

Diga Casalbuono e schema idrico di connessione idraulica ai comprensori irrigui del Vallo di Diano, dell'Alto Bussento e della Piana del Sele - 1° lotto

STUDIO DI FATTIBILITÀ DELLE ALTERNATIVE PROGETTUALI



Cliente:



Il direttore esecuzione del contratto:

Ing. Mariano Lucio Alliegro
(Ordine Ingegneri SALERNO n. 2382)

Il responsabile unico del procedimento:

Ing. Domenico Macellaro
(Ordine Ingegneri SALERNO n. 3630)

Mandataria:



Mandati:



Il progettista:

Ing. Carlo Silvestri
(Ordine Ingegneri MILANO n. 20345A)

Codice documento:

2022.0305.002-GEO-R01

Titolo:

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA E IDROGEOLOGICA PRELIMINARE

2					
1					
0	22.12.2023	M. Segato	M. Lora	C. Silvestri	Prima emissione
Rev.	Data	Redatto	Verificato	Approvato	Descrizione

INDICE

1.	PREMESSA	1
2.	DESCRIZIONE SINTETICA DELLE ALTERNATIVE PROGETTUALI	2
3.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	4
3.1	Assetto geologico – strutturale regionale	4
3.2	Assetto geologico-strutturale dell'area oggetto di intervento	8
3.3	Assetto stratigrafico delle aree oggetto delle alternative progettuali	12
3.3.1	Diga A – A1* - A2* – Diga di Casalbuono e proposte alternative	12
3.3.2	Diga D –Torrente Porcile	17
4.	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	21
5.	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	27
5.1	Infiltrazione e circolazione idrica sotterranea	27
5.2	Complessi idrogeologici	27
5.3	Unità idrogeologiche	30
6.	INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE	32
6.1	Prove penetrometriche standard (SPT)	33
6.2	Prove di permeabilità in foro	34
6.3	Allestimento in foro	34
6.4	Prove di laboratorio	35
6.5	Indagini geofisiche	38
7.	INQUADRAMENTO SISMICO	39
8.	INTERAZIONE OPERE TERRENI	40
9.	BIBLIOGRAFIA	44

1. PREMESSA

L'RTP costituito da Lombardi Ingegneria s.r.l., Technital S.p.A. e Lombardi SA ingegneri consulenti è stato incaricato dal "Consorzio di bonifica – Vallo di Diano e fiume Tanagro" dello svolgimento della progettazione definitiva, degli studi specialistici multidisciplinari, delle indagini e rilievi in sito, delle prove di laboratorio, dei servizi accessori di progettazione partecipata, dell'assistenza nei procedimenti autorizzativi del progetto di *"regolazione dei deflussi della parte alta del bacino idrografico del fiume Tanagro e utilizzo delle acque in agricoltura: progetto diga Casalbuono e schema idrico di connessione idraulica ai comprensori irrigui del Vallo di Diano, dell'alto Bussento e della piana del Sele - 1° lotto"*.

Lo Studio di Fattibilità delle alternative Progettuali costituisce la prima fase di elaborazione della progettazione e in esso vengono presentate e analizzate una serie di alternative progettuali che rispondono al quadro esigenziale e agli obiettivi dell'opera. Le diverse alternative, inclusa l'opzione "Zero" (ovvero il non intervento), sono confrontate mediante analisi multicriteri e a conclusione dello studio viene evidenziata la soluzione progettuale che rappresenta il miglior rapporto tra costi e benefici per la collettività, in relazione alle specifiche esigenze da soddisfare e prestazioni da fornire.

Nell'ambito dello Studio di Fattibilità delle alternative Progettuali il presente testo costituisce la relazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica preliminare.

2. DESCRIZIONE SINTETICA DELLE ALTERNATIVE PROGETTUALI

Sulla base degli studi multidisciplinari effettuati e descritti nei capitoli precedenti, al fine di rispondere al quadro esigenziale e agli obiettivi dell'opera, sono state individuate n. 3 alternative progettuali i cui siti sono indicati in Figura 1.

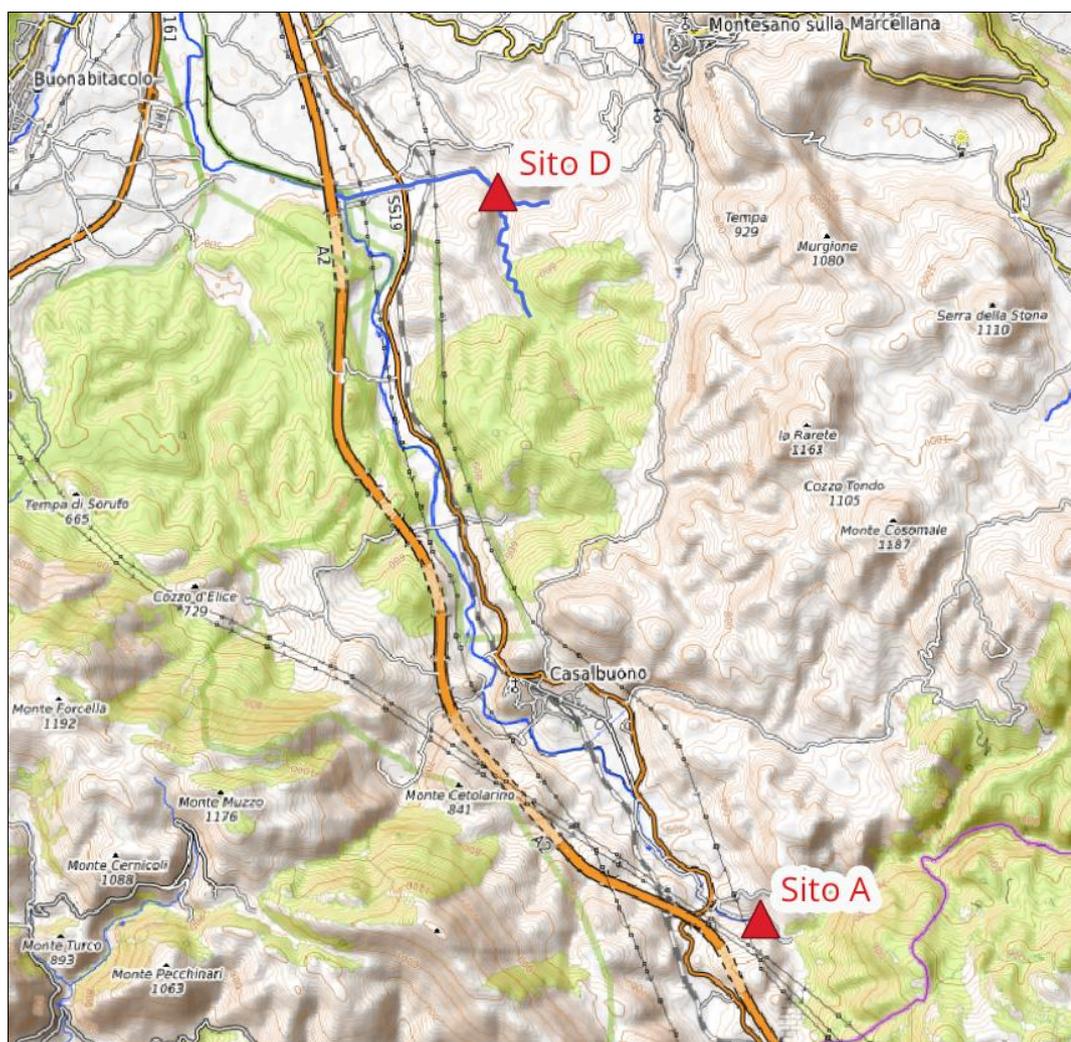


Figura 1: Corografia con indicata l'ubicazione dei siti A (f. Calore) e D (t. Porcile).

- **Alternativa 1 (A):** prevede la realizzazione di uno sbarramento nel sito A (diga A) di altezza pari a circa 64 m con uno sviluppo del coronamento, di larghezza 6 m, di circa 490 m (quota di massima regolazione 658,50 m s.l.m.) con la duplice funzione di accumulo della risorsa idrica e laminazione delle piene. Lo sbarramento in A consiste in una diga in pietrame zonato con paramento in calcestruzzo bituminoso (AFRFD). Il volume dell'invaso è pari a circa 12 Mm³. Il volume accumulato nell'invaso sarà derivato mediante una condotta forzata che si allaccerà alla rete irrigua esistente in pressione (Nodo A, ubicato all'altezza di Montesano Scalo). La portata derivata è assunta pari a 750 l/s nel periodo estivo e 300 l/s nel periodo invernale.

- **Alternativa 2 (A1*+D):** prevede la realizzazione di uno sbarramento nel sito A (diga A1*) di altezza pari a circa 28 m (quota di massima regolazione 606,50 m s.l.m.) con la duplice funzione di laminazione delle piene e di opera di captazione per il trasferimento della risorsa idrica in un bacino di accumulo nel sito D. Lo sbarramento in A consiste in una diga in *hardfill* (**Diga A1***); Alla quota di massima regolazione, pari a 648,50 m s.l.m., il volume dell'invaso è pari a circa 10 Mm³. Lo sbarramento in D (**Diga D**) consiste in una diga in pietrame zonato con paramento in calcestruzzo bituminoso (AFRFD); alla quota di massima regolazione, pari a 684,50 m s.l.m., il volume di invaso pari a circa 9 Mm³.
- **Alternativa 3 (A2*+D):** prevede la realizzazione di uno sbarramento nel sito A (diga A2*) di altezza pari a circa 15 m (quota di massima regolazione 594,20 m s.l.m.) con la funzione di opera di captazione per il trasferimento della risorsa idrica in un bacino di accumulo nel sito D. Lo sbarramento in A consiste in una a gravità in calcestruzzo (**Diga A2***). Alla quota di massima regolazione, pari a 594,2 m s.l.m., il volume dell'invaso è pari a circa 0,07 Mm³. Lo sbarramento in D (**Diga D**) consiste in una diga in pietrame zonato con paramento in calcestruzzo bituminoso (AFRFD); alla quota di massima regolazione, pari a 684,50 m s.l.m., il volume di invaso pari a circa 9 Mm³.

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

3.1 Assetto geologico – strutturale regionale

La storia geologica-strutturale dell'area oggetto di intervento si inquadra, a livello regionale, nel contesto evolutivo della Catena Appenninica Meridionale; essa è una catena a pieghe e falde di ricoprimento (*fold and thrust belts*) derivante dalla deformazione, per effetto dell'interazione di alcuni frammenti di placca europea e della microplacca Apula, di una serie di domini paleogeografici costituiti da piattaforme carbonatiche e bacini pelagici, nonché di terreni derivanti dalla deformazione di domini bacinali interni impostati su crosta oceanica e transizionale.

La definizione e ricostruzione dei domini paleogeografici coinvolti nelle fasi deformative è stata ed è tuttora oggetto di studi da parte dei ricercatori; nel tempo si è infatti passati da ricostruzioni in cui terreni carbonatici sono associati ad un'unica piattaforma carbonatica, a ricostruzioni in cui si ipotizza la presenza di più domini di piattaforma separati l'uno dall'altro da bacini più o meno profondi ed estesi, anche se non mancano modelli, relativamente recenti, che ritornano al modello ad una piattaforma.

Non essendo questa la sede per disquisire su quale sia il modello paleogeografico più coerente, basti ricordare che, indipendentemente dal numero di corpi carbonatici differenti riconosciuti, l'evoluzione delle piattaforme carbonatiche appenniniche dal momento della loro individuazione sino al Miocene, prima cioè dell'inizio delle deformazioni che hanno condotto alla strutturazione della catena, presenta caratteristiche comuni con successioni e associazioni di facies carbonatiche estremamente simili (D'Argenio et al., 1974).

Per quel che riguarda la strutturazione della catena appenninica, a partire dal Miocene inferiore, si è generato un trasporto tettonico di notevole entità che ha determinato la sovrapposizione di unità tettoniche riferibile generalmente ai diversi bacini di sedimentazione e contesti paleogeografici differenti (Carbone et al., 2016). In particolare, le unità affioranti in questo contesto fanno parte del sistema a *thrust* pellicolare, denominato Catena Appenninica, sovrapposto tettonicamente ad un edificio profondo definito Sistema a *thrust* Apulo (Finetti et al., 2005). L'intero edificio orogenico deriva, quindi, dalla strutturazione del sistema catena-avanfossa-avampaese che coinvolge progressivamente settori con caratteristiche crostali differenti.

Le successioni sedimentarie che si riconoscono in affioramento appartengono a domini paleogeografici derivanti dalla tettonica estensionale del Mesozoico, che aveva portato allo smembramento delle aree continentali, originando due bacini localizzati su crosta oceanica, quello alpino tetideo e quello ionico, separati da un settore a crosta continentale caratterizzato per tutto il Mesozoico da sedimentazione carbonatica (Piattaforma Appenninica) (Figura 2 a).

La sovrapposizione dell'intera Catena Appenninica sul substrato apulo è avvenuta, invece, durante tutto il Pliocene ed è proseguita nel Pleistocene inferiore attraverso una tettonica di tipo *thin-skinned*, che ha prodotto un edificio alloctono costituito da falde nettamente sradicate dal basamento sottostante.

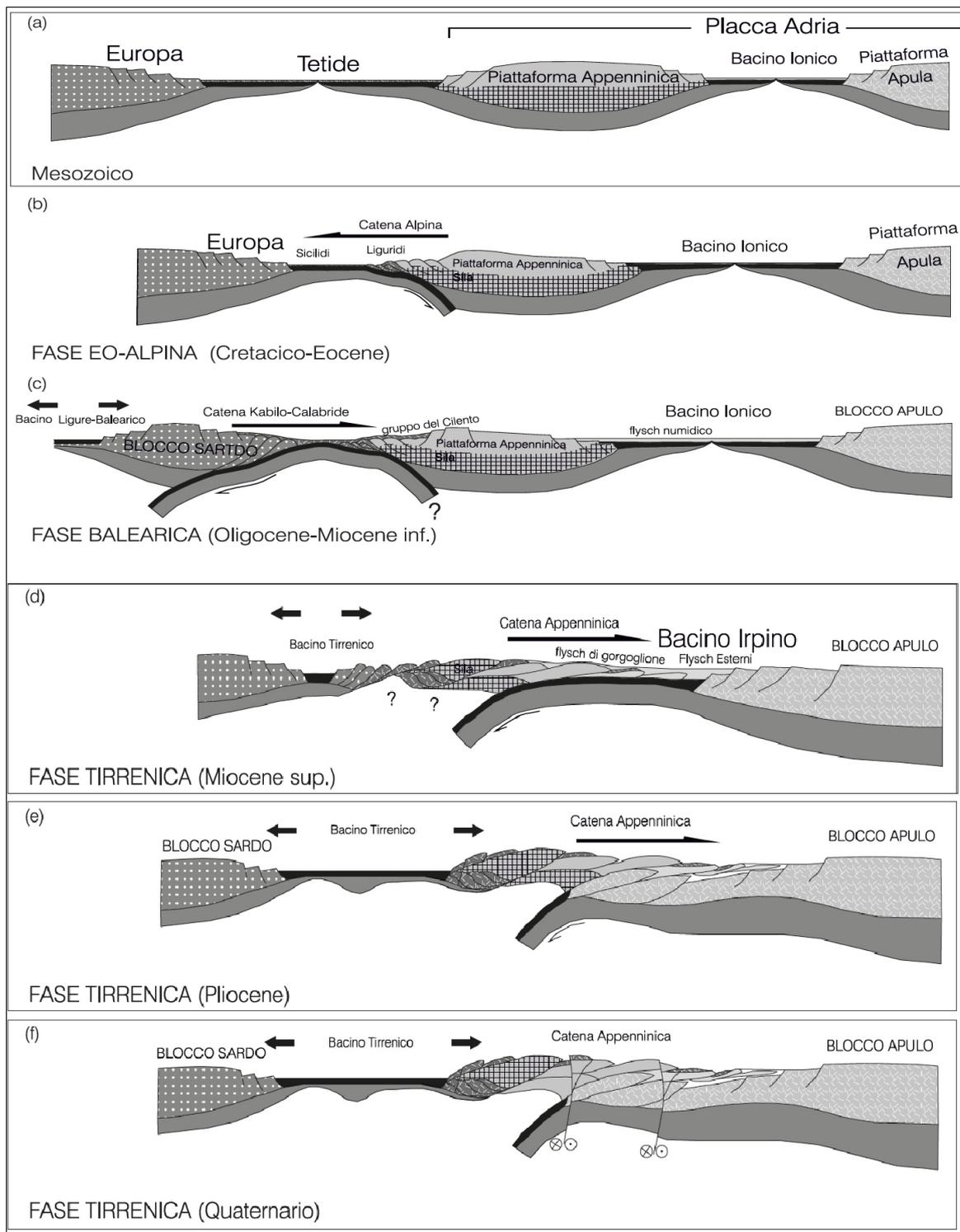


Figura 2: Ricostruzione paleogeografica lungo un transetto orientato est-ovest dalla Sardegna all'Appennino meridionale (da Lentini et al., 2006 modificato).

