrolisi cui si aggiunge l'opera degli apparati radicali che contribuiscono alla disgregazione della compagine rocciosa. Dalla fascia di alterazione si passa gradualmente alla roccia fessurata e di seguito alla roccia sana; altrettanto graduale è la diminuzione della permeabilità nello stesso senso. Non di rado, tuttavia, il contatto tra granito arenizzato e granito fratturato (o la presenza di manifestazioni filoniane a minore permeabilità relativa) costituisce un limite di permeabilità che dà luogo a manifestazioni sorgentizie che raramente hanno portate

significative; nell'area il complesso presenta un grado di permeabilità medio-basso per porosità acquisita.

Complesso dei depositi detritici e dei terreni di copertura

In questo complesso rientrano i termini prevalentemente detritico-conglomeratici e sabbiosi che costituiscono i *glacis* d'accumulo, le coperture dei versanti, le alluvioni terrazzate e gli alvei attuali dei corsi d'acqua. I *glacis* e le alluvioni terrazzate presentano un'abbondante frazione sabbioso-argillosa ed un buon costipamento che ha determinato una debole cementazione ed una permeabilità media per porosità. I depositi degli alvei attuali hanno una limitata estensione e potenza, privi di cementazione, sono formati da ciottoli di dimensioni centimetrica e da una componente sabbiosa sciolta e poggiano generalmente sulle metamorfite, sui graniti, sulle vulcaniti terziarie e sui depositi di copertura più antichi; gli alvei sono molto spesso impostati lungo linee di frattura per cui costituiscono assi di drenaggio preferenziale e sono quindi sede di una certa circolazione idrica che gli conferisce una permeabilità medio-alta per porosità. Altri i depositi più recenti che fanno parte del complesso sono le coltri detritiche dei rilievi paleozoici (metamorfici e granitici): si tratta di clasti a spigoli vivi o smussati a composizione metamorfica, granitica, privi di cementazione con una permeabilità variabile intorno a medio-alta per porosità in relazione alla percentuale di matrice argillosa o sabbioso-detritica. Possono essere comprese all'interno di questa unità idrogeologica anche i terreni di copertura di origine eluviale e colluviale che interessano sia il basamento metamorfico e granitico paleozoico; in essi, localmente, l'elevata incidenza delle argille conferisce alle terre una notevole plasticità rendendo molto lento il drenaggio sotterraneo. In ogni caso, costituiscono delle falde di modesta potenzialità sia per le difficoltà citate nel drenaggio che per l'esiguità delle potenze.

Modello interpretativo della circolazione idrica sotterranea e manifestazioni sorgentizie

La presenza di emergenze sorgentizie nell'area è dovuta alla fratturazione delle rocce del basamento e alla differenza di permeabilità tra diversi complessi lungo una sezione stratigrafica, ad esempio la copertura detritica o le coperture di fondo vale sulle rocce del basamento; le acque meteoriche di infiltrazione scorrono al contatto fino ad emergere lateralmente dove le condizioni di giacitura e di inclinazione del substrato lo consentono.

Nelle fratture all'interno delle metamorfite, che risultano pressoché costantemente sature d'acqua, la circolazione idrica è particolarmente lenta; ancora più lenta sarà la circolazione all'interno delle rocce metamorfiche interessate da processi di argillificazione (nelle metamorfite la circolazione sotterranea è anche condizionata dalla scistosità e dalle giaciture). La fratturazione legata all'allargamento della scistosità, che di norma raggiunge la profondità di alcuni metri, localmente, lungo faglie e fratture, può arrivare a profondità molto maggiori.

In prossimità del tetto delle rocce del basamento, invece, la velocità dell'acqua, a causa della sua minore permeabilità rispetto alla coltre di alterazione che la ricopre, è maggiore; laddove la circolazione idrica non si verifica a grandi profondità, la superficie piezometrica tende ad adattarsi alla morfologia esterna.

In queste condizioni è evidente che le manifestazioni sorgentizie, nella maggior parte dei casi correlate con linee di frattura che interessano il basamento paleozoico, siano di piccola entità e di breve durata; queste emergenze si concentrano in particolare dove le condizioni stratigrafiche e/o morfologiche determinano una concentrazione dei deflussi, dove la copertura di alterazione è molto sottile o assente e dove una manifestazione filoniana o un contatto tra metamorfite e plutoniti (che costituirà un limite di permeabilità o soglia idraulica sommersa), si trovi in condizioni di giacitura favorevoli.

Da quanto è stato dato di osservare, si possono comunque fare alcune considerazioni sui caratteri idrogeologici dell'area:

- la circolazione idrica sotterranea è legata al diverso grado di permeabilità relativa tra il basamento paleozoico e i depositi di copertura e/o alluvionali quaternari;
- gli impluvi principali (generalmente impostati lungo direttrici tettoniche principali o secondarie) costituiscono il recapito delle acque di infiltrazione efficace, delle acque di ruscellamento dei versanti dei rilievi a morfologia più aspra, delle colline a morfologia più matura e delle acque provenienti dalle manifestazioni sorgentizie (anch'esse spesso legate a contatti stratigrafici del basamento). È il caso delle manifestazioni sorgentizie presenti lungo l'alveo del Rio Molinu, con i bottini di presa gestiti da Abbanoa e il piccolo deposito ubicato più a valle;
- le acque scorrendo lungo gli impluvi, alimentano gli acquiferi freatici di modeste potenzialità; nei primi metri essi hanno sede sostanzialmente nelle coperture alluvionali quaternarie e recenti, e, a maggiori profondità, nei graniti e nelle vulcaniti fratturate;
- le metamorfiti, in tale contesto, costituiscono un basamento impermeabile o a bassissima permeabilità, sebbene in esso possa essere presente una certa circolazione idrica per lo più legata a fattori locali che aumentano sensibilmente la sua permeabilità per fratturazione (manifestazioni filoniane, fratture, elevata alterazione e/o fratturazione primaria, ecc.).

Lo studio di approfondimento della presente analisi dovrà accertare la presenza di falde che, oltre a quella già raccolta, può dare origine ad altri flussi sotterranei e quindi prevederne la captazione e l'eventuale recapito al deposito.

7 I CARATTERI LITOLGICI E STRATIGRAFICI LOCALI

7.1 Le indagini espletate

Considerando la presumibile stratigrafia locale desunta direttamente dalle osservazioni e rilievi di campagna unitamente alla presenza di sbancamenti che chiariscono l'andamento spaziale dei vari livelli di interesse, come meglio si dirà in prosieguo, l'ubicazione morfologica delle aree di intervento, tutte di proprietà privata, si è ritenuto opportuno, in questa fase preliminare, di non eseguire accertamenti diretti per valutare andamenti stratigrafici e prelevare campioni da inviare in laboratorio. Si ha pertanto avuto l'occasione di valutare a priori lo stato delle cose e di prendere la decisione poi attuata, rimandando gli approfondimenti a un successivo piano di indagine e di valutazioni geotecniche di dettaglio.

Ma è stata soprattutto la tipologia degli interventi da realizzare a suggerire questa tipo di soluzione, in considerazione della scarsa o nulla incidenza delle opere sul terreno di fondazione.

7.2 La stratigrafia e le acque

La ricostruzione dei caratteri litologici e stratigrafici dell'area interessata dai due interventi in progetto è facilmente ricostruibile osservando la carta riportata in figura 9. Sostanzialmente l'interpretazione è assolutamente semplice ed è riconducibile alla presenza di depositi di copertura detritica variamente addensati talvolta sfumanti verso livelli elucolluviali a matrice sabbioso argillosa ma con una componente detritica abbastanza importante, eterometricamente e anche litologicamente, disomogenea. Prevalgono i clasti di cornubianiti ma non sono assenti i componenti migmatitici, o anche granititici, soprattutto nell'area del secondo intervento.

Tali coperture inglobano spesso dei blocchi di roccia di dimensioni variabili anche se raramente raggiungono l'ordine del metro cubo.

Sui versanti dei corsi d'acqua che hanno inciso la montagna, la copertura detritica può essere sostituita direttamente dallo strato di alterazione del substrato.

L'esiguità degli affioramenti e soprattutto la irregolarità della presenza della roccia in posto accertabile all'interno delle coperture cespuglioso o a macchia e bosco che caratterizza l'area interessata direttamente dagli interventi (si veda anche la figura 13, dx) ne impedisce una corretta cartografazione. Nell'eventualità, potrà comunque essere approfondita l'indagine in sede di appalto integrato e definire così sia gli affioramenti diretti, sia pure limitati ma cartografabili a una scala operativa (1.000/2.000), sia i sub affioramenti, verificabili anche attraverso indagini dirette magari da eseguire nei punti di diretto interesse per le infrastrutture. Lo schema di sezione proposto nella figura 15, sia pure riferita alla valle del Rio Molinu, chiarisce il rapporto spaziale tra i diversi livelli che interessano il substrato di fondazione delle opere in progetto. Sostanzialmente, la stessa sezione, potrebbe riproporsi anche nel caso del secondo intervento, laddove però potrebbe variare lo spessore della copertura detritica e dello strato di alterazione eluviale della roccia in posto. Quest'ultima, peraltro, si presenta particolarmente fratturata a causa sia della pseudo-scistosità delle migmatiti, sia della presenza dell'importante lineamento strutturale che interessa tutta la base della catena del Goceano e che nel tratto bonese sembra interessare proprio il settore al confine tra centro urbano e versante, nel punto cioè ove si è rilevato il cambio di pendenza della sua inclinazione.