In particolare, si possono riconoscere due fasi orogeniche: Fase balearica e Fase tirrenica (precedute da una Fase eo-alpina, Figura 2 b, le cui testimonianze vanno ricercate nel parziale metamorfismo dell'Unità Silentina – Liguridi - presente al confine calabro-lucano e nel Cilento).

La **Fase balearica** è responsabile della messa in posto del Complesso di subduzione Sicilide, appartenente alle Unità Alpine Tetidee. Questo cuneo di accrezione, in parte affiorante al confine calabro-lucano, si struttura durante l'Oligocene superiore-Miocene inferiore, come conseguenza della subduzione, al di sotto del blocco europeo, della crosta oceanica che costituiva il basamento delle unità sedimentarie. Nel Mediterraneo occidentale la Fase balearica è caratterizzata dall'apertura del bacino di retroarco balearico e dalla rotazione antioraria del Blocco Sardo-Corso (Figura 2 c). Durante questa fase la piattaforma carbonatica appenninica giocava il ruolo di avampaese e la Formazione di Albidona rappresentava un deposito di avanfossa, coevo dei flysch ricchi in frammenti andesitici (Tufiti di Tusa), ubicati nel margine interno del bacino e pienamente coinvolti nel cuneo di accrezione alpino-tetideo.

La **Fase tirrenica** corrisponde alla messa in posto del Complesso di subduzione Ionico, che si struttura durante il Miocene medio-Pliocene inferiore (stadio 1) e al coinvolgimento dell'Avampaese Apulo nel fronte compressivo, che si deforma a partire dal Tortoniano costituendo il Sistema a Thrust Apulo (stadio 2). Il cuneo di accrezione si forma a spese delle coperture del bacino ionico in subduzione al di sotto del basamento della Piattaforma Appenninica ed è caratterizzato dalla contemporanea apertura del Bacino di retroarco del Vavilov durante lo stadio del Miocene medio-Pliocene inferiore (Tirreno occidentale), e del bacino di intra-arco del Marsili, contemporaneo allo stadio del Pliocene superiore-Pleistocene inferiore (Figura 2 d, e).

A partire dal Quaternario, in particolare nel Pleistocene (Figura 2 f), a causa del raggiunto stadio collisionale tra la crosta continentale apula e l'originario basamento continentale della Piattaforma Appenninica, la tettonica che caratterizza l'Appennino meridionale ha prevalente cinematica obliqua sinistra, forte componente estensionale ed è connessa con l'attivazione di sistemi trascorrenti che costituiscono lo svincolo settentrionale dell'Arco Calabro e che compaiono anche verso ovest in tutto il Cilento.

Durante l'evoluzione dello stadio (1) e (2) della fase tirrenica il back-stop della catena era rappresentato dalla crosta continentale riconoscibile attualmente nelle linee CROP-Mare presenti nell'off-shore tirrenico (Finetti, 2005). I rapporti strutturali, le facies sismiche e le evidenze geologiche permettono di attribuire questo intervallo crostale, spesso 20-25 km, ad una crosta continentale interposta originariamente tra la Tetide Alpina e lo Ionio e quindi al basamento su cui si sedimentavano le sequenze della Piattaforma Appenninica.

Con la Fase tirrenica, quindi, il sistema orogenico si è spostato, coinvolgendo il margine esterno della Piattaforma Appenninica ed originando a partire dal Burdigaliano-Langhiano la sovrapposizione delle unità carbonatiche sulle unità lagonegresi. Al Langhiano-Serravalliano è imputabile la strutturazione del flysch di Gorgoglione e dei Flysch Esterni. A partire dal Pliocene si ha la generale sovrapposizione dell'edificio alloctono sulle Unità Apule.

Quanto appena sopra descritto rappresenta un quadro tettonico dominato da una fase di compressione a cui ha fatto seguito una fase tettonica tardiva caratterizzata dalla presenza di faglie

dirette, variamente orientate, che hanno suddiviso i massicci carbonatici e le coperture flyschoidi in tante zolle provocando la formazione di depressioni tettoniche, tra cui quella del Vallo di Diano.

Il Vallo di Diano è una delle più vaste conche intramontane (37 km di lunghezza e 2-7 km di larghezza) dell'Appennino meridionale, originatesi lungo una faglia principale ad orientazione appenninica (N140°E) passante per Polla-Atena-Sala Consilina e Padula ad est del vallo, lungo il bordo dei Monti della Maddalena (Figura 3).

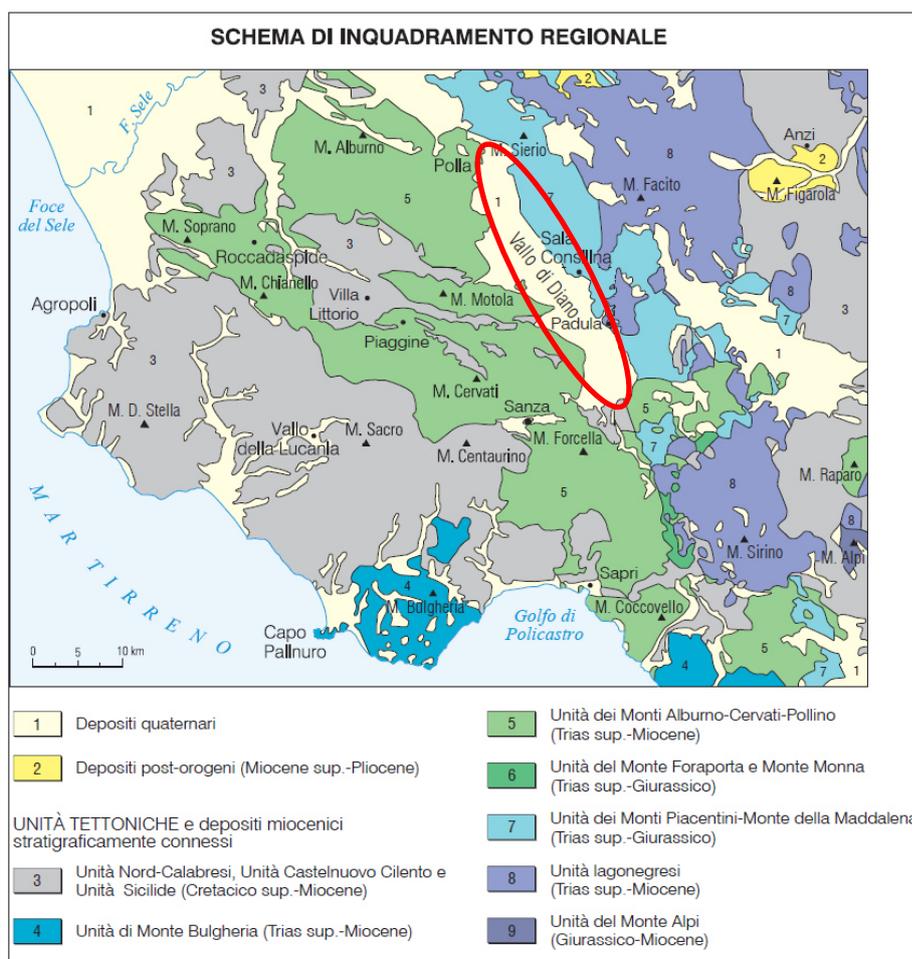


Figura 3: Inquadramento geologico regionale di parte dell'Appennino meridionale con evidenziata l'ubicazione della conca intramontana del Vallo di Diano. (Sgrosso et al. 2010).

Questa depressione, attraversata da SE verso NO dal F. Tanagro, è caratterizzata da un fondo quasi piatto e non disseccato, posto mediamente intorno a 450 m s.l.m.; essa ha ospitato un bacino lacustre e lacuo-palustre tra il Pleistocene inferiore e l'Olocene, fino alla bonifica avviata da Romani e conclusa dai Borboni nella seconda metà del XIX secolo.

Allungata in direzione NO-SE, la depressione risulta in superficie marcatamente asimmetrica: al margine dei Monti della Maddalena, costituito da una successione di lunghe scarpate di faglia ad orientazione appenninica NO-SE, intervallate da più corte scarpate ad orientazione circa E-O, si contrappone il bordo occidentale che appare fortemente articolato in pianta e caratterizzato essenzialmente da versanti di strato e di linea di faglia (Sgrosso et al., 2010).

Dati di sottosuolo di tipo diretto e indiretto indicano che lo spessore del pacchetto sedimentario che ha riempito la conca tettonica varia sia longitudinalmente che trasversalmente al bacino, tendendo ad aumentare verso il centro e verso il bordo nordorientale: presso Sala Consilina esso ammonterebbe a circa 500 m (Mostardini et al., 1988). Similmente, il tetto dei carbonati (a luoghi coperto da variabili spessori di depositi terrigeni) degrada dolcemente dal bordo occidentale, mentre si deprime bruscamente lungo uno stretto sciame di faglie, a breve distanza dal bordo orientale così come rappresentato, per maggior chiarezza, nella sezione di Figura 4.

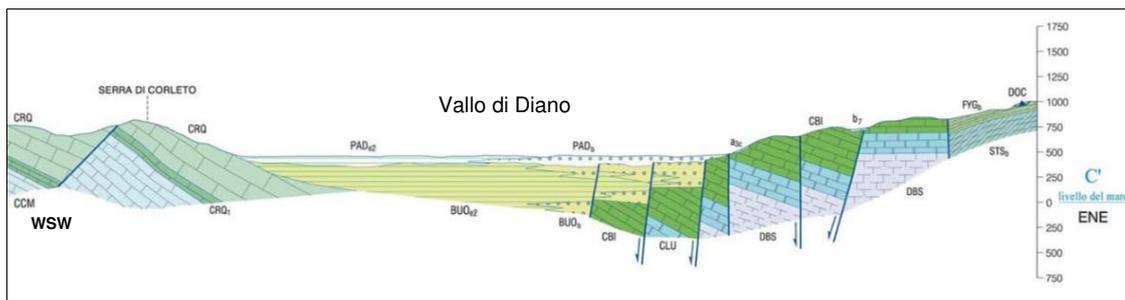


Figura 4: Stralcio della sezione geologica ubicata poco a nord di Padula (fonte: Carta geologica d'Italia 1:50.000- Foglio 504 Sala Consilina).

Il Vallo di Diano è stato progressivamente riempito da depositi clastici a granulometria variabile trasportati dai corsi d'acqua che attraversavano la piana e dalle conoidi alluvionali che la bordavano.

Concludendo, alla luce della complessità dell'assetto geologico-strutturale appena sopra descritto, risulta alquanto ragionevole presupporre la presenza, nell'ambito delle aree oggetto di intervento, di materiali caratterizzati da una intensa deformazione, spesso associata a zone milonitiche e cataclastiche che determinano la presenza di materiali particolarmente fratturati come verrà descritto con maggiore dettaglio nel paragrafo 3.2.

3.2 Assetto geologico-strutturale dell'area oggetto di intervento

Per quel che riguarda la cartografia geologica di riferimento, le aree interessate dai diversi scenari progettuali oggetto di analisi si collocano all'interno dei seguenti fogli della Carta Geologica d'Italia – Progetto CARG (scala 1: 50.000):

- n. 504 - Sala Consilina;
- n. 505 – Moliterno;
- n. 521 – Lauria.

Nell'ambito della presente progettazione, le porzioni dei fogli appena sopra citati ricadenti nell'ambito di intervento sono state digitalizzate al fine di costruire la Carta Geologica e Geomorfologica di inquadramento (Elaborato 2022.0305.002-GEO-D01_0 "Carta geologica e geomorfologica").

Fatto salvo il complesso assetto geologico regionale descritto al paragrafo 3.1, le unità tettoniche individuate nella porzione di Catena Appenninica Meridionale interessata dagli interventi in esame, a partire dalle più profonde dal punto di vista geometrico (quindi presumibilmente più esterne) sono:

- a) depositi bacinali appartenenti all'Unità Lagonegrese II;
- b) depositi prevalentemente di scarpata di piattaforma carbonatica dell'Unità dei Monti della Maddalena;
- c) depositi quasi esclusivamente di piattaforma carbonatica (con la loro evoluzione ad avanfossa nel Miocene) dell'Unità Alburno-Cervati-Pollino;
- d) depositi terrigeni che rappresentano le coperture torbiditiche depositatesi in "bacini sospesi" al di sopra del cuneo di accrezione tetideo a partire dall'Oligocene superiore-Miocene inferiore (Unità Silentina e/o Unità del Cilento);
- e) depositi appartenenti al Bacino del Vallo di Diano - Sintema della Certosa di Padula e Sintema di Buonabitacolo.

Analizzando con maggiore dettaglio l'edificio alloctono derivante dagli eventi deformativi che si sono succeduti a partire dall'Oligocene superiore - Miocene inferiore si osserva che la Catena Appenninica si sovrappone sui livelli del Pliocene inferiore e più all'esterno del Pliocene medio al tetto delle Unità Apule costituenti il Sistema a Thrust Apulo e l'Avanfossa Bradanica (Figura 5).

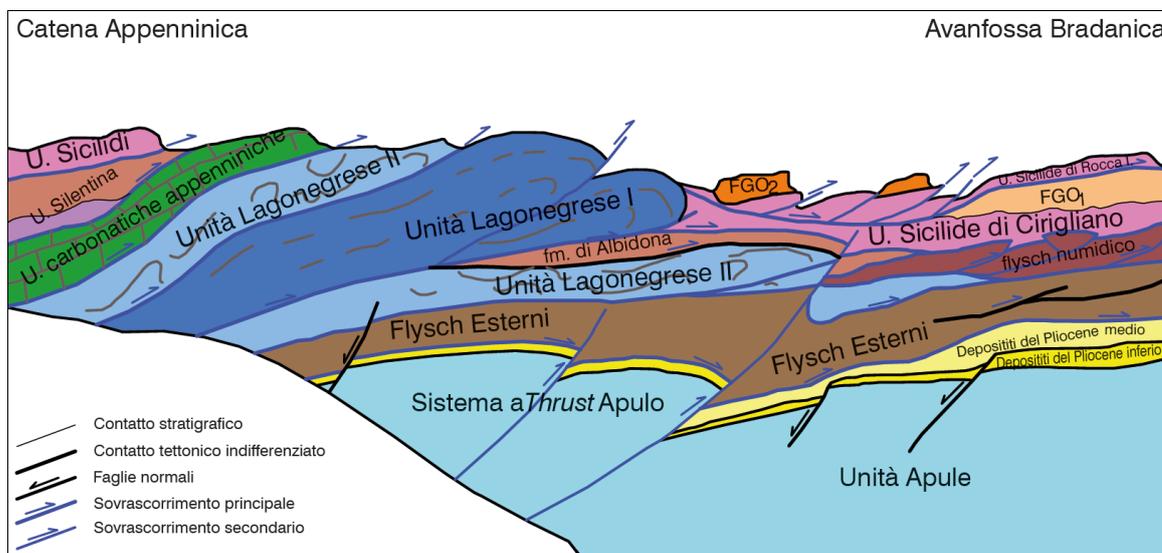


Figura 5: Schema dei rapporti tra le unità tettoniche riconosciute nel settore Catena-Avanfossa dell'Appennino meridionale campano-lucano (da Carbone et al., 2016).

In particolare e con riferimento all'assetto geologico-strutturale della Catena Appenninica presente nelle aree di intervento, le successioni mesozoiche sono rappresentate dalle due unità bacinali lagonegresi (I e II) e dalle unità carbonatiche appenniniche (Monti della Maddalena e Alburno-Cervati-Pollino); inoltre, sono presenti le coperture terrigene terziarie che hanno subito un generale e ripetuto scollamento andando a formare un cuneo sedimentario esterno, nel quale le età dei contatti tettonici risultano più recenti (dal Langhiano al Pliocene medio) procedendo verso il basso. In riferimento alle

coperture terrigene appena citate, nell'area di intervento affiora la Formazione di Albidona, che ha giocato il ruolo di deposito di avanfossa ("Bacino pre-Irpino") durante la Fase Balearica (Oligocene-Miocene inferiore) la quale separa l'Unità Silentina e le Unità Sicilidi, queste ultime costituite da successioni originariamente depositatesi in aree relativamente interne. Attualmente la Formazione di Albidona si rinviene ampiamente scollata in "sostituzione" del coevo flysch numidico.

Come conseguenza dell'assetto geologico strutturale appena sopra descritto, l'area oggetto è caratterizzata da una intensa tettonizzazione legata alle dinamiche strutturali della catena appenninica che determinano la presenza di numerose faglie ad andamento appenninico e non; a tali sistemi di fagliazione si deve aggiungere la presenza di una **Faglia Capace** denominata "30100 Casalbuono", censita all'interno del Catalogo delle Faglie Capaci – ITHACA redatto da ISPRA ([Catalogo ITHACA](#)).

A tal proposito, si precisa che nel corso dell'attività di raccolta dati è stata avviata una interlocuzione con i tecnici ISPRA per ottenere maggiori informazioni in merito alle caratteristiche di tale faglia segnalata in prossimità dell'area di intervento. Dalle informazioni raccolte è emerso che in corso da parte di ISPRA l'aggiornamento del database ITHACA che rivede la posizione della faglia capace "30100 – Casalbuono", che viene inoltre rinominata come faglia "Casalbuono-Monte Cervaro" appartenente al sistema Cervati-Serralunga-Ciagola Fault System (Figura 6).

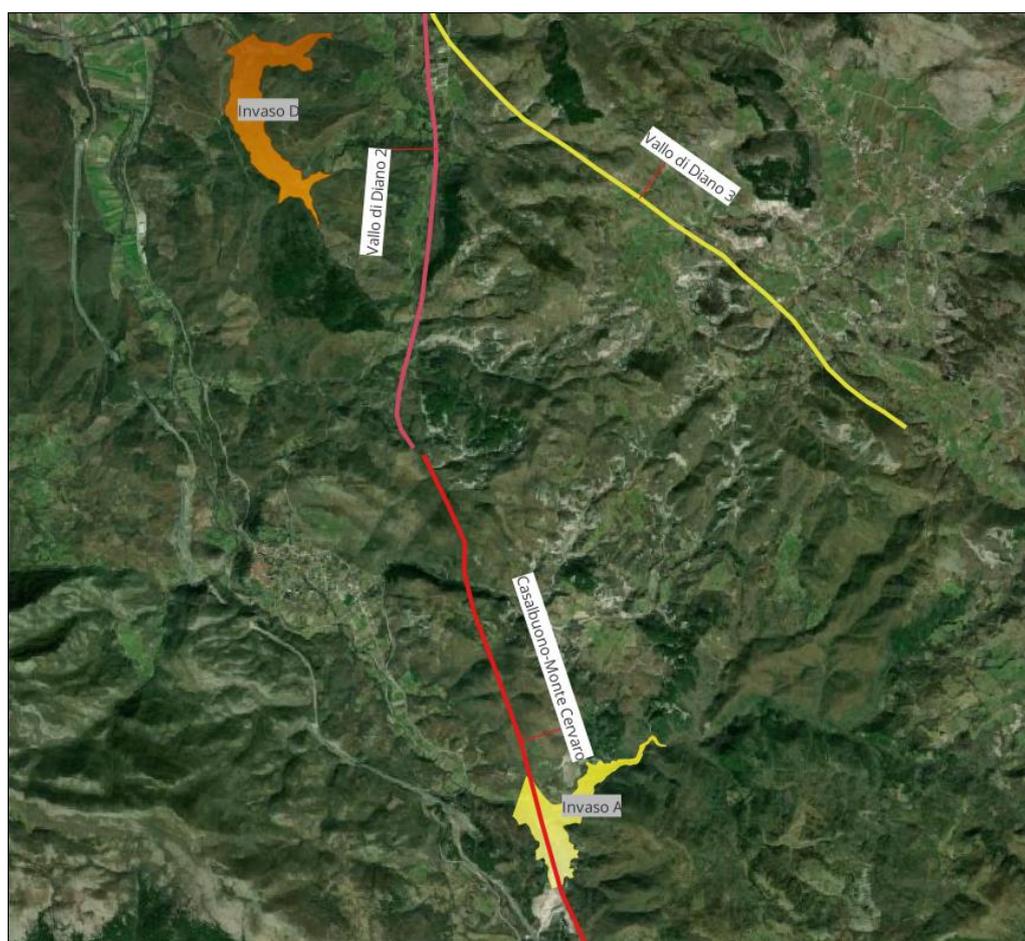


Figura 6: Posizione della faglia capace rispetto all'ubicazione delle opere previste (fonte ISPRA, dato non ancora pubblicato).

Nel nuovo catalogo è indicata come faglia quaternaria da indagare, considerato che ha avuto un'attività riferibile genericamente al Pleistocene e che non è stata oggetto di studi sismotettonici e paleosismologici dedicati.

Sempre nel corso delle attività della presente progettazione è stato possibile prendere visione della relazione finale redatta dal Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche ed Ambientali (Università di Bologna) nell'ambito del *“Supporto specialistico alla predisposizione di uno Studio Geologico propedeutico al PFTE della Linea AV Salerno – Reggio Calabria (Lotti 1 e 2) – Faglie Attive e Capaci”* commissionato da ITALFERR S.p.A..

Lo studio, redatto nel 2021 fornisce, in sintesi:

- la revisione critica della letteratura tecnico-scientifica riguardante l'inquadramento geologico-strutturale e sismotettonico dell'area in cui ricade il tracciato dell'AV Salerno-Reggio Calabria;
- la revisione critica della cartografia geologica ufficiale (ad esempio, Progetto CARG) e cartografia allegata a lavori scientifici;
- l'analisi dei contenuti di database ufficiali nazionali (ITHACA, DISS) riportanti informazioni e dati sulle faglie attive e capaci presenti sul territorio nazionale;
- l'identificazione, gerarchizzazione e analisi critica delle informazioni raccolte sul tema delle faglie attive e capaci, al fine di valutare l'affidabilità dei dati reperiti e i risvolti in ambito progettuale.

In buona sostanza lo studio si conclude con una *“lista delle strutture chiave che si ritiene necessitano di mirate indagini future durante le successive fasi di progettazione”* in funzione della posizione della struttura rispetto alla linea AV (se intersecante o meno) e del grado di affidabilità delle informazioni ottenute dalla consultazione incrociata del catalogo ITHACA, della cartografia geologica e della letteratura scientifica.

Le singole strutture sono state “indicizzate” dove con il termine “indicizzazione” intendiamo il grado di priorità che assegniamo alle indagini di approfondimento da effettuare sulle strutture esaminate. L'indicizzazione è espressa come “alta”, “media” e “bassa” a seconda. Le strutture con indicizzazione “alta” richiedono massima priorità nelle indagini di approfondimento nelle successive fasi di progettazione.

Le FAC Casalbuono (codice 30100) è identificate da ITHACA come segmento di faglia con orientazioni variabili. Questa struttura è stata attenzionata in seguito all'evento sismico del 9 settembre 1998 (Mw: 5.6). Dall'analisi della cartografia ufficiale e della bibliografia scientifica risalta una serie di incongruenze riguardanti l'ubicazione, l'orientazione e la cinematica di queste strutture (ad esempio, Mazzoli, 1992; Ferranti et alii, 1996; Michetti et alii, 2000). Non si hanno dettagli sull'età di attivazione di questi segmenti di faglia. L'indicizzazione è “alta” per le FAC Casalbuono (codice 30100), si suggerisce un approfondimento geologico-geomorfologico-geofisico mirato ad accertare l'ubicazione, l'orientazione e la cinematica di queste strutture”.

Pertanto, in una prospettiva progettuale, si ritiene che essa dovrà essere studiata con indagini e studi sito specifici, sia per quanto attiene all'effettiva attività/capacità, sia per la corretta localizzazione geografica.

3.3 Assetto stratigrafico delle aree oggetto delle alternative progettuali

Per quel che riguarda le caratteristiche lito-stratigrafiche dei terreni direttamente coinvolti dalle alternative progettuali proposte, con riferimento all'assetto geologico generale e all'Elaborato 2022.0305.002-GEO-D01_0 "*Carta geologica e geomorfologica*", vengono di seguito descritte le Formazioni, ovviamente raggruppate nelle differenti Unità tettoniche di appartenenza, affioranti nell'area in esame.

Così come riportato in Premessa, si rammenta che le Alternative progettuali sono 3 così definite:

- Alternativa 1 – Diga A;
- Alternativa 2 - Diga A1* e Diga D;
- Alternativa 3 - Diga A2* e Diga D.

Le soluzioni A, A1* e A2* (Diga di Casalbuono e sue proposte alternative) ricadono nella medesima area, pertanto, gli aspetti litostratigrafici vengono descritti nel medesimo paragrafo 3.3.1.

Nel paragrafo 3.3.2 si riporta, invece, la descrizione delle caratteristiche litostratigrafica dell'area ove si prevede di realizzare l'invaso sul t. Torrente Porcile – Diga D.

3.3.1 Diga A – A1 - A2* – Diga di Casalbuono e proposte alternative*

Piattaforma Appenninica

Unità tettonica Alburno – Cervati – Pollino

L'unità rappresenta le successioni carbonatiche di mare basso del Mesozoico dell'Appennino meridionale la cui suddivisione stratigrafica risulta complessa in virtù del fatto che esse sono caratterizzate da una marcata omogeneità delle caratteristiche litologiche macroscopiche. L'intera successione, per uno spessore complessivo affiorante di più di 5000 m, è costituita da pochi litotipi (calcari, calcari dolomitici e dolomie, con subordinati calcari marnosi e marne). A scala di maggior dettaglio il persistere di condizioni di sedimentazione di mare basso, in ambienti genericamente riferibili a piattaforme carbonatiche di tipo tropicale (almeno per gran parte del Mesozoico), ha determinato in tali successioni una grande continuità laterale ed una estrema ripetitività in senso verticale delle litofacies (Bonardi et al., 2016).

Si tratta, quindi, di litologie pressoché simili; tenuto conto di tale sostanziale uniformità litologica, per caratterizzare e definire le diverse unità si è spesso fatto ricorso al loro contenuto fossilifero.

La colonna stratigrafica dell'intera unità è rappresentata in Figura 7.

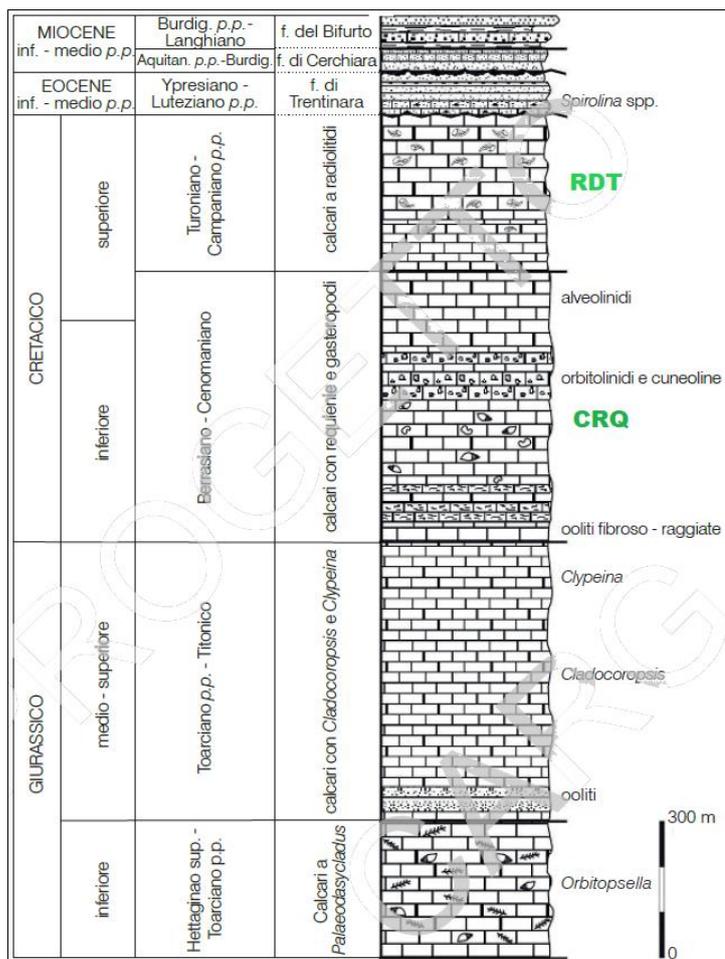


Figura 7: Colonna stratigrafica dell'Unità Alburno-Cervati-Pollino (da Bonardi et al., 2016).

Tutto ciò premesso, della sequenza riportata in Figura 7, nell'area in esame affiorano i **Calcarei a radiolitidi (RDT)**; i più comuni sono calcareniti e calcilutiti grigie, grigio scure e nere, ben stratificate, con radiolitidi spesso in letti biostromali di spessore da decimetrico a metrico. Subordinatamente sono presenti dolomie e calcari dolomitici scuri. Nella parte bassa sono in genere presenti alcune decine di metri di calcari e calcari dolomitici scuri in strati sottili.

Tra le litofacies più comuni, tipicamente nella parte bassa dell'unità (aree intorno a Casalbuono), sono prevalenti le litofacies fangosostenute (*wackestone-mudstone* a ostracodi, piccoli miliolidi); talvolta si hanno calcari con cavità fenestrati e laminati, sino a loferitici, intercalazioni subordinate di *wackestone-packstone* o calcari granulo-sostenuti a foraminiferi bentonici, talora con taumatoporelle; occasionalmente, calcari dolomitici microcristallini laminati e a bande grigiastri e grigio-giallognoli in strati da medi a spessi.

Queste litofacies potrebbero essere interpretate come deposte prevalentemente in un ambiente a bassa energia, con idrodinamismo occasionalmente variabile ed episodi di esposizione in ambienti sopratidali, presumibilmente corrispondente ad aree interne di una piattaforma (s.l.) o rampa carbonatica.

In affioramento si presentano estremamente tettonizzati e fratturati in virtù della presenza in loco di faglie dirette e sovrascorrimenti legati alle dinamiche appenniniche (Figura 8).



Figura 8: Calcarea a Radiolitidi (RDT) intensamente alterata, a tratti cataclastica e brecciata. Versante sinistro appena a monte di Ponte del Re (Comune di Casalbuono).

Inoltre, non si esclude la presenza di fenomeni carsici, seppur in subordine rispetto ai fenomeni di fratturazione legati alle intense attività tettoniche che hanno interessato tale formazione, responsabili di fenomeni di dissoluzione dei calcari con formazione di cavità, così come evidenziato in Figura 9.

Età: Turoniano-Campaniano p.p.

Sempre appartenenti all'Unità Tettonica Alburno-Cervati-Pollino, in corrispondenza della possibile posizione dell'imposta della spalla destra della diga Diga A, A1* e A2* affiorano i **Calcari con Requenie e Gasteropodi (CRQ)**.

I litotipi più comuni sono calcareniti e calcilutiti grigio scure e nocciola ben stratificate, in strati di spessore compreso generalmente fra 20 e 100 cm, con frequenti livelli a requienidi e gasteropodi. Subordinatamente sono presenti dolomie e calcari dolomitici lastroidi da giallastri a bruni e calcari e calcari dolomitici nerastri, ricchi di materia organica, in strati molto sottili (2-10 cm). Nella parte inferiore sono presenti livelli con laminazioni algali e livelli di calcareniti oolitiche; nella parte mediana alla sommità degli strati si ritrovano spesso livelli pseudoconglomeratici con clasti calcarei in matrice marnoso-argillosa da giallastra a verdastra o arrossata. Nella parte alta sono presenti calcareniti bioclastiche ad alveolinidi, cuneoline e soritidi.