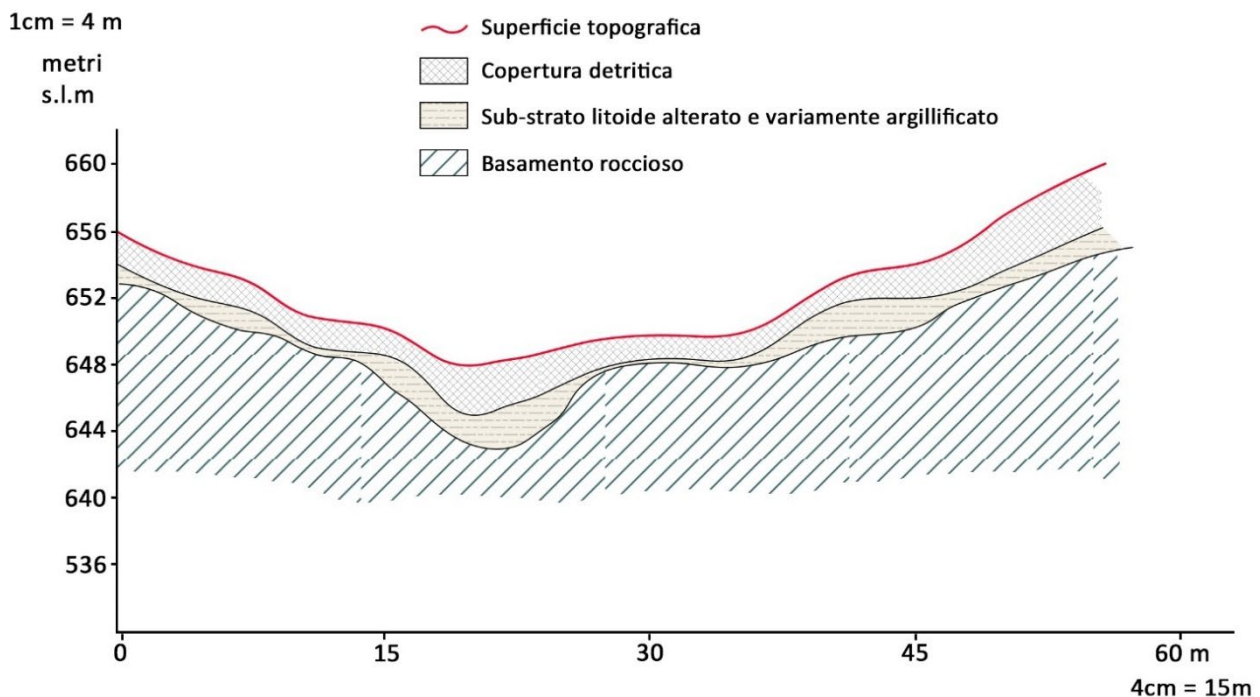


Fig. Sezione schematica interpretativa dei rapporti spaziali tra i terreni di sedime delle opere in progetto.
Il tratto della sezione è trasversale alla valle del Rio Molinu.

Per quanto concerne le acque, si rileva la presenza di una falda superficiale trattenuta al tetto delle formazioni metamorfiche all'interno dei depositi di copertura e di alterazione. L'origine, oltre che alla piovosità e alla permeazione diretta all'interno dei terreni la cui permeabilità può variare in relazione alla frazione argillosa della matrice detritica, può essere dovuta anche ad emergenze dirette dalla roccia del substrato all'interno della copertura per cui ci può essere una alimentazione concomitante.. Ovviamente la superficie piezometrica oscilla in relazione all'andamento degli apporti meteorici ma, precauzionalmente, dal punto di vista operativo è da considerare sub affiorante o affiorante direttamente nel fondovalle. I terreni, pertanto, dal punto di vista geotecnico sono da considerare immersi.

7.3 Il modello geologico

Il modello geologico di riferimento, sulla base dei risultati dei rilievi e delle indagini, nonché sulla conferma ottenuta dalla lettura dei precedenti studi e delle consultazioni bibliografiche specifiche, appare abbastanza semplice. Si possono, tuttavia, proporre due modelli, relativi ognuno ai diversi interventi.

Modello 1 – Terreno di sedime degli aerogeneratori

La penetrometria eseguita ha di fatto confermato quanto precisato nel paragrafo relativo alla stratigrafia, laddove si era già messa in evidenza la scarsa consistenza del livello di copertura detritica e il sub affioramento locale dello strato di alterazione della roccia in posto, registrando anche un passaggio verso termini dall'aspetto più francamente intrusivo.

Il terreno di sedime è quindi rappresentato dallo strato di alterazione eluviale della roccia di base (presumibilmente una sorta di area di contatto tra l'intrusivo e il metamorfico), localmente ricoperto per qualche decimetro da detriti di versante sabbioso-ghiaiosi, per una profondità di circa 1.50 – 2.50 metri.

Il passaggio verso la roccia di base, compatta, avviene in maniera graduale e variabile da punto a punto, anche se si può trovare qualche blocco di roccia integra avvolto dallo strato alterato, come si osserva nella figura 14 (sin).

La componente argillosa varia in maniera molto repentina da un punto all'altro e il livello di fratturazione del substrato è variabile dal molto fratturato a intensamente fratturato.

Il manufatto in progetto poggerà sul primo livello, il cui andamento e le caratteristiche geomeccaniche saranno confermate in sede di progetto definitivo-esecutivo.

Modello 2 – Terreno di sedime delle infrastrutture

Come si può osservare dalla sezione di figura, il modello geologico relativo a questo intervento, tiene conto della presenza dei diversi livelli la cui profondità è variabile verticalmente e spazialmente. Il primo livello, di copertura detritica poggiante su substrato alterato delle formazioni metamorfiche, con potenza dell'ordine max dei 2 – 3 metri, è quello che ospiterà l'immersione delle gabbionate al suo interno.

Dal punto di vista delle caratteristiche litostratigrafiche e geomeccaniche, la differenza consiste nella componente ghiaioso-detritica, maggiore nel primo livello mentre nel secondo prevale la sabbia e l'argilla.

Il substrato di base è invece rappresentato dal basamento metamorfico la cui profondità, da accertare in fase di progetto, è variabile ma oscillante tra 2 – 3 m a 4 – 4.5, circa

7.4 Il piano delle indagini

In sede di progettazione definitiva-esecutiva si suggerisce di accertare l'andamento dei diversi livelli nei modelli suddescritti, effettuando una serie di sondaggi, anche con mezzi meccanici, fino al raggiungimento del substrato litoide solido, come indicato (di massima) nella planimetria di figura 16, da cui si potranno prelevare anche i campioni da inviare in laboratori per la determinazione dei parametri geomeccanici.

RELAZIONE SISMICA

8. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO

8.1 Premessa

La presente relazione sismica, evidentemente preliminare, tiene conto dell'esigenza di allegare al progetto questo necessario documento specialistico. Si può dividere in due parti. La prima, introduttiva, è quella che considera la sismicità in generale e si riferisce alle valutazioni sulla sismicità dell'Isola (e quindi anche dell'area in esame) ed è propedeutica alla seconda la quale, in applicazione delle NCT tiene conto dei problemi di accelerazione orizzontale e dei calcoli degli stati limite nel caso di un modello geologico semplificato costituito da terreni di categoria B. Su queste basi è stata prodotta una "simulazione" di relazione sismica che però vuole essere solo un modello preliminare alla relazione definitiva-esecutiva da redigere a cura del soggetto che parteciperà all'appalto integrato. In particolare, quest'ultima dovrà essere basata su prove MASW eseguite in posto, almeno 2 una per ogni punto di intervento, da cui derivare i valori di accelerazione effettiva del bed-rock.

8.2 La classificazione sismica

Le seguenti considerazioni, sulla sismicità dell'area di intervento, sono state redatte sulla base di una ricerca presso il NEIC (National Earthquake Information e sulla consultazione dei risultati del "Progetto del Consiglio Nazionale delle Ricerche - Gruppo Nazionale per la Difesa del Territorio" (www.ogs.trieste.it) grazie a cui sono stati definiti due indicatori di pericolosità: l'accelerazione orizzontale di picco (utilizzata nella progettazione degli edifici in zone sismiche) e l'intensità macrosismica (che rappresenta in un certo senso il grado di possibile danneggiamento causato dai terremoti).

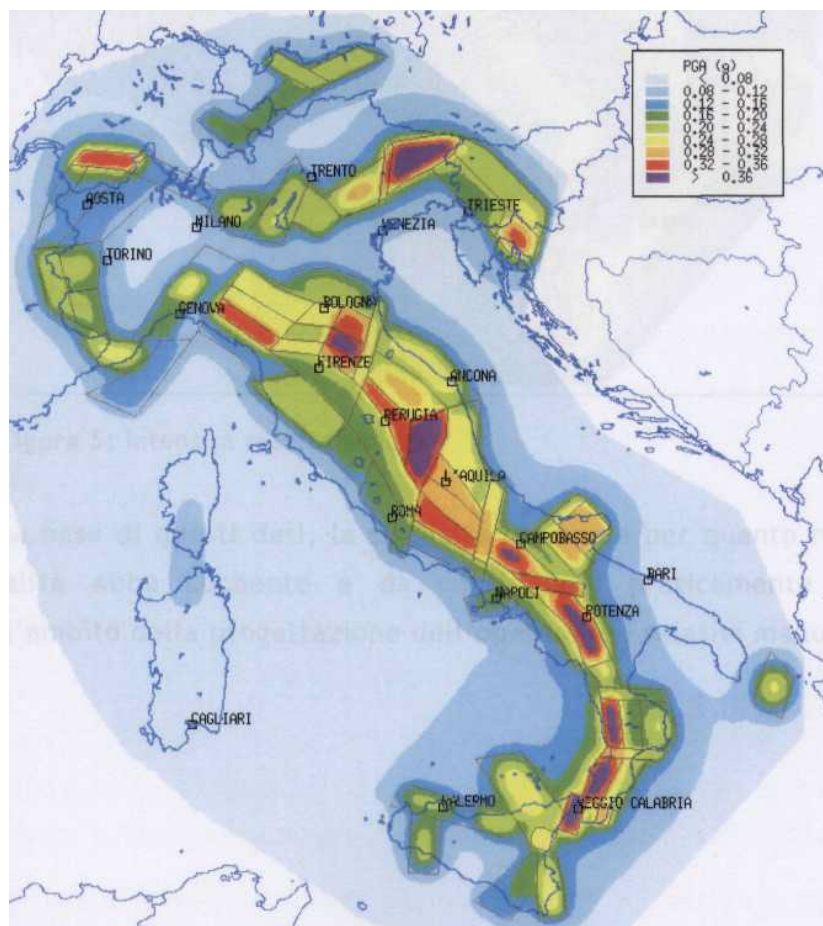


Fig. 11 Accelerazione orizzontale di picco

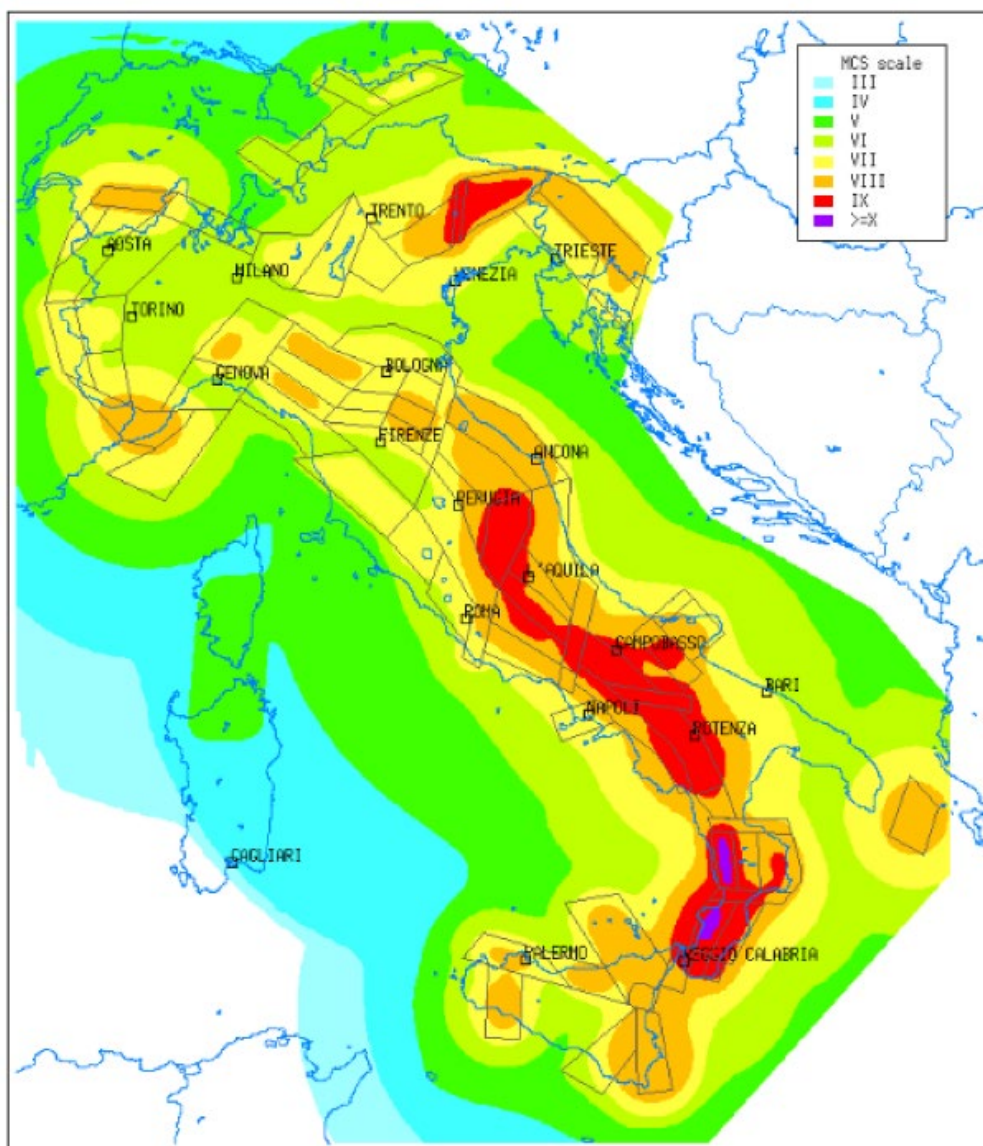


Fig. 12 Intensità macrosismica

Come si può constatare dalle figure 17 e 18, per la Sardegna i valori di scuotimento sismico che possono essere attesi sono inferiori a 0.08 g con un'intensità sismica di IV grado sulla scala Mercalli.

Le N.T.C. 2018 fissano i criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e aggiornano le norme tecniche per le costruzioni nelle medesime zone.

L'art. 2 dell'Ordinanza OPCM 3274 del 2003 prevede che siano le Regioni, sulla base dei Criteri generali indicati dallo Stato ad individuare, formare ed aggiornare l'elenco delle zone sismiche.

Le Zone Sismiche sono fissate in numero di quattro, in funzione di quattro valori significati delle accelerazioni sismiche di progetto.

Tutta la Sardegna appartiene alla Zona Sismica 4.

L'assegnazione a tutto il territorio regionale della Sardegna a questa zona è stata in seguito confermata nell'Ordinanza del 2006 (OPCM 3519). Inoltre, la situazione della sismicità nei vari comuni italiani è altresì rilevata dalla "Classificazione sismica" del Dipartimento della Protezione civile al 31 dicembre 2022 come si evince dalla figura 19 che conferma l'appartenenza alla Zona 4 di tutta la Sardegna.