In affioramento si presentano estremamente tettonizzati e fratturati in virtù della presenza in loco di faglie dirette e sovrascorrimenti legati alle dinamiche appenniniche (Figura 10).

Età: Giurassico superiore p.p. – Cenomaniano



Figura 9: Affioramento di calcare brecciato, interessato da fenomeni di carsismo. Versante sinistro appena a monte di Ponte del Re.



Figura 10: Calcari dell'Unità Alburno-Cervati-Pollini (CRQ?), interessato da fenomeni di intensa fratturazione. Versante destro a monte di Ponte del Re.

Unità Tettonica Monti della Maddalena

Tradizionalmente le successioni carbonatiche di età mesozoica e paleogenica dei Monti della Maddalena vengono riferite nel complesso ad ambienti di transizione a bacino (da settori relativamente esterni della piattaforma ad ambienti di scarpata), distinguendole da quelle proprie di piattaforma carbonatica interna che caratterizzano prevalentemente l'unità Alburno-Cervati-Pollino (Carbone et al., 2016).

Nell'area che potrebbe essere interessata dalla presenza dell'invaso di Casalbuono, in contatto tettonico con i sopra citati calcari a radiolitidi, affiorano le **Dolomie Indifferenziate (DOC)**, cartografate come Dolomia Superiore (DBS) nel foglio 521 Lauria.

Sono costituite da dolomie, dolomie calcaree saccaroidi e a grana fine e calcari dolomitici, in genere di colore grigio chiaro, prive di strutture sedimentarie primarie o a volte male o irregolarmente stratificate. Le sequenze sedimentarie originarie sono pressoché oscurate. Non di rado si trovano fortemente fratturate e talora allo stato cataclastico, fino a presentarsi come sabbie o farinose, di frequente biancastre per azione rifrattiva della luce.

Le litofacies delle dolomie chiare indicano deposizione in aree di piattaforma carbonatica caratterizzate da oscillazioni tra un ambiente subtidale poco profondo, l'intertidale e periodiche esposizioni in ambiente subaereo. Le dolomie scure indicano che localmente gli ambienti subtidali potevano essere caratterizzati da scarsa ossigenazione al fondo a causa probabilmente di una maggiore profondità ed una limitazione degli scambi idrici con il mare aperto.

L'intensa tettonizzazione, che è il carattere più tipico di questa unità, e l'assenza di stratificazione regolare, ben visibili in affioramento (Figura 11 e Figura 12), rendono difficile calcolare lo spessore della dolomia.



Figura 11: Dolomia fortemente alterata con porzioni milonitizzate in corrispondenza delle superfici di maggior stress tettonico (Cava dismessa località Sant'Antonio).



Figura 12: Dolomia fortemente fratturata. Versante destro a monte di Ponte del Re.

Depositi alluvionali

Sul fondovalle del f. Calore, sia in alveo che in golena, sono presenti depositi fluviali costituiti da ghiaie e sabbie e, in misura minore da sabbia e limo. Si tratta fondamentalmente di depositi in formazione legati alle dinamiche fluviali attuali.

L'età è Attuale.

3.3.2 Diga D – Torrente Porcile

Unità Tettonica Silentina

I terreni che costituiscono questa unità tettonica fanno parte di una successione che raggruppa litotipi sedimentari di età Cretacico-Miocene inferiore, in appoggio tettonico su un'unità di basamento oceanico caratterizzato da ofioliti e da metasedimenti, interpretati quali relitti del dominio oceanico alpino-tetideo.

A partire dal 1970 viene riconosciuta, infatti, la sovrapposizione tettonica tra terreni metamorfici e le sovrastanti successioni sedimentarie. In particolare, Amodio-Morelli et al. (1976) suddividono il Complesso Liguride in due differenti unità tettoniche: l'Unità del Frido, comprensiva di tutti i terreni epimetamorfici, e l'Unità del Cilento e/o Unità Silentina (D'Argenio et al., 1973), che raggruppa tutti i terreni sedimentari che rappresentano le coperture torbiditiche depositatesi in "bacini sospesi" al di sopra del cuneo di accrezione tetideo durante l'Oligocene superiore- Miocene inferiore (Figura 13).

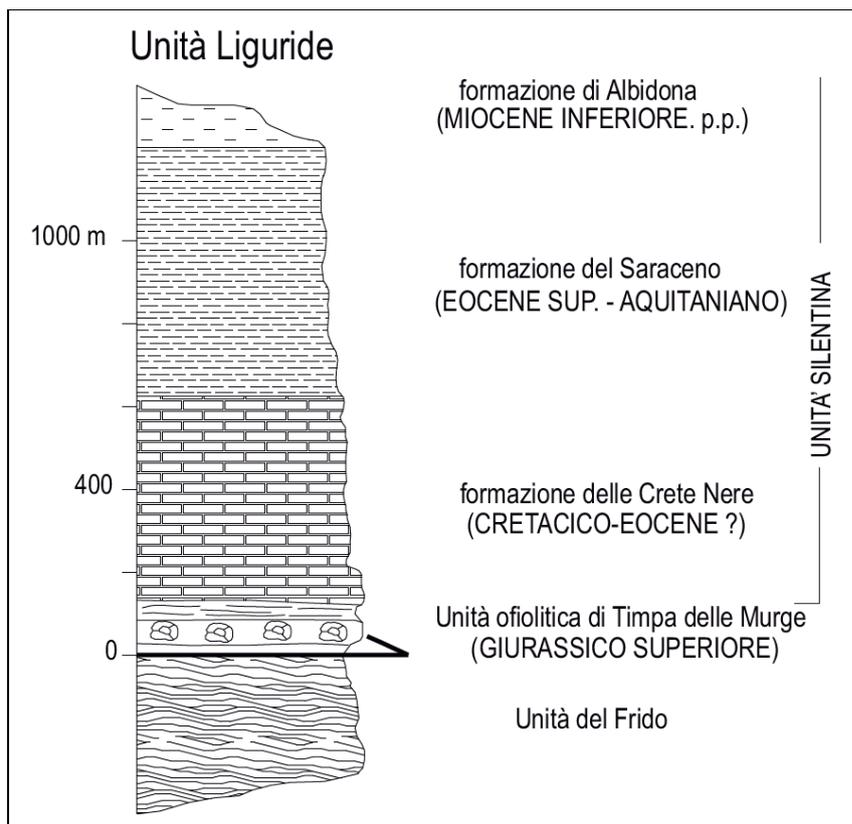


Figura 13: Colonna stratigrafica schematica dell'Unità Liguride in Appennino Meridionale, la cui parte sommitale è rappresentata dalla Formazione di Albidona (da Carbone et al., 2016).

Nell'area interessata dalla Diga D è presente la **Formazione di Albidona (ABD₂)**: sono attribuiti a questa formazione depositi silicoclastici e carbonatici costituiti da torbiditi arenacee arcoseo-litiche a granulometria da grossolana a mediofine, in strati da medi a spessi talora molto spessi, a geometria tabulare, talora anche con base conglomeratica e comunque caratterizzati da una notevole variabilità litologica.

In particolare, nell'area ove si prevede la progettazione della Diga D, affiora il membro marnoso-calcareo (ABD₂) costituito da una alternanza di arenarie grigio-ocraee a grana fine, in strati da sottili a medi e di marne, marne argillose e argille siltose grigie con lenti di marne calcaree biancastre, in grossi banchi (Figura 14 e Figura 15).

Le arenarie hanno grana fine e generalmente non sono classate. L'analisi petrografica dei campioni analizzati nell'ambito del Progetto CARG indica una composizione che va da litarenite calciclastica ad arcose litica a cemento carbonatico, talora anche micaceo-quarzoso. La parte medio-inferiore di questo intervallo è caratterizzata da areniti fini prevalenti e da megastrati carbonatici canalizzati a base erosiva, la cui continuità laterale è sovente mascherata da copertura boschiva o interrotta da faglie. Nella porzione mediana prevalgono alternanze pelitico-arenitiche e peliti, infine nella parte alta di questo intervallo sono presenti banchi conglomeratici ad elementi prevalentemente granitici.

Lo spessore del membro ABD₂ può raggiungere i 500 m.



Figura 14: Affioramento della Formazione di Albidona in ambito dell'area "Intervento D". Versante destro.

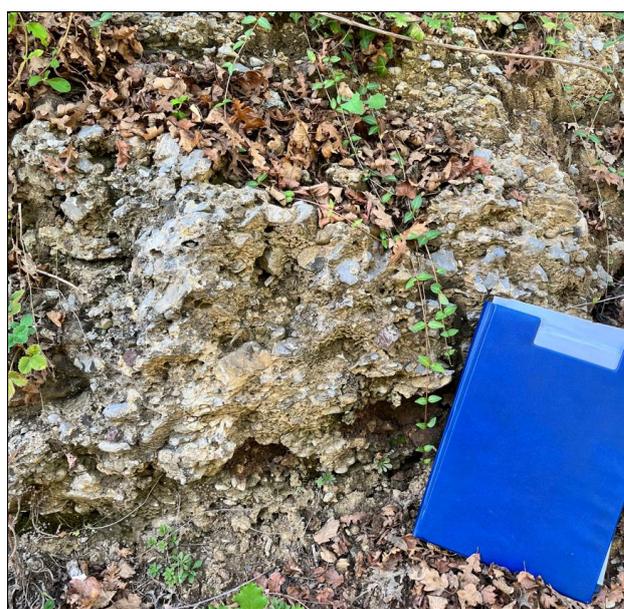


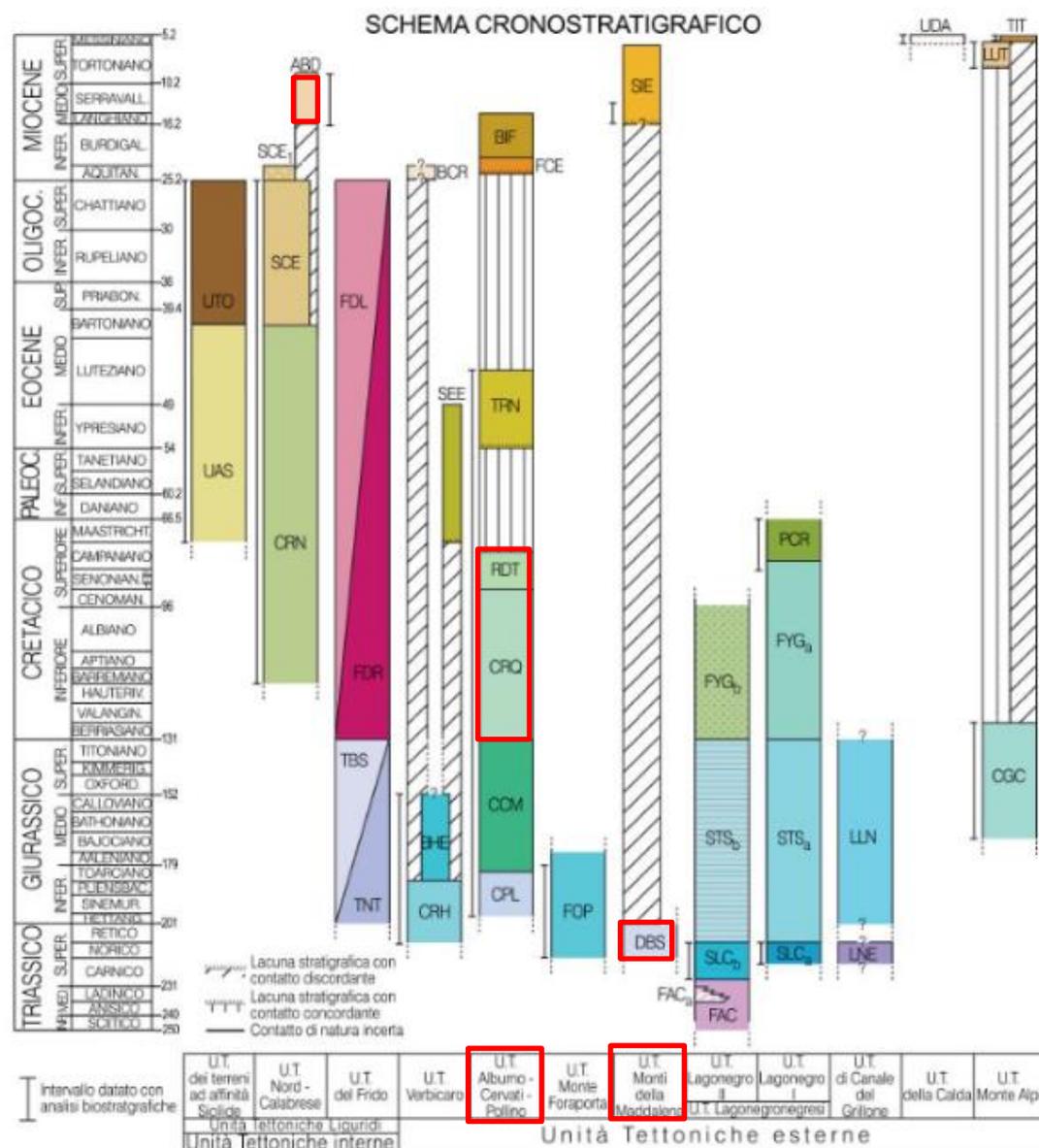
Figura 15: Affioramento della Formazione di Albidona in ambito dell'area "Intervento D". Versante sinistro.

Depositi alluvionali

Sul fondovalle del t. Porcile, sia in alveo che in golena, sono presenti depositi fluviali costituiti da ghiaie e sabbie e, in misura minore da sabbia e limo. Si tratta fondamentalmente di depositi in formazione legati alle dinamiche fluviali attuali.

L'età è Attuale.

Infine, per maggiore chiarezza si riporta lo schema dei rapporti stratigrafici con evidenziate le formazioni che interessano l'intera area di intervento (Figura 16).



disposizione e allestimento per la stampa a cura del CNR IDPA Sezione di Milano e Laboratorio Sistemi Informativi Territoriali - DISAT - Università di Milano Bicocca

Figura 16: Schema cronostratigrafico del foglio 521-Lauria (Carta geologica d'Italia, Progetto Carg, ISPRA 2014).

4. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'assetto geomorfologico dell'ambito di intervento è condizionato dalla distribuzione delle morfologie erosionali e/o deposizionali controllate dalle dinamiche geologiche delle successioni mesozoiche che hanno generato nel corso del Quaternario morfostrutture positive, i cui rilievi raggiungono quote anche superiori ai 1000 m circa s.l.m. e negative, come la depressione tettonica intermontana del Vallo di Diano (Santangelo, 1991). In tale contesto le litologie più conservative hanno dato luogo a morfologie più o meno morbide (Figura 17 e Figura 18) che si contrappongono al paesaggio subpianeggiante del fondovalle alluvionale del Vallo di Diano colmata da sedimenti continentali clastici (Figura 19). Uno sguardo d'insieme al paesaggio mostra, dunque, morfologie articolate che sono il riflesso di vari fattori, agenti e processi che sono intervenuti nel modellamento del rilievo e che si alternano o si sovrappongono in modo vario e complesso nel tempo (Carbone et al., 2016).



Figura 17: Morfologia dell'area a monte dell'ubicazione della Diga A o A1* o A2* (Casalbuono) in cui si riconosce la presenza di affioramenti dei depositi calcareo-dolomitici. La zona risulta fittamente boscata.



Figura 18: Morfologia dell'area a monte dell'ubicazione della Diga D (Torrente Porcile) in cui si riconoscono le morfologie dolci delle colline impostate su materiali flyschoidi. La zona risulta fittamente boscata.



Figura 19: Vista del Vallo di Diano da Via Ponte Mescole (Fiume Tanagro, da valle verso monte).

Come evidenziato al paragrafo 3.3.1, l'area ove si prevede di realizzare la Diga A o A1* o A2* ricade in un ambito potenzialmente interessato da fenomeni carsici; numerose sono, infatti, le forme carsiche epigee che interessano a scala diversa le successioni carbonatiche della Piattaforma Appenninica. *Karren* e docce di erosione sono abbastanza diffuse laddove i carbonati sono privi di coperture detritico-colluviali e vegetazione. Inghiottoi, doline ed uvala sono variamente diffusi in tutta l'area carbonatica. Inoltre, alle forme carsiche di maggiori dimensioni appartengono quelle tettono-carsiche con le conche endoreiche di Mandrano e Mandranello a nord dell'area di intervento, e quelle di Magorno e Spigno a est. Si tratta di bacini chiusi a drenaggio endoreico caratterizzati da bordi più o meno rettilinei lungo cui sono presenti grotte e inghiottitoi entro cui confluiscono le acque del ruscellamento superficiale.

A tal proposito nel corso del presente studio è stato condotto un approfondimento per la verifica, attraverso le fonti bibliografiche e scientifiche disponibili, circa la presenza di cavità note nel settore di stretto interesse progettuale. In particolare sono stati consultati i dati relativi al progetto [Database Nazionale Sinkhole](#) realizzato dall'ISPRA (Istituto Superiore per la Ricerca e Protezione dell'Ambiente), le informazioni della banca dati relative al censimento delle cavità della regione Campania [Catasto Regione Campania](#) e della banca dati della [Federazione Speleologica Campana](#).

Il progetto condotto dall'ISPRA non segnala alcun elemento di criticità in relazione alla eventuale presenza di *sinkhole* nell'area di studio, come pure gli altri due database appena sopracitati non evidenziano la presenza di grotte nelle aree di intervento.

Per quel che riguarda la rete idrografica, sempre la dorsale dei Monti della Maddalena condiziona l'andamento dei corsi d'acqua in quanto essa funge da spartiacque tra il bacino idrografico del Vallo di Diano, a deflusso tirrenico, a cui appartengono il F. Calore-Tanagro, e quello dell'alta Val d'Agri, a deflusso ionico.

Il F. Calore, così è denominato nel suo tratto iniziale, nasce al confine con i comuni di Moliterno e Lagonegro ed è caratterizzato per i primi 25 km da una morfologia monocanale sinuoso; i suoi principali affluenti in questo tratto sono rappresentati dal t. Porcile, in destra idraulica, e dal t. Peglio, in sinistra.

A valle della confluenza con il t. Porcile, inizia la sistemazione idraulica del tratto di pianura e le acque che fluiscono dai versanti circostanti vengono, per mezzo di una fitta rete di canali, convogliate nell'asta principale del corso d'acqua che da qui prende il nome di Tanagro.

Il pattern idrografico mostra un grado di evoluzione differente in relazione alle diverse litologie su cui è impostato: una bassa gerarchizzazione nei litotipi carbonatici e una buona organizzazione quando gli impluvi interessano litotipi silicei e/o silicoclastici. In quest'ultimo caso lo sviluppo del reticolo idrografico ha favorito la formazione di estese conoidi alluvionali e/o detritico-alluvionali alla base dei versanti presente anche lungo il bordo orientale del Vallo di Diano ed in minore misura in quello occidentale (Carbone et al., 2016).

Per quel che riguarda il dissesto geomorfologico, dalla consultazione del portale IDROGEO emerge che l'area ove si prevede di realizzare l'opera di sbarramento di Casalbuono (Diga A, A1* e A2*) non ricade in aree di pericolosità per frana, ma è classificata come Area di Attenzione (AA) (Figura 20); ciò comporta che dovrà essere realizzato uno studio geologico di dettaglio che attesti la compatibilità dell'intervento rispetto all'assetto idro-geo-morfologico dell'area di interesse.

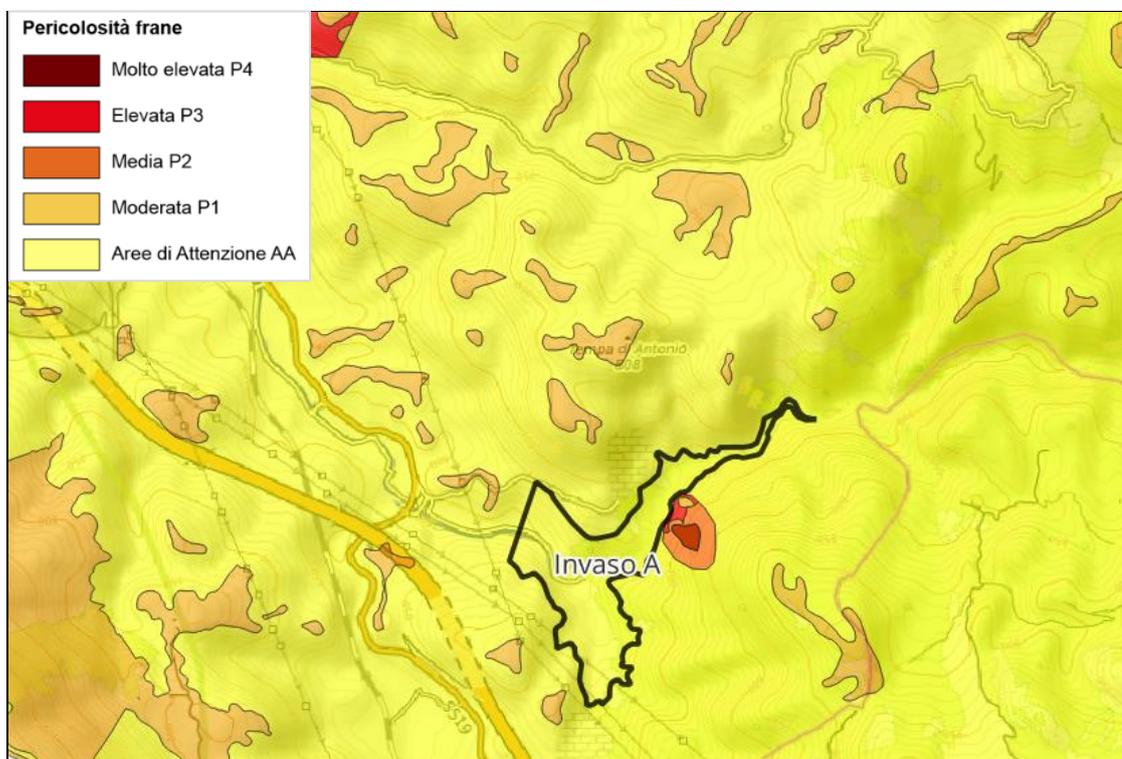


Figura 20: Stralcio della mappa di pericolosità frane (fonte [IDROGEO](#)) – Diga A – A1* - A2*.

Si segnala, invece, che a ridosso dell'area di invaso della Diga A, in sinistra idrografica del f. Calore, è presente un'area classificata a pericolosità da Molto Elevata (P4) a Media (P2); dall'analisi dei dati riportati nella Carta Inventario delle Frane redatta dall'ex Autorità di Bacino Regionale Campania Sud ed Interregionale Sele (bacino interregionale del fiume Sele comprendente i bacini idrografici Minori, Sele, Tanagro e Calore) l'area risulta indicata come "soggetta a crolli/ribaltamenti diffusi" dove la lettera "a" sta per attivo/riattivato/sospeso (Figura 21).

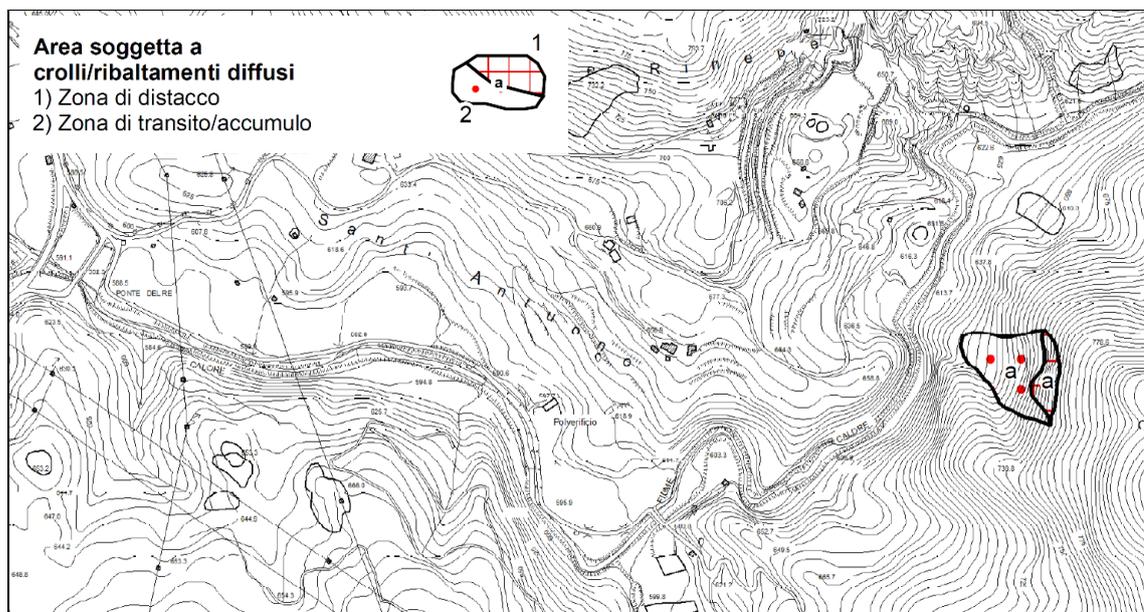


Figura 21: Stralcio della Carta Inventario delle Frane redatta dall'ex Autorità di Bacino Regionale Campania Sud ed Interregionale Sele – Diga A.

Sempre dalla consultazione del portale IDROGEO, si evince che l'area ove si prevede di realizzare la Diga D (T. Porcile) è classificata, in sponda destra, a pericolosità media e moderata (Figura 22).

L'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (IFFI) segnala, infatti, la presenza lungo il versante destro del t. Porcile di 2 fenomeni di scivolamento e 1 colamento lento (Figura 23).

Tali fenomeni potrebbero essere causati dal progressivo decadimento delle proprietà meccaniche dei terreni, di prevalente composizione pelitico-arenitica (*flysch*), per fenomeni di alterazione e/o rammollimento degli stessi connessi alle acque di pioggia che li imbibiscono.

Si evidenzia, inoltre, che in prossimità dell'area ove si prevede di realizzare la Diga D – lungo il versante destro del t. Porcile sono stati individuati solchi di ruscellamento, mentre sul versante in sinistra il sentiero presenta delle piccole fratture (Figura 24).

Dalle prime analisi condotte, si evidenzia che si tratta di fenomeni di modesta entità fermo restando che, considerata la natura dei terreni, sarà necessario in fase di progettazione ed esecuzione delle opere mettere in atto azioni atte a prevenire l'innescio di eventuali fenomeni franosi che potrebbero compromettere la capacità di invaso dell'opere.

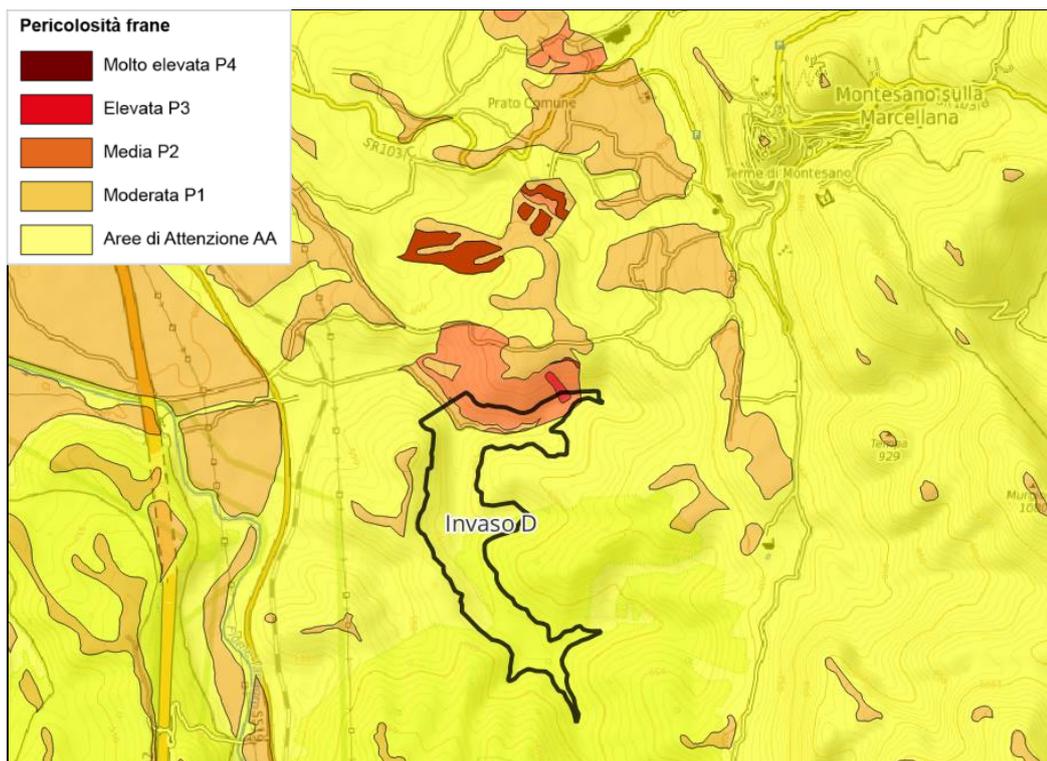


Figura 22: Stralcio della mappa di pericolosità frane (fonte [IDROGEO](#) pericolosità) – Diga D.

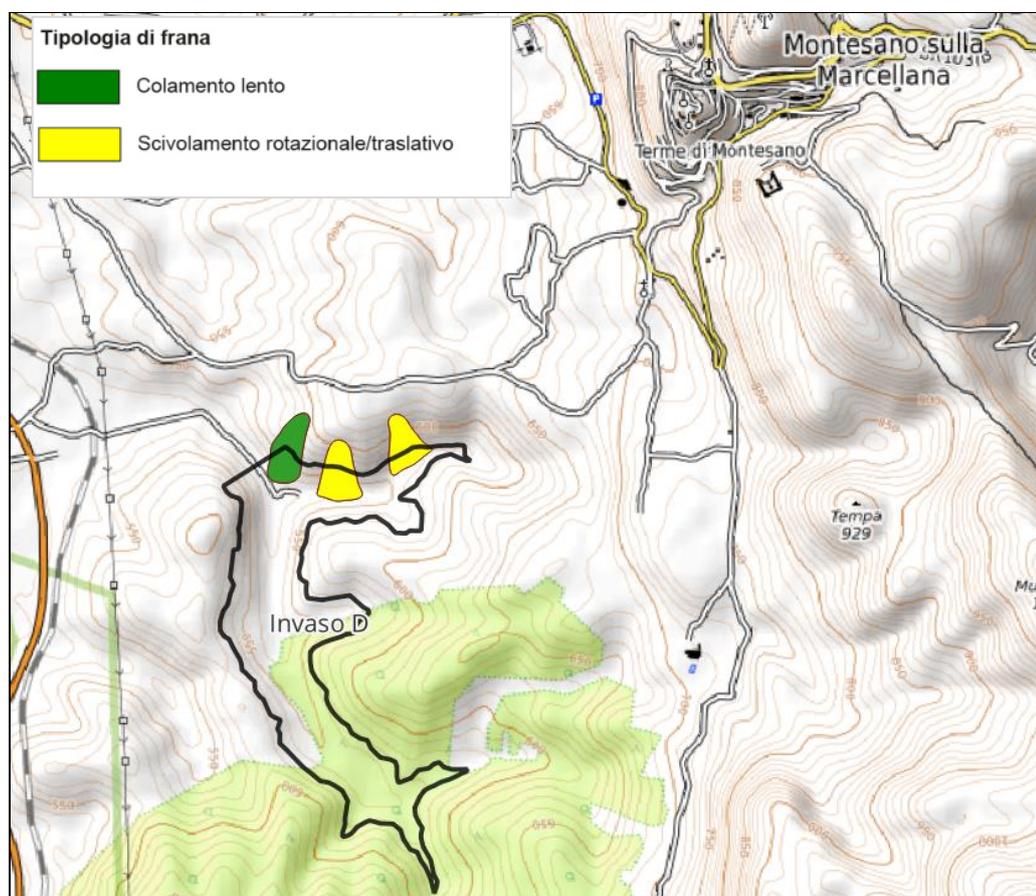


Figura 23: Stralcio della mappa dell'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia ([IFFI](#)) – Diga D.



Figura 24: Solco di ruscellamento lungo il versante destro del t. Porcile (foto a sx). Frattura del sentiero che passa sul versante sinistro del t. Porcile (foto a dx).

5. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

5.1 Infiltrazione e circolazione idrica sotterranea

L'assetto geologico descritto al Capitolo 3 risulta essere alquanto complesso e ad oggi non completamente chiarito; tale assetto determina una struttura idrogeologica altrettanto complicata e una circolazione idrica sotterranea di non semplice interpretazione.

In generale, all'interno dei massicci carbonatici l'infiltrazione delle acque di pioggia è facilitata dall'elevata permeabilità per fratturazione e carsismo delle rocce mentre i fattori che condizionano il movimento della falda di base sono rappresentati dalle discontinuità strutturali quali faglie dirette, faglie inverse, sovrascorrimenti e, in misura minore, dai contatti stratigrafici tra i diversi litotipi (Celico, 1983).

Le faglie dirette molto spesso rappresentano delle linee di drenaggio preferenziale della falda; tuttavia, la presenza di ampie fasce cataclastiche o milonitiche produce una inversione della circolazione in quanto si viene a creare una fascia a permeabilità relativa ridotta che, in un acquifero permeabile, produce un effetto di sbarramento. La medesima situazione si verifica anche in presenza di faglie inverse e di sovrascorrimenti, dove all'intensa fratturazione della roccia si accompagna spesso l'interposizione, tra le diverse falde di scorrimento, di materiale terrigeno strappato al substrato.

Sempre nell'ambito dei massicci carbonatici gli strati impermeabili intercalati, tipici delle facies di transizione, assumono, a grande scala, un'importanza idrogeologica limitata; essi, infatti, si presentano quasi sempre tettonicamente dislocati a varie altezze e presentano un livello di discontinuità da riuscire a sostenere a quote elevate quantità d'acqua generalmente trascurabili rispetto alla potenzialità dell'intero acquifero.

All'interno dei depositi argilloso-marnoso-arenacei (flysch) la circolazione idrica sotterranea è, invece, condizionata dalla litologia e dallo stato di alterazione della coltre superficiale dove normalmente defluisce la falda, mentre l'infiltrazione efficace è generalmente limitata, in particolare se paragonata ai quantitativi d'acqua di ruscellamento superficiale.

Concludendo, si può affermare che, nei depositi terrigeni poco permeabili, la circolazione idrica sotterranea risulta condizionata dalla litologia e dai contatti stratigrafici esistenti, mentre nei massicci carbonatici i fattori di maggiore condizionamento sono funzione della tettonica e in misura minore delle variazioni litologiche. Queste ultime assumono una certa importanza solo quando si verifica la sovrapposizione di complessi aventi permeabilità relativa molto diversa.

5.2 Complessi idrogeologici

Sulla base delle caratteristiche geologiche e facendo riferimento allo schema idrogeologico proposto da Celico (1983) l'area oggetto di intervento è dominata da due tipi di complessi idrogeologici che sono (Figura 25):

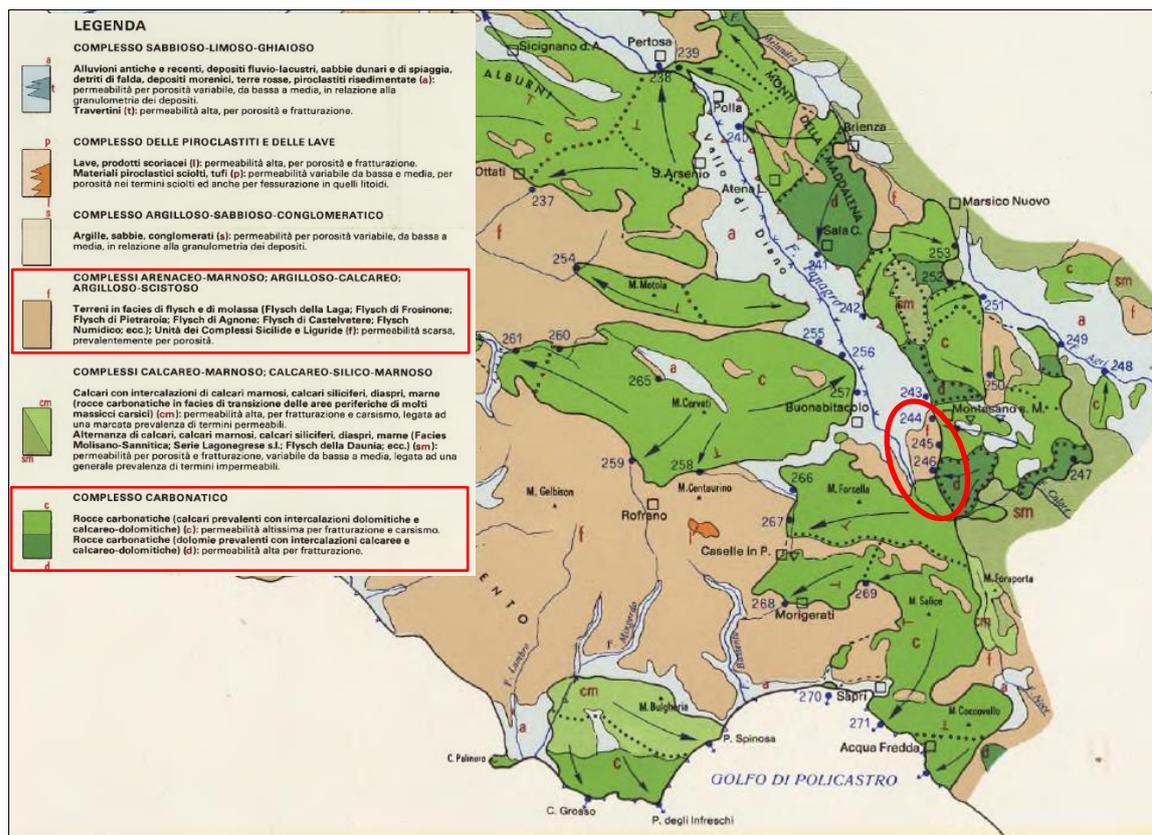


Figura 25: Stralcio della Carta Idrogeologica dell'Italia centro-meridionale (Celico, 1983). Il cerchio rosso indica l'area di intervento.

Complesso carbonatico: costituito quasi esclusivamente da sedimenti in facies di piattaforma. Tale complesso può essere suddiviso in una parte basale prevalentemente dolomitica (d, in Figura 25) e in una, stratigraficamente sovrapposta, nella quale i termini calcarei risultano prevalenti (c, in Figura 25).

Le dolomie, permeabili per fratturazione, si rinvencono raramente carsificate e quasi sempre tettonizzate; pertanto, esse talora fungono da “impermeabile relativo” (Celico, 1983) alle sovrastanti serie calcaree, pur essendo loro stesse sede di buoni acquiferi quando affiorano estesamente.

I calcari, permeabili per fratturazione e carsismo, sono invece sede dei più importanti e produttivi acquiferi della catena appenninica meridionale. È noto, infatti, che le rocce carbonatiche presentano una maglia piuttosto fitta di discontinuità in parte legate alla presenza di giunti di stratificazione, in parte all'effetto dei fenomeni di rottura della massa rocciosa sotto l'effetto degli sforzi tettonici (diaciasi, faglie, zone cataclase). Le fratture generate da tali fenomeni sono soggette nel tempo ad allargarsi per effetto dell'azione solvente delle acque piovane, così da dare origine a fenomeni di tipo carsico la cui entità dipende dall'assetto tettonico e dalla quota del livello del drenaggio.

Il complesso carbonatico è, quindi, sede di un acquifero:

- la cui permeabilità è fortemente influenzata dall'assetto degli ammassi rocciosi sia in termini di fratturazione che di carsismo: in particolare, in un contesto di normale stato di fratturazione la

conducibilità idraulica risulta medio-bassa, mentre in corrispondenza di zone fratturate la conducibilità aumenta notevolmente fino a diventare elevata a seguito dello sviluppo di condotti carsici;

- la cui circolazione idrica sotterranea è influenzata dal grado di fagliazione che, talora, determina un elevato livello di compartimentazione dell'acquifero stesso (Figura 26).

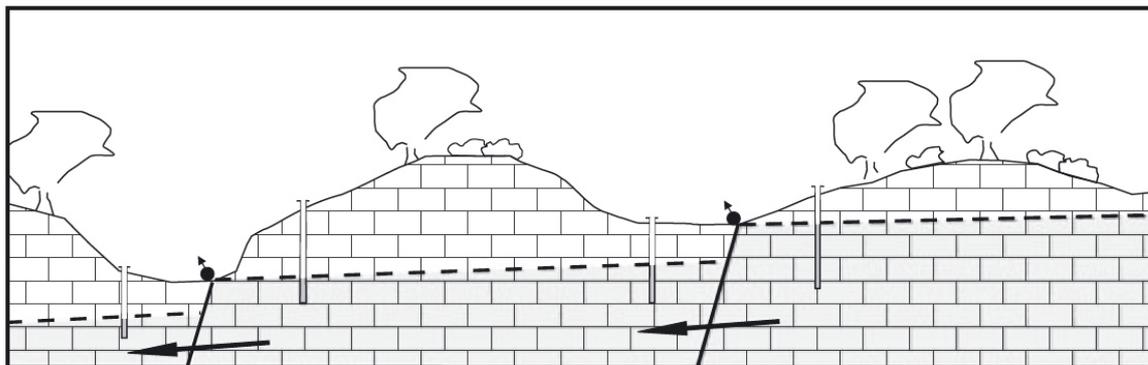


Figura 26: Rappresentazione schematica di un sistema acquifero a bacini in serie; le frecce rappresentano il deflusso delle acque sotterranee nelle zone di faglia. (Celico et al., 2006).

Entrando nell'ambito delle aree oggetto di intervento, le Dighe A, A1* e A2* ricadono nell'ambito del complesso carbonatico dove la permeabilità dell'ammasso roccioso, essendo condizionata dai fenomeni appena sopra descritti (fratturazione e carsismo), risulta eterogenea e poco prevedibile a scala locale se non attraverso un numero sufficiente di prove di permeabilità che consentano di caratterizzare, con maggior dettaglio, l'area oggetto di intervento.

In via preliminare, sulla base dei dati raccolti nel corso della campagna indagini realizzata (si veda il paragrafo 6.2), i risultati delle prove di permeabilità di tipo Lefranc realizzate nei due sondaggi – (SA1 e SA2) hanno fornito valori di K dell'ordine di 10^{-5} e 10^{-6} m/s, valori che corrispondono ad una classe di permeabilità media.

Complesso arenaceo-marnoso, argilloso-calcareo e argilloso-scistoso: in questo complesso idrogeologico Celico (1983) raggruppa le associazioni litologiche costituite essenzialmente da arenarie, argille e marne (*flysch*). Tali litotipi, caratterizzati da un grado di permeabilità complessivamente basso, sono sede di acquiferi poco produttivi aventi solo interesse locale. Il loro ruolo fondamentale è, comunque, rappresentato dal tamponamento sulla falda di base dei massicci carbonatici.

Nel Complesso arenaceo-marnoso, argilloso-calcareo e argilloso-scistoso si colloca l'alternativa D - Invaso T. Porcile, in esame nel presente studio.

In via preliminare, sulla base dei dati raccolti nel corso della campagna indagini realizzata (si veda il paragrafo 6.2), i risultati delle prove di permeabilità di tipo Lefranc realizzate nel sondaggio SD1 ha fornito valori di K dell'ordine di 10^{-6} e 10^{-7} m/s, valori che corrispondono ad una classe di permeabilità medio-bassa.

La sintesi delle caratteristiche idrogeologiche delle aree di intervento è riportata nell'Elaborato 2022.0305.002-GEO-D02_0 "Carta Idrogeologica".

5.3 Unità idrogeologiche

Fatte salve le considerazioni di carattere generale, l'area interessata dalla **Diga A, A1* e A2***, secondo il modello idrogeologico regionale proposto da Celico (1978, 1983) ricade nelle seguenti unità idrogeologiche:

Monte Forcella

Questa struttura idrogeologica carbonatica fa parte della più ampia unità denominata Monte Forcella - Monte Salice – Monte Coccovello (Figura 25) la quale è delimitata a nord dalla depressione di Sanza, a sud dai terreni della Formazione del Bifurto, a est da Flysch del Cilento e dalla complessa direttrice tettonica coincidente con la valle del Noce e dell'alto Tanagro e ad ovest dal Gruppo del Cilento.

La struttura di M. Forcella (Figura 27) separata da faglie orientate Est-Ovest dalla struttura più meridionale del M. Salice-M. Coccovello, ha come recapito preferenziale della circolazione idrica basale le gole del F. Bussento, quindi esterne all'area oggetto di intervento, nelle sorgenti: Irca la Torta (0.25 m³/s); Farnitani (0.11 m³/s); Fistole di San Donato (1.28 m³/s).

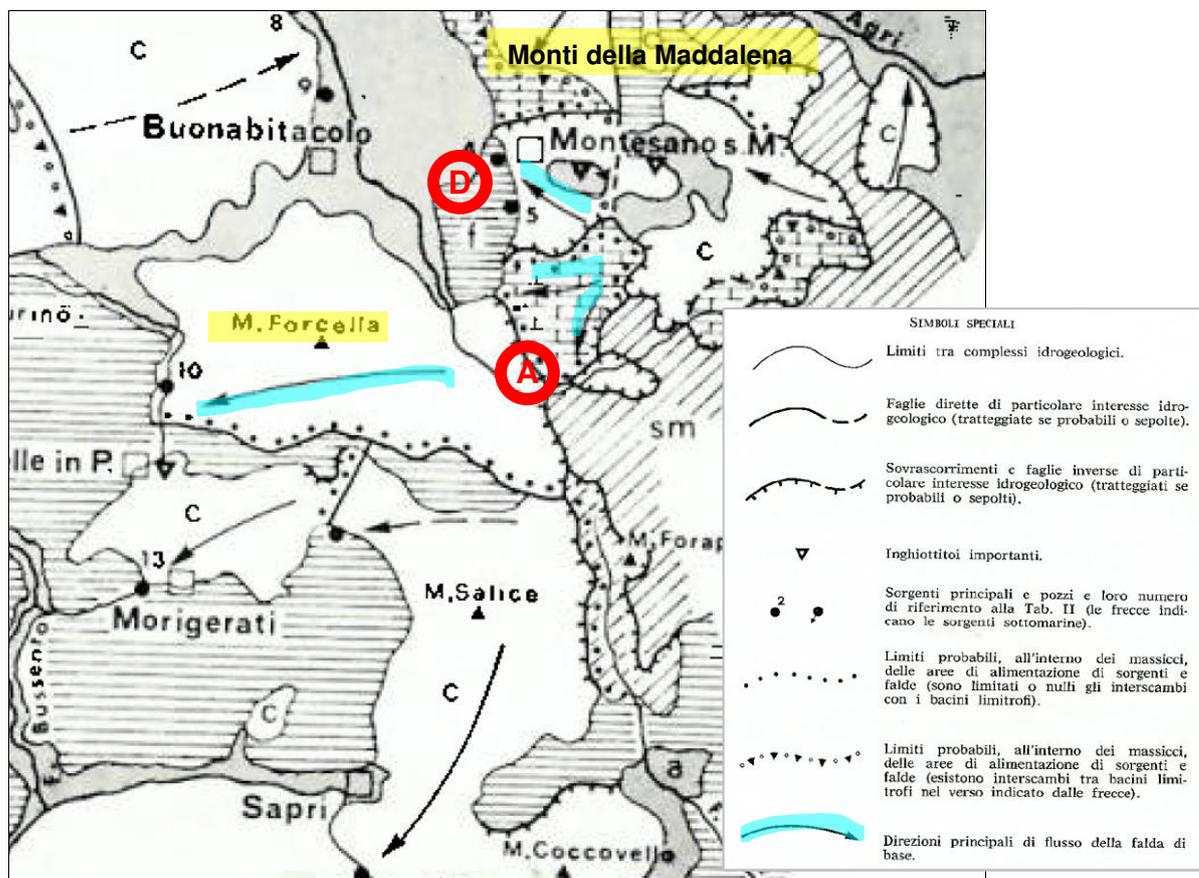


Figura 27: Dettaglio dello Schema idrogeologico del Vallo di Diano (da Celico, 1979). I cerchi rossi individuano le aree oggetto di studio: Diga A, A1* e A2* - Casalbuono; Diga D – Invaso sul t. Porcile.