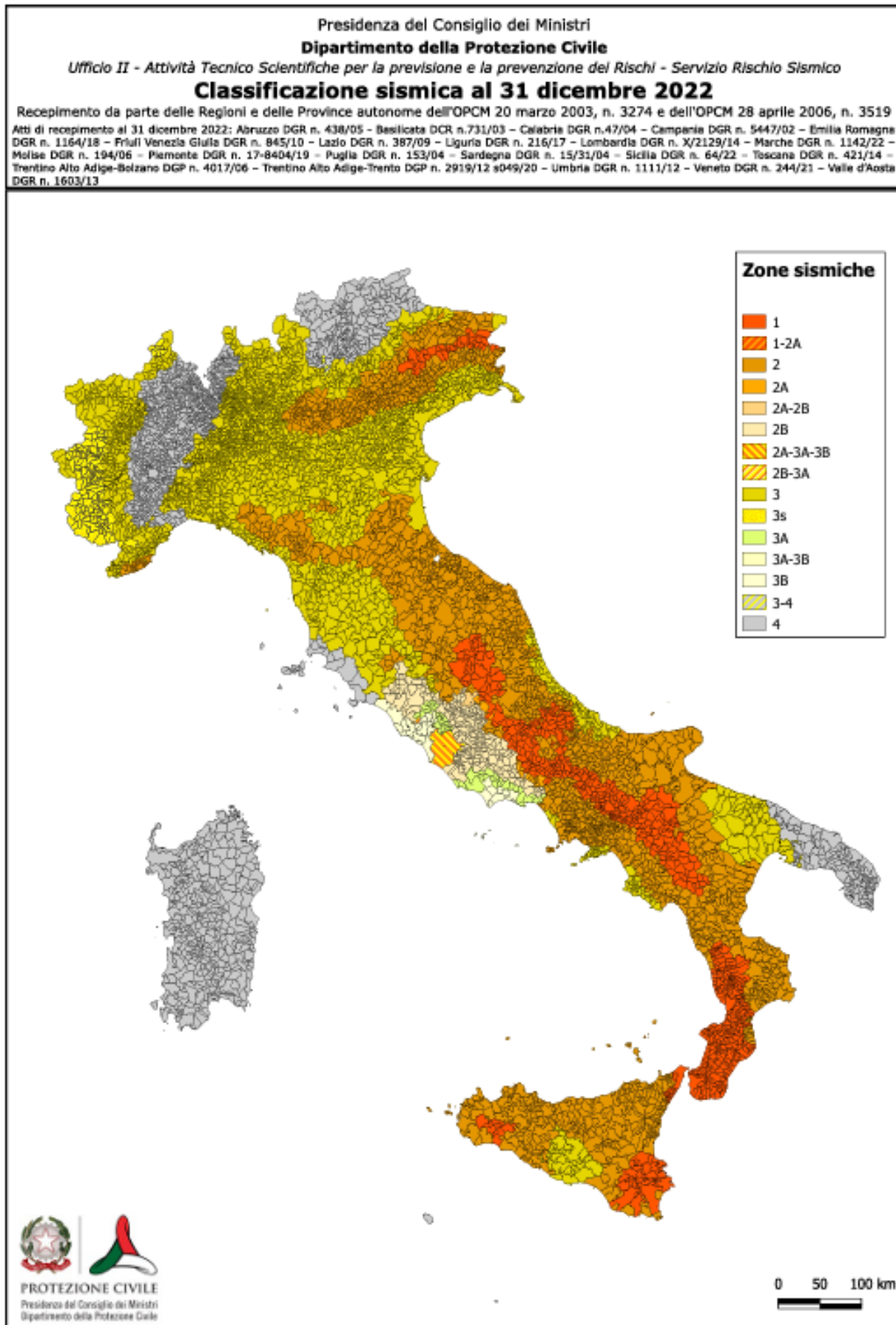


Fig. 19 La sismicità dei comuni italiani al 31 dicembre 2022

8.3 La sismicità storica

La caratterizzazione della sismicità di un territorio richiede, in primo luogo, una approfondita e dettagliata valutazione della storia sismica, definita attraverso l'analisi di evidenze storiche e dati strumentali riportati nei cataloghi ufficiali.

La sismicità storica dell'area interessata dalle opere in progetto è stata analizzata consultando i cataloghi più aggiornati, considerando un intervallo temporale che va dal mondo antico all'epoca attuale.

Attualmente la sismicità di una certa porzione di territorio italiano viene definita sulla base di determinati coefficienti individuati in relazione ad alcune leggi che hanno cercato di mettere ordine in un insieme disordinato e pur vasto di elementi che non sempre permettevano di esprimere con esattezza e completezza la sismicità di un certo territorio. È funzione della distribuzione geografica dei terremoti e della loro frequenza, intensità, energia, natura correlati con gli aspetti geologici.

Pur tuttavia, l'acquisizione e l'elaborazione di tutti questi fattori rimane assai difficile e complessa; quindi l'elemento principale su cui ci si basa per definire la sismicità di un territorio è l'attitudine di una regione ad essere soggetta ai terremoti in relazione agli effetti prodotti dalle scosse.

Una ricostruzione su base storica della sismicità di una certa regione presenta dei limiti tangibili, in particolar modo per la Sardegna dove gli eventi tettonici si sono susseguiti su scale di tempo sicuramente molto più dilatate rispetto ad altre zone d'Italia o del Mediterraneo.

Nella carta della "Massima intensità macrosismica del 1995 viene indicata parte della Gallura settentrionale come soggetta ad eventi sismici passati del VI grado M.C.S.

Gli studi basati sulla sismicità storica della Sardegna, per quanto parziali e incompleti, individuano alcuni settori soggetti a possibili eventi tellurici di una certa consistenza, ma in tempi più recenti sia con l'emanazione dell'O.P.C.M. 3274, poi con il D.M. 14 gennaio 2008 e oggi con le NTC 2018, la Sardegna viene nella sua totalità classificata in zona 4, pur non essendo stato effettuato uno studio specifico sul picco di accelerazione PGA atteso.

8.4 La pericolosità sismica di base

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) già con il D.M. 14/01/2008, recentemente sostituito dal DM del 15/01/2018, introducono il concetto di pericolosità sismica di base in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

La "pericolosità sismica di base", nel seguito chiamata semplicemente pericolosità sismica, costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche da applicare alle costruzioni e alle strutture connesse con il funzionamento di opere come i metanodotti. Allo stato attuale, la pericolosità sismica del territorio nazionale è definita su un reticolo di riferimento e per diversi intervalli di tempo (periodo di ritorno).

Il reticolo di riferimento delle NTC 2018 suddivide l'intero territorio italiano in maglie elementari di circa 10 Km per 10 Km, per un totale di 10751 nodi, definiti in termini di coordinate geografiche.

Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno (T_r) considerati dalla pericolosità sismica, sono forniti tre parametri per la definizione dell'azione sismica di progetto:

- *ag* accelerazione orizzontale massima attesa al bedrock con superficie topografica orizzontale (espressa in $g/10$);
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale (espresso in s).

Da un punto di vista normativo, pertanto, la pericolosità sismica di un sito dipende dalla posizione dell'opera rispetto ai nodi del reticolo di riferimento.

Le accelerazioni orizzontali massime attese al bedrock (a_g) non sono più valutate genericamente sulla base dell'appartenenza del comune in cui realizzare l'opera ad una zona sismica, ma sono calcolate in funzione dell'effettiva posizione geografica del sito ove sarà realizzata l'opera. I valori convenzionali di a_g espressi come frazione dell'accelerazione di gravità g , da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale, sono riferiti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni ed assumono i valori riportati nella tabella sottostante.

Zona	Valore di a_g
1	0.35 g
2	0.25g
3	0.15g
4	0.05g

Tab. 1 Definizione della categoria del suolo di fondazione

Le NTC 2018 definiscono l'azione sismica considerando un periodo di ritorno (T_r) che è funzione della probabilità di superamento di un valore di accelerazione orizzontale (P_{Vr}) nel periodo di riferimento dell'opera (V_r). Il periodo di riferimento dell'opera (V_r) si ottiene dal prodotto tra la Vita Nominale (V_n), intesa come il numero di anni nel quale l'opera è utilizzata allo scopo a cui è stata destinata, e il Coefficiente d'uso (C_u), funzione della Classe d'uso della costruzione. Per la definizione della categoria di sottosuolo in riferimento alle condizioni topografiche, nell'ambito dell'approccio semplificato alla definizione delle V_s , si può fare riferimento alla tabella 3.2.

Il delle N.T.C. 2018.

8.5 La vita nominale

La vita nominale di progetto V_N di un'opera è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali. I valori minimi di V_N da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella Tabella 2 e possono essere anche impiegati per definire le azioni dipendenti dal tempo.

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Tab. 2 Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni (Tab. 2.4.1 delle NCT 2018)

Circa i requisiti e le prestazioni richieste, visto l'ambito strategico relativo alla funzionalità dell'opera e che comporta un'identificazione tra quelle costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità, e con vita nominale di almeno 100 anni. Pertanto, in relazione alla classe e alla vita nominale, il periodo di riferimento V_R da considerarsi per le azioni sismiche risulta di 200 anni. Vista l'importanza dell'intervento in oggetto, sono stati considerati cautelativamente i parametri:

- Vita nominale (V_N): 100 anni
- Classe d'uso: IV ($C_u = 2.0$)
- Periodo di riferimento azione sismica ($V_R = V_N * C_u$): 200 anni

8.6 Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate in conformità a quanto precisato nel capitolo § 7.11.3 delle NTC 2018.

In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, VS.

I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità VS per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al Capitolo § 6.2.2 delle NTC 2018.

I valori di VS sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

Nella determinazione delle categorie di sottosuolo vengono utilizzati nel calcolo:

- h_i spessore dell'*i*-esimo strato;
- $V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell'*i*-esimo strato;
- N numero di strati;
- H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali.

Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera.

Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite nella tabella 3 (Tab. 3.2.II delle NCT 2018)

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Tab. 3 Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato (Tab. 3.2.II NCT 2018)

Nel caso in esame viene selezionata la categoria B e C.

Tale considerazione deriva dalle indicazioni ricavate nelle varie indagini in sito eseguite.

Per quanto riguarda le categorie topografiche, vista la conformazione orografica del sito ed in riferimento alla tabella 3.2.III delle N.T.C. 2018 viene utilizzata la categoria T1

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tab. 4 Le categorie topografiche sulla base della Tb. 3.2 III delle NCT 2018

8.7 Periodo di riferimento per l'azione sismica

Le azioni sismiche sulle costruzioni vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento VR che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale di progetto VN per il coefficiente d'uso CU:

$$VR = VN \cdot CU$$

Il valore del coefficiente d'uso CU è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato in Tab. 2.4.II delle NCT 2018

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Tab. 5 Valori del coefficiente d'uso CU come da Tab. 2.4.II delle NCT 2018

Nel caso in esame viene selezionata la classe d'uso IV in considerazione di quanto esposto al paragrafo relativo alla determinazione della vita nominale dell'opera.