I deflussi delle suddette sorgenti, oltre ad altre emergenze sorgive minori, sono intercettati a valle dall'invaso ENEL in località Sabetta.

Monti della Maddalena

L'unità idrogeologica dei Monti della Maddalena è costituita da un massiccio carbonatico allungato in direzione appenninica e delimitata dal Vallo di Diano ad Ovest e dalle valli del Melandro e dell'Agri ad Est, impostatesi su importanti discontinuità tettoniche (Figura 25). La complessità strutturale e le differenze di permeabilità relativa, tra i termini calcarei e quelli dolomitici, inducono un notevole frazionamento della circolazione idrica sotterranea con recapito ripartito verso il vallo di Diano e verso la Val d'Agri (Nicotera et al, 1969, Celico et al., 1979).

Nella porzione nord-occidentale, fino all'altezza di Sala Consilina e quindi al di fuori dell'area di progetto, le sorgenti importanti recapitano esclusivamente lungo il Vallo di Diano in quanto la soglia di permeabilità presenta la sua quota più elevata nella retrostante Valle del Melandro, dove, comunque, trovano recapiti sorgenti di minore entità.

A sud di Sala Consilina l'unità è caratterizzata dalla presenza di due principali direzioni di flusso della falda di base: una verso le sorgenti ubicate nel Vallo di Diano ed una verso le sorgenti situate in alta Val d'Agri. Tutto ciò si verifica per la presenza a quote più elevate della "unità lagonegresi", meno permeabili, che fungono da spartiacque sotterranei consentendo alla falda di defluire sia verso il Vallo di Diano sia verso la Val d'Agri. Tra le sorgenti di quest'area che recapitano verso il Vallo di Diano, nella porzione ove i calcari e le dolomie sono a contatto con i materiali flyschoidi (Figura 27), vi sono (Celico, 1979):

- Gruppo Eliceto- Cantari (n. 244 in Figura 25; $Q_{med} = 0.5 \text{ m}^3/\text{s}$);
- Gruppo Cadosso (n. 245 in Figura 25; $Q_{med} = 0.007 \text{ m}^3/\text{s}$);
- Gruppo Mangarrone (n. 246 in Figura 25; $Q_{max} = 0.18 \text{ m}^3/\text{s}$);

Le sorgenti sono captate parzialmente e sono utilizzate a scopi irrigui.

Per quel che riguarda la **diga D** - Invaso sul Torrente Porcile, esso ricade all'interno dei Flysch di Albidona, compreso all'interno del complesso idrogeologico arenaceo-marnoso-argilloso che, considerata la scarsa permeabilità, non è sede di acquiferi rilevanti. È importante evidenziare che la valle del torrente Porcile è interessata dalla presenza di sorgenti dell'Unità dei Monti della Maddalena, di cui il flysch di Albidona costituisce il mezzo di tamponamento che determina la venuta a giorno delle acque sotterranee di tale unità (Figura 27).

6. INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE

Nell'ambito della redazione del presente DOCFAP, al fine di caratterizzare in via preliminare i terreni presenti nelle aree oggetto di intervento, sono state realizzate le indagini elencate in Tabella 1.

Tabella 1: Indagini geognostiche eseguite.

Cod.	Tipologia	Profondità [m]	Prove SPT [n°]	Prove Lefranc [n°]	Piezometro	Campioni	
						Indisturbat	Rimanegg.
SA1	Sondaggio c.c.	50	2	4	-	-	12
SA2	Sondaggio c.c.	30	4	2	X	2	10
SD1	Sondaggio c.c.	30	3	4	-	-	12

Sono, inoltre, state eseguite n.2 indagini di sismica a rifrazione, denominate RIFRA_01 (Area t. Porcile) e RIFRA_02 (Area Casalbuono) della lunghezza, rispettivamente, di 235 m e 210 m.

L'ubicazione delle indagini è riportata in Figura 28 e Figura 29.



Figura 28: Ubicazione indagini geognostiche e geofisiche - Area Casalbuono Alternative A, A1 e A2.

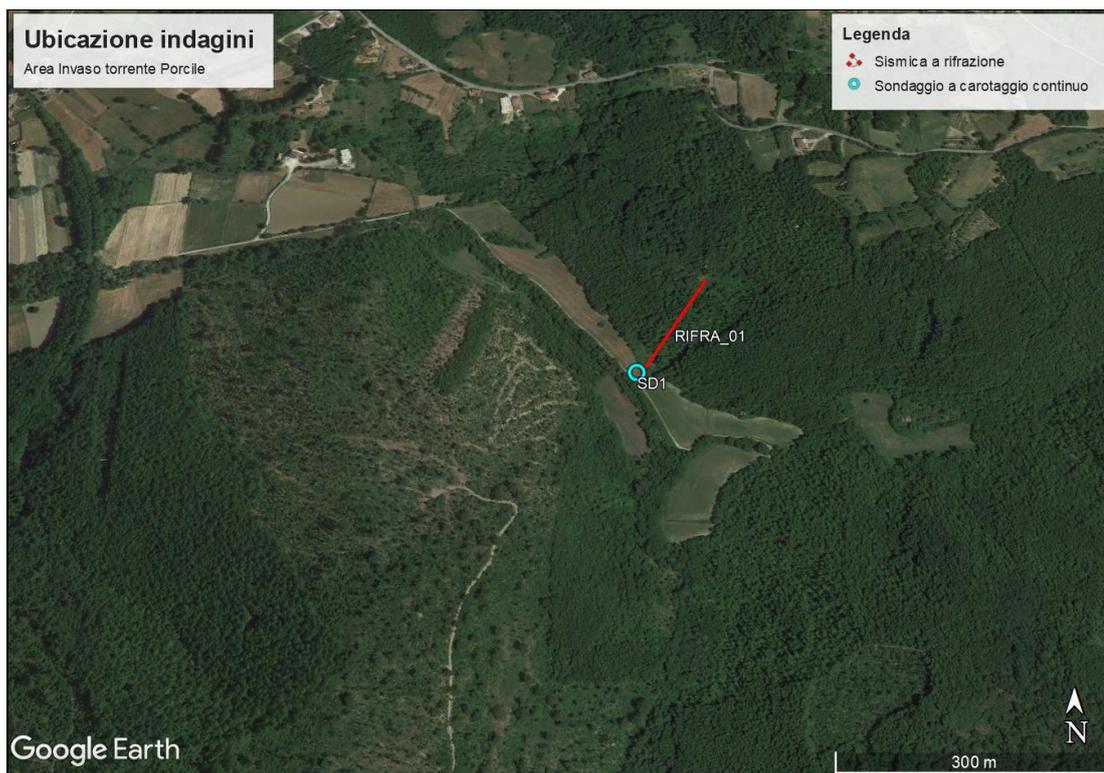


Figura 29: Ubicazione indagini geognostiche e geofisiche - Area torrente Porcile Alternativa D.

Le procedure esecutive, i risultati ottenuti e i relativi certificati sono riportati in dettaglio nell'Elaborato 2022.0305.002 "Relazione sui risultati delle indagini".

6.1 Prove penetrometriche standard (SPT)

Le indagini in sito sono state condotte attraverso prove penetrometriche dinamiche Standard Penetration Test (SPT). La prova SPT consiste nella misura del numero di colpi necessari per l'infissione di un campionatore sotto i colpi di un maglio della massa di 63.5 kg. La resistenza alla penetrazione è caratterizzata dalla somma del numero di colpi necessari all'avanzamento del secondo e terzo tratto, ognuno da 150 mm:

$$N_{SPT} = N_2 + N_3$$

Nelle aree oggetto di intervento sono state eseguite complessivamente n. 9 prove con punta aperta; i risultati sono riportati in Tabella 2.

Tabella 2: Risultati delle Prove Penetrometriche Standard (SPT).

Cod.	Profondità prova		N _{SPT}
	da [m]	a [m]	
SA1	5,50	5,95	1
	9,00	9,00	Rif.
SA2	3,00	3,45	25

Cod.	Profondità prova		N _{SPT}
	da [m]	a [m]	
	12,55	13,00	26
	21,00	21,45	18
	27,00	27,45	18
SD1	3,00	3,45	53
	6,50	6,85	Rif.
	15,00	15,25	Rif.

6.2 Prove di permeabilità in foro

Sono state eseguite n. 10 prove di permeabilità di tipo Lefranc a carico variabile con l'obiettivo di determinare il coefficiente di permeabilità k del tratto di prova. Le profondità di prova e i risultati ottenuti sono sintetizzati in Tabella 3.

Tabella 3: Risultati delle Prove di permeabilità tipo Lefranc.

Cod.	Profondità prova		Coeff. di permeabilità k [m/s]
	da [m]	a [m]	
SA1	7,00	7,50	2,6E-05
	15,50	16,00	2,0E-05
	27,00	27,50	7,4E-06
	38,50	39,00	2,7E-06
SA2	12,50	13,00	9,7E-06
	21,00	21,50	3,6E-06
SD1	5,00	5,50	9,3E-06
	11,50	12,00	2,3E-06
	25,00	25,50	5,9E-07
	35,00	35,50	6,6E-07

6.3 Allestimento in foro

Il sondaggio SA2 (Area Casalbuono) è stato attrezzato con un piezometro a tubo aperto.

La tubazione installata è costituita da tubi ciechi e filtranti in PVC del diametro di 2" con estremità filettate e del diametro 3"; il tratto filtrante ha finestre trasversali di ampiezza 0,4-1,0 mm e spaziatura di 9 mm. In Tabella 4 si riportano i dati descrittivi del piezometro installato.

Tabella 4: Scheda sintetica del piezometro installato e livello di falda misurato a piezometro installato.

Cod.	Profondità di perforazione [m]	Profondità di installazione [m]	Prove falda [m da p.c.]
SA2	30	30	9

6.4 Prove di laboratorio

In ambito ai 3 sondaggi realizzati sono stati complessivamente effettuati n. 36 campionamenti, 34 campioni rimaneggiati e 2 campioni indisturbati.

Tabella 5: Campioni prelevati durante l'esecuzione dei sondaggi geognostici.

Sondaggio	Profondità prova		Campione
	da [m]	a [m]	
SA1	6,00	6,40	C.R.1
	8,00	8,40	C.R.2
	11,00	11,40	C.R.3
	14,60	15,00	C.R.4
	16,20	16,60	C.R.5
	19,40	19,80	C.R.6
	20,50	20,90	C.R.7
	22,00	22,40	C.R.8
	27,40	27,80	C.R.9
	31,00	31,50	C.R.10
	34,00	34,40	C.R.11
	36,10	36,50	C.R.12
SA2	3,50	3,80	C.R.1
	4,00	4,40	C.R.2
	5,00	5,40	C.R.3
	9,00	9,40	C.R.4
	11,60	12,00	C.R.5
	15,60	16,00	C.R.6
	18,50	18,90	C.R.7
	22,30	22,70	C.R.8
	24,10	24,50	C.R.9
	25,00	25,40	C.R.10
	7,50	8,00	C.I.1
	19,00	19,50	C.I.2
SD1	8,40	8,60	C.R.1
	9,60	9,60	C.R.2
	10,50	10,8	C.R.3
	12,60	13,00	C.R.4
	15,50	15,90	C.R.5
	16,00	16,50	C.R.6
	21,30	21,50	C.R.7
	22,00	22,30	C.R.8
	25,40	25,70	C.R.9

Sondaggio	Profondità prova		Campione
	da [m]	a [m]	
	28,10	28,40	C.R.10
	31,30	31,60	C.R.11
	35,10	35,50	C.R.12

I campioni prelevati sono stati sottoposti alle seguenti prove di laboratorio:

- caratterizzazione fisica;
- analisi granulometrica;
- limiti di Atterberg;
- prova triassiale consolidata non drenata CIU, sui due campioni indisturbati prelevati dal sondaggio SA2.

Le prove realizzate su ciascun campione e i risultati ottenuti sono riportati in Tabella 6, Tabella 7 e Tabella 8.

Tabella 6: Risultati delle prove di laboratorio sui campioni prelevati dal Sondaggio SA1 (Casalbuono).

Committente: RTP Lombardi-Technital																						
Cantiere: Indagini geognostiche Diga Casalbuono																						
"Prove di laboratorio su campioni rimaneggiati e indisturbati"																						
Sigla campione	Sigla di laboratorio	Profondità di prelievo (m)		Peso di volume naturale ρ_n (KN/m ³)	Peso volume del secco ρ_d (KN/m ³)	Contenuto d'acqua W (%)	Peso specifico dei granuli G_s (-)	Porosità n (%)	Indice dei vuoti e (-)	Grado di saturazione G_r (%)	Distribuzione granulometrica (%)					Limiti di Atterberg (%)			Prova triassiale consolidata non drenata CIU			
		da	a								Argilla	Limo	Sabbia	Ghiaia	Ciottoli	WL	WP	WP	IC	IL	Angolo di attrito di picco (°)	Coesione di picco (kPa)
S_A1_CR1	T.1517/23	6.00	6.40								10.00	10.50	35.00	44.50	0.00	n.d.	n.d.	n.d.				
S_A1_CR2	T.1518/23	8.00	8.40								9.00	7.00	19.50	64.50	0.00	n.d.	n.d.	n.d.				
S_A1_CR3	T.1519/23	11.00	11.40								10.00	11.00	40.50	38.50	0.00	n.d.	n.d.	n.d.				
S_A1_CR4	T.1520/23	14.60	15.00								4.00	6.50	38.00	48.50	3.00	n.d.	n.d.	n.d.				
S_A1_CR5	T.1521/23	16.20	16.60								10.00	7.50	33.00	49.50	0.00	n.d.	n.d.	n.d.				
S_A1_CR6	T.1522/23	19.40	19.80								6.00	38.08	46.42	9.50	-	-	-					
S_A1_CR7	T.1523/23	20.50	20.90								6.00	22.18	71.82	0.00	-	-	-					
S_A1_CR8	T.1524/23	22.00	22.40								4.50	12.40	78.60	4.50	-	-	-					
S_A1_CR9	T.1525/23	27.40	27.80								10.00	7.50	31.50	51.00	0.00	n.d.	n.d.	n.d.				
S_A1_CR10	T.1526/23	31.00	31.50								7.00	22.65	70.35	0.00	-	-	-					
S_A1_CR11	T.1527/23	34.00	34.30								7.50	6.00	26.50	60.00	0.00	n.d.	n.d.	n.d.				
S_A1_CR12	T.1528/23	36.10	36.50								8.00	44.88	47.12	0.00	-	-	-					

Tabella 7: Risultati delle prove di laboratorio sui campioni prelevati dal Sondaggio SA2 (Casalbuono).