8.8 Determinazione dei parametri di risposta

Le NTC 2018 stabiliscono il principio per cui le azioni sismiche sulle costruzioni si definiscono in relazione alla pericolosità del sito definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g e del corrispondente spettro di risposta elastico.

Per accelerazione massima attesa si intende il picco del segnale che ha una probabilità PVR di essere superato in un periodo di riferimento VR.

L'azione sismica, per il sito di edificazione e per la tipologia di costruzione definita (vita nominale, coefficiente d'uso), deve essere valutata relativamente allo Stato Limite da considerare.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate in tabella 6:

Stati limite	PVR	
	Probabilità di superamento nei periodi di riferimento Vr	
Stati limite di esercizio (SLE)	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi (SLU)	SLV	10%
	SLC	5%

Tab. 6 Probabilità di superamento nel periodo di riferimento in relazione allo stato limite

Fissata la probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR per ciascun Stato Limite considerato, va determinato il periodo di ritorno dell'evento sismico da considerare. A tal fine si utilizza la seguente formula e la relativa tabella:

$$TR = -VR / \ln(1-PVR) = - C, VR / \ln (1-PVR)$$

A seconda dei diversi stati limite si ottengono i seguenti tempi di ritorno TR

Stati limite	Tempi di ritorno TR (anni)	
SLE	SLO	60
	SLD	100
SLU	SLV	950
	SLC	1950

Tab. 7 Tempi di ritorno in relazione agli stati limite

Per i diversi tempi di ritorno si assumono i seguenti valori:

Stati limite	Tempi di ritorno TR (anni)	
SLE	SLO	120
	SLD	201
SLU	SLV	1898
	SLC	2475

Tab. 8 Valori assunti per i tempi di ritorno

In corrispondenza dei diversi stati limite si riportano di seguito i valori dei parametri A_g , F_0 e T^*C nel sito in esame

SPETTRO DI RISPOSTA DI PROGETTO ORIZZONTALE	(g)
SLO	max 0.0919
SLD	max 0.0739
SLV	X max 0,0703
SLV	Y max 0.0923
SLC	X max 0,0923
SLC	Y max 0,0923

Tab. 9 Spettri di risposta di progetto orizzontale

SPETTRO DI RISPOSTA DI PROGETTO VERTICALE	A_g (g)
SLO	Max 0.0227
SLD	Max 0.0198
SLV	Max 0,0513
SLV	Max 0.0569

Tab. 10 Spettri di risposta di progetto verticale

I parametri così determinati permettono di stabilire che la pericolosità sismica di base relativa all'intervento in progetto non genera pregiudizio alla sua realizzazione.

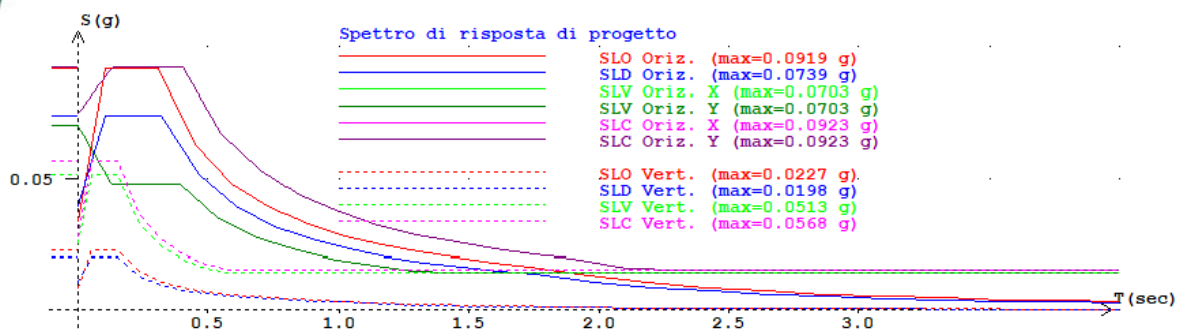


Fig. 13 Spettro di risposta di progetto nelle ipotesi considerate

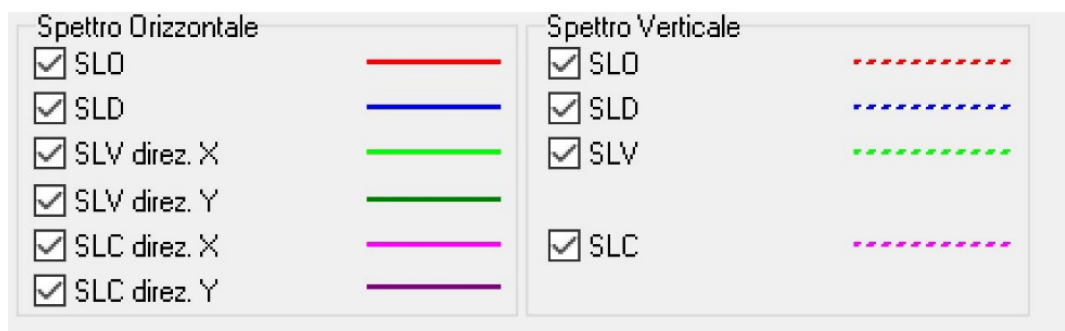


Fig. 14 Analisi sismica dinamica e verifica degli spettri

Per tale elaborazione è stato utilizzato il codice “Spettri versione 2.1 <http://www.ingegneriasoft.com>

RELAZIONE GEOTECNICA

9 LA GEOTECNICA

9.1 Il modello geotecnico

Il modello geotecnico da adottare nel caso in esame può essere differenziato nei due interventi previsti, prendendo come riferimento i parametri ricavati sperimentalmente dalle elaborazioni dei dati delle prove penetrometriche, come si può osservare nel rapporto di cui all'allegato alla presente relazione. Tale modello sarà poi da dettagliare ulteriormente e da verificare in sede di progettazione definitiva esecutiva sulla base di sondaggi – scavi di prospezione geognostica con prelievo di campioni significativi e analisi di laboratorio.

9.2. Introduzione

L'indagine, sia di carattere geologico di dettaglio, sia di carattere geotecnico, si è svolta nel mese di marzo. Essa è consistita in n°3 prove penetrometriche dinamiche per la caratterizzazione in situ dei terreni oggetto d'intervento.

Le prove penetrometriche sono state localizzate nella parte occidentale del centro abitato, in corrispondenza degli impluvi presenti alla periferia NW e SW di Bono, denominate DIN1, DIN2 e DIN3; realizzate in progressione numerica da S verso nord, si sono spinte alla profondità massima di 2,80 m.

9.3 Generalità

Lo scopo dell'intervento come dal titolo del progetto è la messa in sicurezza del centro abitato di Bono, sulla base dello stato del pericolo idraulico definito dalla pianificazione P.A.I. 2006, che ha identificato 4 aree a ridosso del centro abitato sulle quali poter intervenire. Su queste aree, a seguito delle analisi idrologiche e idrauliche, meglio sviluppate nella relazione idraulica e idrologica, sono stati definiti gli interventi necessari per procedere alla mitigazione del pericolo idraulico.

Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni sono state eseguite tre prove penetrometriche, come da carta allegata al paragrafo introduttivo 9.2.

Il primo sondaggio **DN1** è stato effettuato nei terreni sopra la via Ciancilla in prossimità dell'**intervento 2**. Gli altri due sondaggi **DN2** e **DN3** invece sui terreni nei quali sarà realizzato l'**intervento 1**. Dal punto di vista stratigrafico i modelli sono risultati molto simili, trattandosi pur sempre di livelli di materiali di copertura variamente sabbioso ghiaiosi e con frazioni variabili di argilla poggianti su basamento roccioso alterato al tetto e intensamente fratturato nel caso del modello riferito alla vasca di sedimentazione. Sostanzialmente, rispetto al DN1, nel DN3 diminuisce lo spessore della copertura detritica, talvolta assente e pertanto il livello di imposta della base della vasca è dato direttamente dallo strato di alterazione della che si considera dunque come un livello sabbioso. La stima della capacità portante del terreno tramite le prove penetrometriche è stata ottenuta con l'utilizzo dei parametri geotecnici correlati relativi alla natura granulare all'interno delle relazioni per il calcolo del carico limite (Terzaghi, Meyerof ecc.). Il modulo edometrico sarà calcolato risalendo da N_{SPT} alla resistenza della punta della CTP per poi ottenere i parametri correlati, sia facendo riferimento alla relazione di Farent o a quelle di Menzebach e Malcev:

$$M(\text{kg} / \text{cmq}) = 7,1N_{spt}$$

$$M(\text{kg} / \text{cmq}) = 3,54N_{spt} + 38 \quad (\text{Sabbia fine})$$

$$M(\text{kg} / \text{cmq}) = 4,46N_{spt} + 38 \quad (\text{Sabbia media})$$

$$M(\text{kg} / \text{cmq}) = 10,46N_{spt} + 38 \quad (\text{Sabbia + ghiaia})$$

$$M(\text{kg} / \text{cmq}) = 11,84N_{spt} + 38 \quad (\text{Sabbia ghiaiosa})$$

L'analisi dei dati delle prove penetrometriche ha portato alla determinazione dei valori geotecnici ed in particolare dell'angolo di attrito e del peso specifico del materiale indagato.

Essi sono:

n°	Prof.(m)	LITOLOGIA	Nspt	NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA			
				DR	ϕ'	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W	e
1	0.00 0.40	Sabbia ghiaiosa	22	53.0	33.6	361	2.00	1.61	1.38	2.04	23	0.628
2	0.40 0.70	Sabbia limosa	14	41.0	31.2	299	1.96	1.53	0.88	1.95	30	0.795
3	0.70 0.80	Arenizzato	46	81.0	40.0	546	2.13	1.82	2.88	2.33	10	0.274

SONDAGGIO DN1

n°	Prof.(m)	LITOLOGIA	Nspt	NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA			
				DR	ϕ'	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W	e
1	0.00 1.10	Sabbia limosa	7	25.0	28.8	245	1.90	1.45	0.44	1.86	36	0.972
2	1.10 1.80	Sabbia Limosa	5	18.3	28.0	230	1.88	1.41	0.31	1.83	39	1.061
3	1.80 2.10	Sabbia Limosa	7	25.0	28.8	245	1.90	1.45	0.44	1.86	36	0.972
4	2.10 2.20	Sabbia	2	7.5	26.8	207	1.85	1.36	0.13	1.75	47	1.267
5	2.20 2.70	Sabbia Limosa	16	44.0	31.8	315	1.97	1.55	1.00	1.97	28	0.750
6	2.70 2.80	Arenizzato	46	81.0	40.0	546	2.13	1.82	2.88	2.33	10	0.274

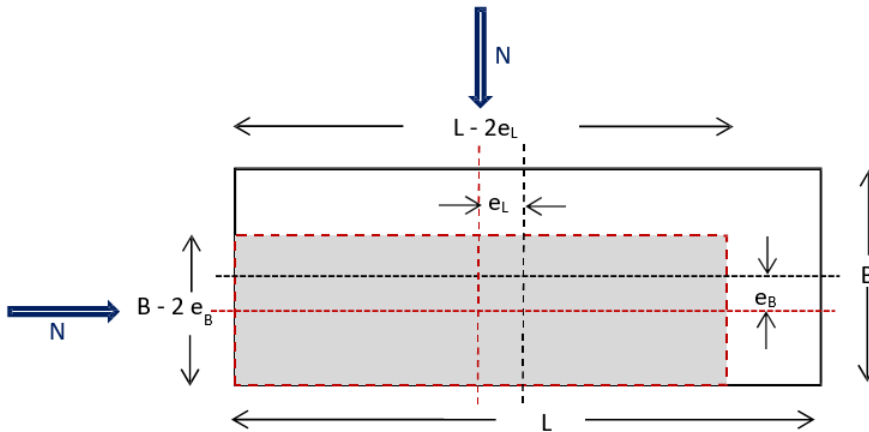
SONDAGGIO DN2

n°	Prof.(m)	LITOLOGIA	Nspt	NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA			
				DR	ϕ'	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W	e
1	0.00 0.90	Sabbia Limosa	7	25.0	28.8	245	1.90	1.45	0.44	1.86	36	0.972
2	0.90 1.40	Sabbia Limosa	6	21.7	28.4	238	1.89	1.43	0.38	1.85	37	1.000
3	1.40 1.50	Rifiuto	77	95.1	44.4	785	2.21	1.94	4.81	2.71	---	-0.006

SONDAGGIO DN3

9.4 Calcolo della capacità portante (NTC 2018)

Per quanto concerne l'intervento 1 si è ipotizzato un carico gravante sul terreno dovuto alle gabbionature, pari a 261,25 KN/ml oltre a 100 KN dovuti a carichi permanenti non strutturali e sovraccarichi dovuti al peso di acque meteoriche o neve.



Carichi permanenti	$G_{k1} = 261,2$ KN
Carichi permanenti non strutturali	$G_{k2} = 50$ KN
Sovraccarichi	$Q_k = 50$ KN
Risultante dei carichi verticali	$N = 361,2$ KN
Inclinazione della risultante N rispetto alla verticale	$q = 0^\circ$
Componente orizzontale dei carichi agente sul piano di posa	$H = 0,00$ KN
Componente verticale dei carichi agente sul piano di posa	$V = 361,20$ KN
Eccentricità della risultante dei carichi parallela al lato B	$e_B = 0,00$ m
Eccentricità della risultante dei carichi parallela al lato L	$e_L = 0,00$ m
Largezza della fondazione all'appoggio sul terreno	$B = 2,00$ m
Lunghezza della fondazione	$L = 1,00$ m
Profondità del piano di posa della fondazione	$D = 0,50$ m
Largezza ridotta della fondazione per eccentricità del carico	$B' = 2,00$ m
Lunghezza ridotta della fondazione per eccentricità del carico	$L' = 1,00$ m
Coesione del terreno al di sotto del piano di posa	$c = 1,00$ KN/m ²
Adesione lungo la base della fondazione (ca < c)	$c_s = 0,50$ KN/m ²
Angolo di attrito del terreno al di sotto del piano di posa	$f = 31^\circ$
Pressione geostatica sul piano di posa della fondazione	$q = 9,5$ KN/m ²
Peso unità di volume del terreno al di sotto del piano di posa	$g_t = 19,00$ KN/m ³
Angolo di inclinazione del piano di campagna	$w = 0^\circ$
Angolo di inclinazione del piano di posa	$e = 0^\circ$
Parametri sismici	
Stato limite considerato	SLV
Accelerazione orizzontale massima attesa sul sito di riferimento	$a_g = 0,0747$ m/sec ²
Fattore di amplificazione spettrale max sul sito di riferimento	$F_o = 3,09$
Categoria di sottosuolo	B
Coefficiente di amplificazione stratigrafica	$S_s = 1,20$
Categoria topografica	T1
	$S_T = 1,0$

Il carico limite unitario del terreno di fondazione, calcolato con la formula di Brinch - Hansen, è dato dalla seguente espressione:

$$q_{lim} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot g_c \cdot b_c \cdot z_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot g_q \cdot b_q \cdot z_q + 0,5 \cdot B \cdot \gamma \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot g_\gamma \cdot b_\gamma \cdot z_\gamma \cdot e_{k1} \cdot e_{k2}$$

Fattori di capacità portante N_c , N_q e N_γ

per $c > 0$ e $\phi = 0$	
$N_c = 2 + \pi$	N.R.
$N_q = 1$	N.R.
$N_\gamma = 0$ se $\phi=0$	N.R.
$N_\gamma = -2 \text{ sen } \phi$ se $\phi \neq 0$	0,00

per $\phi > 0$	A1+M1+R3
$N_c = (N_q - 1) \text{ ctg } \phi$	32,64
$N_q = K_p \cdot e^{\pi \text{tg} \phi}$	20,61
$N_\gamma = 2 (N_q + 1) \cdot \text{tg} \phi$	25,97

Fattori di forma s_c , s_q e s_γ ($B/L \leq 1$)

per $c > 0$ e $\phi = 0$	
$s_c = 1 + [B'/(2 + \pi) \cdot L']$	N.R.
$s_q = 1$	N.R.
$s_\gamma = 1 - 0,4 (B'/L')$	N.R.

per $\phi > 0$	A1+M1+R3
$s_c = 1 + (N_q \cdot B')/(N_c \cdot L')$	2,26
$s_q = 1 + (B'/L' \cdot \text{tg} \phi)$	2,20
$s_\gamma = 1 - 0,4 (B'/L')$	0,20

Fattori di profondità d_c , d_q e d_γ

Si definisce il seguente parametro:

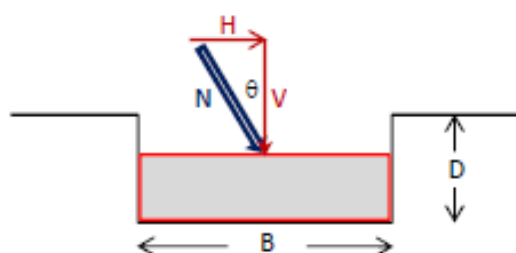
$$K = D/B' = 0,25 \text{ se } D/B' \leq 1$$

$$K = \text{arctg } D/B' = \text{N.R. se } D/B' > 1$$

per $c > 0$ e $\phi = 0$	
$d_c = 1 + 0,4 K$	FALSO
$d_q = 1$	FALSO
$d_\gamma = 1$	FALSO

per $\phi > 0$	A1+M1+R3
$d_c = d_\gamma - [(1-d_\gamma)/(N_c \cdot \text{tg} \phi)]$	1,07
$d_q = 1 + 2 \text{tg} \phi (1 - \text{sen} \phi)^2 \cdot K$	1,07
$d_\gamma = 1$	1,00

Fattori di inclinazione del carico i_c , i_q e i_γ



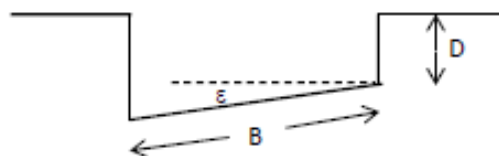
Si definisce il seguente parametro:

$$m = [2 + (B'/L')]/[(1 + (B'/L'))] = 1,33$$

per $c > 0$ e $\phi = 0$	
$i_c = 1 - [(m \cdot H)/(B' \cdot L' \cdot c_\gamma \cdot N_c)]$	N.R.
$i_q = 1$	N.R.
$i_\gamma = 1$	N.R.

per $\phi > 0$	A1+M1+R3
$i_c = i_\gamma - [(1-i_\gamma)/(N_c \cdot \text{tg} \phi)]$	1,00
$i_q = [1 - (H/(V + B' \cdot L' \cdot c_\gamma \cdot \text{ctg} \phi))]^m$	1,00
$i_\gamma = [1 - (H/(V + B' \cdot L' \cdot c_\gamma \cdot \text{ctg} \phi))]^{m+1}$	1,00

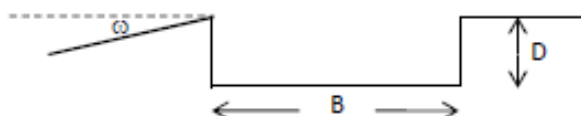
Fattori di inclinazione del piano di posa g_c , g_q e g_y ($\varepsilon < 45^\circ$)



per $c > 0$ e $\phi = 0$	
$g_c = 1 - [(2 \cdot \varepsilon) / (2 + \pi)]$	N.R.
$g_q = 1$	N.R.
$g_y = 1$	N.R.

per $\phi > 0$		A1+M1+R3
$g_c = g_q \cdot [(1 - g_q) / (N_c \cdot \tan \phi)]$		1,00
$g_q = (1 - \varepsilon \cdot \tan \phi)^2$		1,00
$g_y = (1 - \varepsilon \cdot \tan \phi)^2$		1,00

Fattori di inclinazione del piano di campagna b_c , b_q e b_y ($\omega < \phi$; $\omega < 45^\circ$)



per $c > 0$ e $\phi = 0$	
$b_c = 1 - [(2 \cdot \omega) / (2 + \pi)]$	N.R.
$b_q = 1$	N.R.
$b_y = 1$	N.R.

per $\phi > 0$		A1+M1+R3
$b_c = b_q \cdot [(1 - b_q) / (N_c \cdot \tan \phi)]$		1,00
$b_q = (1 - \tan \omega)^2 \cdot \cos \omega$		1,00
$b_y = b_q / \cos \omega$		1,00

Fattori di correzione sismica inerziale z_c , z_q e z_y (Paolucci - Pecker)

$z_c = 1 - 0,32 \cdot K_{hl}$	1,00
$z_q = (1 - K_{hl} / \tan \phi)^{0,33}$	0,99
$z_y = (1 - K_{hl} / \tan \phi)^{0,33}$	0,99

$k_{hk} = 0,2 \cdot a_g$	0,015
--------------------------	-------

Fattori di correzione dell'effetto cinematico e_{yk} , e_{y1} (Maugeri - Cascone)

$e_{yk} = (1 - K_{hk} / \tan \phi)^{0,45}$	0,99
$e_{y1} = (1 - 0,7 K_{hl})^3$	0,95

$k_{hk} = \beta_s \cdot a_{max} / g$	0,018
$a_{max} = S_s \cdot S_T \cdot a_g$	0,090

VERIFICHE DI SICUREZZA AGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU)

Approccio 2 - Combinazione (A1 + M1 + R3)

Sono incrementate le azioni permanenti, incrementate le azioni variabili (A), invariati i parametri geotecnici (M) e ridotta la resistenza (R), secondo i coefficienti di seguito riportati:

Carichi	(A1)
Perman.	1,30
Perm. n.s.	1,50
Sovracc.	1,50

Par. geo.	(M1)
$\tan \phi$	1,00
c	1,00
γ_t	1,00

Resist.	(R3)
Cap. port.	2,30
Scorr.	1,10

VERIFICA AL CARICO LIMITE
CONDIZIONI SISMICHE

Carico limite

$$q_{lim} = 628,02 \text{ KN/m}^2$$

Resistenza del sistema geotecnico $R = q_{lim} \times B' \times L'$

$$R = 1256,03 \text{ KN}$$

Resistenza di progetto del sistema geotecnico $R_d = R/\gamma_r$

$$R_d = 546,10 \text{ KN}$$

Valore di progetto dell'azione $E_d = G_{k1} + 1,3 G_{k2} + 1,3 Q_k$

$$E_d = 489,56 \text{ KN}$$

Deve essere rispettata la condizione $E_d \leq R_d \quad (R_d / E_d \geq 1)$

$$489,56 < 546,10$$

verifica soddisfatta

$$R_d / E_d = 1,12$$

VERIFICA ALLO SCORRIMENTO SUL PIANO DI POSA

Res. di prog. sistema geotecnico $R_d = 1/\gamma_r \cdot [(c \cdot B' \cdot L')/\gamma_c + (N_d \cdot \tan \phi)/\gamma_o]$

$$R_d = 199,12 \text{ KN}$$

Valore di progetto dell'azione $E_d = H$

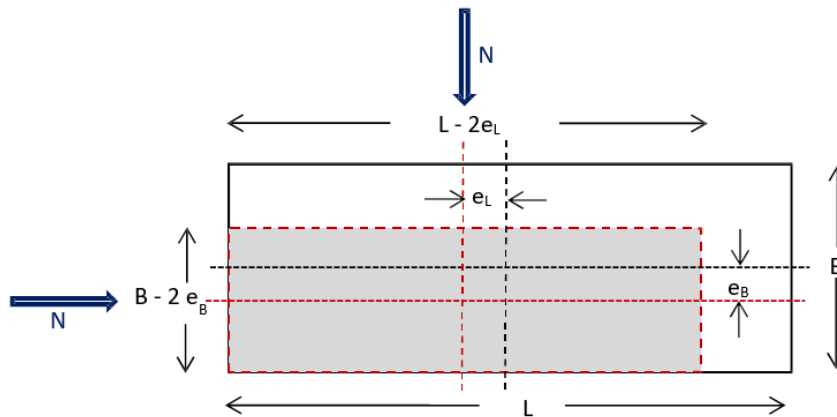
$$E_d = 0,00 \text{ KN}$$

Deve essere rispettata la condizione $E_d \leq R_d \quad (R_d / E_d \geq 1)$

$$0,00 < 199,12$$

verifica soddisfatta

Per quanto concerne l'intervento 2 si è ipotizzato un carico gravante sul terreno dovuto alle gabbionature, pari a 157,375 KN/ml oltre a 100 KN dovuti a carichi permanenti non strutturali e sovraccarichi dovuti al peso di acque meteoriche o neve.



Carichi permanenti

Carichi permanenti non strutturali

Sovraccarichi

Risultante dei carichi verticali

Inclinazione della risultante N rispetto alla verticale

Componente orizzontale dei carichi agente sul piano di posa

Componente verticale dei carichi agente sul piano di posa

Eccentricità della risultante dei carichi parallela al lato B

Eccentricità della risultante dei carichi parallela al lato L

Larghezza della fondazione all'appoggio sul terreno

Lunghezza della fondazione

Profondità del piano di posa della fondazione

Larghezza ridotta della fondazione per eccentricità del carico

Lunghezza ridotta della fondazione per eccentricità del carico

Coesione del terreno al di sotto del piano di posa

Adesione lungo la base della fondazione (ca < c)

Angolo di attrito del terreno al di sotto del piano di posa

Pressione geostatica sul piano di posa della fondazione

Peso unità di volume del terreno al di sotto del piano di posa

Angolo di inclinazione del piano di campagna

Angolo di inclinazione del piano di posa

Parametri sismici

Stato limite considerato

Accelerazione orizzontale massima attesa sul sito di riferimento

Fattore di amplificazione spettrale max sul sito di riferimento

Categoria di sottosuolo B

Coefficiente di amplificazione stratigrafica

Categoria topografica T1

$$G_{k1} = 157,375 \text{ KN}$$

$$G_{k2} = 50 \text{ KN}$$

$$Q_k = 50 \text{ KN}$$

$$N = 257,375 \text{ KN}$$

$$\theta = 0^\circ$$

$$H = 0,00 \text{ KN}$$

$$V = 257,38 \text{ KN}$$

$$e_B = 0,00 \text{ m}$$

$$e_L = 0,00 \text{ m}$$

$$B = 2,00 \text{ m}$$

$$L = 1,00 \text{ m}$$

$$D = 0,50 \text{ m}$$

$$B' = 2,00 \text{ m}$$

$$L' = 1,00 \text{ m}$$

$$c = 1,00 \text{ KN/m}^2$$

$$c_a = 0,50 \text{ KN/m}^2$$

$$\phi = 31^\circ$$

$$q = 10,02 \text{ KN/m}^2$$

$$\gamma_t = 20,04 \text{ KN/m}^3$$

$$\omega = 0^\circ$$

$$\varepsilon = 0^\circ$$

$$\text{SLV}$$

$$a_g = 0,0747 \text{ m/sec}^2$$

$$F_o = 3,09$$

$$\beta_s = 0,20$$

$$S_s = 1,20$$

$$S_T = 1,0$$

Il carico limite unitario del terreno di fondazione, calcolato con la formula di Brinch - Hansen, è dato dalla seguente espressione:

$$q_{lim} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot e_c \cdot b_c \cdot z_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot e_q \cdot b_q \cdot z_q + 0,5 \cdot B \cdot \gamma_c \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot e_\gamma \cdot b_\gamma \cdot z_\gamma \cdot e_{k^*} \cdot e_{\gamma^*}$$

Fattori di capacità portante N_c , N_q e N_γ

per $c > 0$ e $\phi = 0$	
$N_c = 2 + \pi$	N.R.
$N_q = 1$	N.R.
$N_\gamma = 0$ se $\phi=0$	N.R.
$N_\gamma = -2 \text{ sen } \omega$ se $\phi \neq 0$	0,00

per $\phi > 0$		A1+M1+R3
$N_c = (N_q - 1) \text{ ctg } \phi$		32,64
$N_q = K_p \cdot e^{\pi \text{tg} \phi}$		20,61
$N_\gamma = 2 (N_q + 1) \cdot \text{tg} \phi$		25,97

Fattori di forma s_c , s_q e s_γ ($B/L \leq 1$)

per $c > 0$ e $\phi = 0$	
$s_c = 1 + [B'/(2 + \pi) \cdot L']$	N.R.
$s_q = 1$	N.R.
$s_\gamma = 1 - 0,4 (B'/L')$	N.R.

per $\phi > 0$		A1+M1+R3
$s_c = 1 + (N_q \cdot B')/(N_c \cdot L')$		2,26
$s_q = 1 + (B'/L' \cdot \text{tg} \phi)$		2,20
$s_\gamma = 1 - 0,4 (B'/L')$		0,20

Fattori di profondità d_c , d_q e d_γ

Si definisce il seguente parametro:

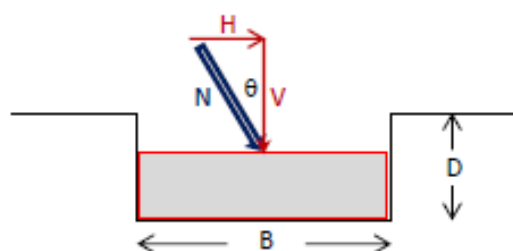
$$K = D/B' = 0,25 \text{ se } D/B' \leq 1$$

$$K = \text{arctg } D/B' = \text{N.R. se } D/B' > 1$$

per $c > 0$ e $\phi = 0$	
$d_c = 1 + 0,4 K$	FALSO
$d_q = 1$	FALSO
$d_\gamma = 1$	FALSO

per $\phi > 0$		A1+M1+R3
$d_c = d_q \cdot [(1 - d_q)/(N_c \cdot \text{tg} \phi)]$		1,07
$d_q = 1 + 2 \text{tg} \phi (1 - \text{sen} \phi)^2 \cdot K$		1,07
$d_\gamma = 1$		1,00

Fattori di inclinazione del carico i_c , i_q e i_γ



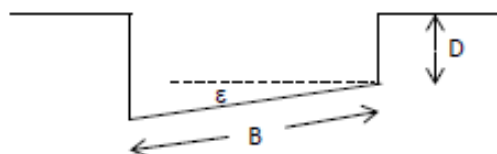
Si definisce il seguente parametro:

$$m = [2 + (B'/L')]/[(1 + (B'/L'))] = 1,33$$

per $c > 0$ e $\phi = 0$	
$i_c = 1 - [(m \cdot H)/(B' \cdot L' \cdot c \cdot N_c)]$	N.R.
$i_q = 1$	N.R.
$i_\gamma = 1$	N.R.

per $\phi > 0$		A1+M1+R3
$i_c = i_q \cdot [(1 - i_q)/(N_c \cdot \text{tg} \phi)]$		1,00
$i_q = [1 - (H/(V + B' \cdot L' \cdot c \cdot \text{ctg} \phi))]^m$		1,00
$i_\gamma = [1 - (H/(V + B' \cdot L' \cdot c \cdot \text{ctg} \phi))]^{m+1}$		1,00

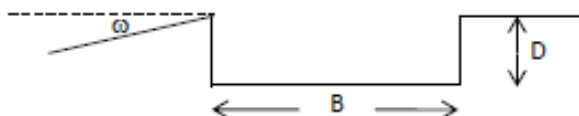
Fattori di inclinazione del piano di posa g_c , g_q e g_γ ($\epsilon < 45^\circ$)



per $c > 0$ e $\phi = 0$	
$g_c = 1 - [(2 \cdot \epsilon) / (2 + \pi)]$	N.R.
$g_q = 1$	N.R.
$g_\gamma = 1$	N.R.

per $\phi > 0$		A1+M1+R3
$g_c = g_q \cdot [(1 - g_q) / (N_c \cdot \tan \phi)]$		1,00
$g_q = (1 - z \cdot \tan \phi)^2$		1,00
$g_\gamma = (1 - z \cdot \tan \phi)^2$		1,00

Fattori di inclinazione del piano di campagna b_c , b_q e b_γ ($\omega < \phi$; $\omega < 45^\circ$)



per $c > 0$ e $\phi = 0$	
$b_c = 1 - [(2 \cdot \omega) / (2 + \pi)]$	N.R.
$b_q = 1$	N.R.
$b_\gamma = 1$	N.R.

per $\phi > 0$		A1+M1+R3
$b_c = b_q \cdot [(1 - b_q) / (N_c \cdot \tan \phi)]$		1,00
$b_q = (1 - \tan \omega)^2 \cdot \cos \omega$		1,00
$b_\gamma = b_q / \cos \omega$		1,00

Fattori di correzione sismica inerziale z_c , z_q e z_γ (Paolucci - Pecker)

$z_c = 1 - 0,32 \cdot K_{hi}$	1,00
$z_q = (1 - K_{hi} / \tan \phi)^{0,35}$	0,99
$z_\gamma = (1 - K_{hi} / \tan \phi)^{0,35}$	0,99

$k_{hi} = 0,2 \cdot a_g$	0,015
--------------------------	-------

Fattori di correzione dell'effetto cinematico e_{yil} , e_{yik} (Maugeri - Cascone)

$e_{yik} = (1 - K_{yik} / \tan \phi)^{0,45}$	0,99
$e_{yil} = (1 - 0,7 K_{yil})^5$	0,95

$k_{yk} = \beta_s \cdot a_{max} / g$	0,018
$a_{max} = S_y \cdot S_T \cdot a_g$	0,090

VERIFICHE DI SICUREZZA AGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU)

Approccio 2 - Combinazione (A1 + M1 + R3)

Sono incrementate le azioni permanenti, incrementate le azioni variabili (A), invariati i parametri geotecnici (M) e ridotta la resistenza (R), secondo i coefficienti di seguito riportati:

Carichi	(A1)
Perman.	1,30
Perm. n.s.	1,50
Sovracc.	1,50

Par. geo.	(M1)
$\tan \phi$	1,00
c	1,00
γ_t	1,00

Resist.	(R3)
Cap. port.	2,30
Scorr.	1,10

VERIFICA AL CARICO LIMITE
CONDIZIONI SISMICHE
Carico limite

$$q_{lim} = 658,07 \text{ KN/m}^2$$

Resistenza del sistema geotecnico $R = q_{lim} \times B' \times L'$

$$R = 1316,14 \text{ KN}$$

Resistenza di progetto del sistema geotecnico $R_d = R/\gamma_r$

$$R_d = 572,24 \text{ KN}$$

Valore di progetto dell'azione $E_d = G_{k1} + 1,3 G_{k2} + 1,3 Q_k$

$$E_d = 354,5875 \text{ KN}$$

Deve essere rispettata la condizione

$$E_d \leq R_d \quad (R_d / E_d \geq 1)$$

$$354,5875 < 572,24$$

verifica soddisfatta

$$R_d / E_d = 1,61$$

VERIFICA ALLO SCORRIMENTO SUL PIANO DI POSA
Res. di prog. sistema geotecnico $R_d = 1/\gamma_r \cdot [(c \cdot B' \cdot L')/\gamma_c + (N_d \cdot \tan\phi/\gamma_s)]$

$$R_d = 142,41 \text{ KN}$$

Valore di progetto dell'azione $E_d = H$

$$E_d = 0,00 \text{ KN}$$

Deve essere rispettata la condizione

$$E_d \leq R_d \quad (R_d / E_d \geq 1)$$

$$0,00 < 142,41$$

verifica soddisfatta

10 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Attraverso la raccolta dei dati ambientali esistenti ed un'indagine in campo, è stata effettuata un'attenta lettura del territorio sotto il profilo geologico, idrogeologico e geomorfologico. Le indagini svolte (prove penetrometriche) hanno permesso di conoscere la stratigrafia dell'area in esame.

La capacità portante dei terreni esaminati consente gli interventi in progetto.

Le verifiche al carico limite ed allo scorrimento sul piano di posa sono risultate soddisfatte per entrambi i siti. Qualora durante la fase esecutiva dell'opera si rinvenissero condizioni differenti e non previste in tale contesto o, comunque, dubbi sull'effettiva composizione litologica o della stabilità, si raccomanda la tempestiva ispezione del cantiere da parte del geologo.