Committente: RTP Lombardi-Technital																										
Cantiere: Indagini geonostiche Diga Casalbuono																										
"Prove di laboratorio su campioni rimaneggiati e indisturbati"																										
Sigla campione	Sigla di laboratorio	Profondità di prelievo (m)		Peso di volume naturale-p _n (KN/m ³)	Peso volume del secco-p _d (KN/m ³)	Contenuto d'acqua W (%)	Peso specifico dei granuli G _s (-)	Porosità n (%)	Indice dei vuoti e (-)	Grado di saturazione G (%)	Distribuzione granulometrica (%)					Limiti di Atterraggi (%)			Prova triassiale consolidata non drenata CIU							
		da	a								Argilla	Limo	Sabbia	Ghiaia	Ciottoli	WL	WP	WP	IC	IL	Angolo di attrito di picco (°)	Coesione di picco (kPa)				
S_A2_CR1	T.1529/23	3.00	3.80	19.32	15.53	24.44					56.00	36.00	7.50	0.50	0.00	62.60	36.62	25.98								
S_A2_CR2	T.1530/23	4.00	4.40	18.67	15.42	21.06					36.00	32.00	26.50	5.50	0.00	53.75	32.34	21.41								
S_A2_CR3	T.1531/23	5.00	5.40								12.00	12.50	39.00	36.50	0.00	n.d.	n.d.	n.d.								
S_A2_CI1	T.1500/23	7.50	8.00	19.82	16.11	23.04	2.66	39.48	0.65	93.94	63.50	29.50	7.00	0.00	0.00	63.00	32.95	30.05	1.33	-0.33	21.80	40.14				
S_A2_CR4	T.1532/23	9.00	9.40								7.00	16.50	37.00	39.50	0.00	n.d.	n.d.	n.d.								
S_A2_CR5	T.1533/23	11.60	12.00	19.14	15.96	19.91					50.00	42.00	8.00	0.00	0.00	53.80	39.51	14.29								
S_A2_CR6	T.1534/23	15.60	16.00								14.00	17.50	38.00	30.50	0.00	n.d.	n.d.	n.d.								
S_A2_CR7	T.1535/23	18.50	18.90	19.43	15.86	22.51					54.50	35.50	8.50	1.50	0.00	56.80	34.60	22.20								
S_A2_CI2	T.1501/23	19.00	19.50	20.04	16.47	21.64	2.59	36.36	0.57	98.01	49.00	40.00	10.00	1.00	0.00	53.90	30.58	23.32	1.38	-0.38	23.08	38.83				
S_A2_CR8	T.1536/23	22.30	22.70								8.00	14.50	47.50	30.00	0.00	n.d.	n.d.	n.d.								
S_A2_CR9	T.1537/23	24.10	24.50	20.47	17.48	17.13					38.00	36.00	24.00	2.00	0.00	47.00	27.44	19.56								
S_A2_CR10	T.1538/23	25.00	25.40	20.17	17.09	18.04					47.50	35.50	16.00	1.00	0.00	56.60	37.21	19.39								

Tabella 8: Risultati delle prove di laboratorio sui campioni prelevati dal Sondaggio SD1 (t. Porcile).

Committente: RTP Lombardi-Technital																											
Cantiere: Indagini geonostiche Diga Casalbuono																											
"Prove di laboratorio su campioni rimaneggiati e indisturbati"																											
Sigla campione	Sigla di laboratorio	Profondità di prelievo (m)		Peso di volume naturale-p _n (KN/m ³)	Peso volume del secco-p _d (KN/m ³)	Contenuto d'acqua W (%)	Peso specifico dei granuli G _s (-)	Porosità n (%)	Indice dei vuoti e (-)	Grado di saturazione G (%)	Distribuzione granulometrica (%)					Limiti di Atterraggi (%)			Prova triassiale consolidata non drenata CIU								
		da	a								Argilla	Limo	Sabbia	Ghiaia	Ciottoli	WL	WP	WP	IC	IL	Angolo di attrito di picco (°)	Coesione di picco (kPa)					
S_D1_CR1	T.1502/23	8.40	8.60								24.50	33.50	14.00	28.00	0.00	43.00	27.21	15.79									
S_D1_CR2	T.1503/23	9.60	9.80								29.50	41.50	10.50	18.50	0.00	39.60	23.53	16.07									
S_D1_CR3	T.1504/23	10.50	10.90								24.00	49.00	17.00	10.00	0.00	40.00	24.91	15.09									
S_D1_CR4	T.1505/23	12.60	13.00								13.00	16.00	21.50	49.50	0.00	32.80	21.78	11.02									
S_D1_CR5	T.1506/23	15.50	15.90								8.00	19.50	23.00	49.50	0.00	n.d.	n.d.	n.d.									
S_D1_CR6	T.1507/23	16.00	16.50								25.00	17.50	49.00	8.50	0.00	36.25	22.52	13.73									
S_D1_CR7	T.1508/23	21.30	21.50								18.00	36.50	21.00	24.50	0.00	34.25	25.44	8.81									
S_D1_CR8	T.1509/23	22.00	22.30								20.50	49.50	21.50	8.50	0.00	30.90	22.71	8.19									
S_D1_CR9	T.1510/23	25.40	25.70								16.50	20.00	19.50	44.00	0.00	30.00	21.17	8.83									
S_D1_CR10	T.1511/23	28.10	28.40								10.00	26.00	30.50	33.50	0.00	n.d.	n.d.	n.d.									
S_D1_CR11	T.1512/23	31.30	31.60								6.50	12.50	12.50	62.00	6.50	n.d.	n.d.	n.d.									
S_D1_CR12	T.1513/23	35.10	35.50								18.00	40.00	21.50	20.50	0.00	n.d.	n.d.	n.d.									

6.5 Indagini geofisiche

Le prospezioni sismiche RIFRA_01 (Diga D) e RIFRA_02 (Diga A, A1* e A2*) sono state eseguite posizionando al suolo n.2 basi sismiche, aventi un numero di canali pari a 42 e 48, con lunghezza complessiva compresa tra 210 e 235 metri (per la loro ubicazione di veda Figura 28 e Figura 29).

I dati sono stati acquisiti energizzando in corrispondenza dei siti esterni, in prossimità degli estremi, in funzione della logistica, ed un numero di tiri interni pari a sei.

I tempi di arrivo delle onde P e delle onde S sono stati utilizzati quale input (assieme alla geometria dei tiri di energizzazione e dei geofoni) nel software di elaborazione tomografica per ottenere le relative pseudosezioni sismiche. Tali sezioni, riportate nell'Elaborato 2022.0305.002.IDG.R02.0 "Relazione sui risultati delle indagini", sono state definite esprimendo i dati di velocità delle onde P e S mediante isolinee e campitura a falsi colori.

La pseudosezione elaborata per il profilo sismico **RIFRA_01 (Diga D)** ha permesso di evidenziare due sismostrati. *Il primo sismostrato, con spessore di circa 10 m dal piano campagna, presenta una velocità compresa tra 600 e 1.850 m/s per le onde P e 300 e 700 m/s per le onde S, e potrebbe essere ascrivibile ad un'alternanza di arenarie, argille e marne. Il secondo sismostrato si attesta ad una profondità media dal piano campagna compresa tra 10 e 40 m circa, e presenta velocità comprese tra 1.850 e 3.600 m/s per le onde P e 700 e 1400 m/s per le onde S, ed è ascrivibile ad un'alternanza di arenarie, argille e marne con prevalenza di marne.*

La pseudosezione elaborata per il profilo sismico **RIFRA_02 (Diga A, A1* e A2*)** ha permesso di evidenziare due sismostrati. *Il primo sismostrato, con spessore variabile di circa 10÷30 m dal piano campagna, presenta una velocità compresa tra 600 e 2.150 m/s per le onde P e 300 e 750 m/s per le onde S e potrebbe essere ascrivibile a depositi alluvionali-colluviali. Il secondo sismostrato si attesta ad una profondità media dal piano campagna compresa tra 10 e 30 m, e presenta velocità comprese tra 2.150 e 4100 m/s per le onde P e 750 e 1700 m/s per le onde S e potrebbe essere ascrivibile a calcari con un grado di fratturazione variabile.*

In particolare, la pseudosezione RIFRA_02 sembrerebbe confermare la presenza del livello argillo-limoso intercettato dal sondaggio SA2 lungo il versante destro del f. Calore anche se le velocità risultano piuttosto elevate per poter definire tali depositi di origine alluvionali e/o colluviali.

Infine, si evidenzia che, considerata l'elevata variabilità delle caratteristiche litologiche delle aree oggetto di intervento sarà opportuno eseguire ulteriori indagini sismiche nelle successive fasi al fine di investigare un maggiore volume significativo ai fini della progettazione degli interventi.

7. INQUADRAMENTO SISMICO

Le disposizioni introdotte dalle Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta, emanate con D.M. 26/6/14, pubblicato sulla GU dell'8/7/14, prevedono criteri innovativi in particolare per la verifica della sicurezza sismica delle dighe, specificando che *“per le dighe ubicate in aree per le quali l'azione sismica di progetto per un $TR = 475$ anni deve essere riferita ad un valore $a_g > 0.15 g$ (come definito nelle NTC), è necessario lo studio sismotettonico del sito, da cui fare derivare l'azione sismica di progetto, i cui effetti non devono comunque risultare meno gravosi di quelli corrispondenti all'azione sismica definita nelle NTC, relativamente a sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale”*.

Per quel che riguarda l'inquadramento sismico, l'area di interesse è caratterizzata da una elevata sismicità strettamente connessa al contesto tettonico-strutturale dell'Appennino Meridionale; ciò rende necessario prevedere la realizzazione di uno studio sismotettonico secondo quanto previsto dalla normativa vigente.

In questa fase progettuale è stato redatto lo *“Studio sismotettonico preliminare”* (Elaborato 2022.0305.002-GEO-R02_0) a cui si rimanda per gli approfondimenti del caso.

8. INTERAZIONE OPERE TERRENI

La definizione del modello geologico preliminare delle aree di intervento è stata eseguita sulla base delle analisi bibliografiche, rilievi in campo ed indagini geognostiche e geofisiche di prima fase che hanno permesso di individuare le principali caratteristiche dei terreni coinvolti nelle alternative oggetto della presente fase progettuale.

Come evidenziato al Capitolo 3, la struttura geologica che emerge dalle analisi condotte risulta caratterizzata dalla presenza di unità tettoniche, provenienti da ambienti deposizionali diversi, sovrapposte durante le fasi dell'orogenesi appenninica (*fold and thrust belts*); tali unità tettoniche presentano rapporti geometrici che nelle fasi deformative successive hanno subito profonde rielaborazioni sia in chiave estensionale che di *thrusting* con conseguente configurazione di un settore di catena particolarmente complessa e non sempre facilmente comprensibile.

Di conseguenza, le formazioni geologiche direttamente interessate dagli interventi in studio presentano un elevato grado di disturbo tettonico riconoscibile sia nei pochi affioramenti visibili in superficie – la presenza di una fitta copertura vegetale limita, infatti, notevolmente la visibilità di roccia in posto - sia nei sondaggi di prima fase realizzati.

Pur nella complessità geologico-strutturale dell'area, si è cercato di fornire, per ciascun ambito di intervento, un modello geologico preliminare di riferimento che, sulla base dei dati disponibili, è servito a supportare le modalità decisionali legate alla definizione delle scelte progettuali.

Area Diga A, A1* e A2* (Casalbuono – Ponte del Re)

L'area si prevede la realizzazione della Diga A, A1* e A2* si sviluppa lungo la valle del f. Calore a monte del Ponte del Re; si tratta di una valle le cui sponde, nel tratto di intervento, sono costituite dalla Formazione Calcari a Requenie e Gasteropodi (CRQ) e dalla Formazione Calcari a Radiolitidi (RDT) su cui poggiano i depositi alluvionali di fondovalle (b).

Come già più volte sottolineato, si tratta di un'area particolarmente complessa sotto il **profilo geologico** e gli effetti sui materiali in sito si possono così riassumere:

- intensa tettonizzazione delle aree, per la presenza di sovrascorrimenti ad andamento appenninico e faglie che dislocano le formazioni mettendo in contatto tettonico terreni con caratteristiche litologiche diverse;
- intensa fratturazione come effetto di quanto espresso al punto precedente; le rocce presentano un aspetto frantumato e, spesso cataclasato, tale da obliterare la loro stratificazione primaria;
- presenza di fenomeni carsici: entrambe le formazioni calcaree presenti nell'area oggetto di studio possono sviluppare forme carsiche più o meno sviluppate con sviluppo di cavità talora riempite da materiali sciolti.

L'intensa tettonica che caratterizza l'area trova evidenza nella fratturazione delle rocce affioranti in superficie e confermata dal sondaggio SA1, eseguito sul fondovalle del fiume Calore, a monte del Ponte del Re. Il sondaggio, dopo uno strato presente fino alla profondità di 7.50 m da p.c. di depositi

alluvionali costituiti da livelli di limo argilloso intercalati a livelli di ghiaia eterometrica in matrice limo-sabbiosa, intercetta, fino alla profondità investigata pari a 50 m da p.c. livelli di breccia calcarea cataclasata in matrice limo-argillosa. Tale livello si presenta pressoché continuo, salvo la presenza ad una profondità compresa tra 41 e 47.6 m da p.c. di un calcare di colore grigio scuro, comunque fittamente fratturato e brecciato.

Un elemento di incertezza è, invece, rappresentato da quanto emerge dal sondaggio SA2, ubicato in corrispondenza del contatto tra le due formazioni calcaree RDT e CRQ. Tale sondaggio ha, infatti, evidenziato, per l'intera profondità investigata pari a 30 m da p.c., la presenza di un livello di argilla debolmente limosa a tratti debolmente ghiaiosa - di colore marrone fino a 18,40 m da p.c. e di colore grigio fino a fine sondaggio – ove si intercalano livelli da metrici a decimetrici di limo ghiaioso e di ghiaia. La presenza di questo livello di materiale coesivo sembra essere confermato dal profilo sismico a rifrazione passante in prossimità del sondaggio SA2.

Sull'origine di questo materiale all'interno di un'area caratterizzata dalla presenza prevalente di rocce calcaree si possono fare, in prima analisi, diverse ipotesi: i) si tratta di materiali di origine paleo lacustre e/o fluviale dislocati in posizione più elevata rispetto all'alveo attuale del f. Calore per effetto della tettonica quaternaria; ii) considerata l'intensa fratturazione della zona, potrebbe trattarsi di una zona di discontinuità riempita da materiali sciolti, in questo caso argille e limi con poca sabbia e ghiaia; ii) essendo le formazioni calcaree soggette a fenomeni carsici, potrebbe trattarsi di un'ampia cavità carsica riempita da materiali fini per effetto della circolazione idrica sotterranea.

Pur non avendo al momento certezza sull'origine di questi depositi apparentemente avulsi dal contesto geologico principale, questa prima fase di studi ed indagini ha, in primo luogo, confermato le caratteristiche di elevata fratturazione e di scarsa competenza delle rocce calcaree su cui si prevede di impostare le opere di sbarramento e ha altresì evidenziato la presenza di livelli di materiali coesivi, "inaspettati" per queste aree, che costituiscono un elemento geologico significativo e non trascurabile ai fini delle scelte progettuali da realizzarsi e come tale richiederà successivi approfondimenti.

Infine, per quel che riguarda la presenza della **faglia capace** in una fase successiva della progettazione e con gli opportuni approfondimenti circa l'esatta ubicazione della stessa e la sua effettiva attività e capacità sarà possibile definire, secondo diversi modelli la probabilità di rottura secondaria, la distribuzione degli spostamenti attesi al fine di verificarne la relazione con la struttura sia in termini di posizionamento che di orientazione rispetto alla faglia capace.

Sotto il **profilo geomorfologico**, emerge che l'area ove si prevede di realizzare l'opera di sbarramento di Casalbuono (Diga A, A1* e A2*) non ricade in aree di pericolosità per frana, ma è classificata come Area di Attenzione (AA); questo elemento comporta che dovrà essere realizzato uno studio geologico di dettaglio che attesti la compatibilità dell'intervento rispetto all'assetto idro-geomorfologico dell'area di interesse. Si evidenzia inoltre che il versante in sinistra idrografica del f. Calore è interessato in parte da fenomeni di crollo e/o di ribaltamenti diffusi; ciò costituisce una potenziale criticità qualora fosse presente, al di sotto di questa area, l'invaso di Casalbuono – Diga A.

Le soluzioni A1* e A2*, prevedendo invasi di dimensioni inferiori rispetto alla Diga A, non intercettano le zone segnalate in frana; di conseguenza si può ipotizzare un impatto meno significativo sui versanti interessati dalla presenza dell'invaso stesso.

Sotto il **profilo idrogeologico**, i materiali sciolti presenti lungo il fondovalle del f. Calore sono permeabili per porosità. I materiali lapidei hanno permeabilità variabile. I Calcari che costituiscono il fondo dell'invaso ed il sedime degli sbarramenti, hanno una permeabilità alta essenzialmente per fratturazione e per carsismo, pur con caratteristiche di eterogeneità legata allo stato di fratturazione della roccia e alla presenza di livelli a permeabilità minore.

In via preliminare, sulla base dei dati raccolti nel corso della campagna indagini realizzata, i risultati delle prove di permeabilità di tipo Lefranc realizzate nei due sondaggi – (SA1 e SA2) hanno fornito valori di K dell'ordine di 10^{-5} e 10^{-6} m/s, valori che corrispondono ad una classe di permeabilità media.

È evidente che nella determinazione dei volumi invasabili si è tenuto conto del volume sottratto per infiltrazione verticale attraverso i calcari fratturati.

Area Diga D (t. Porcile)

L'area ove si prevede di realizzare l'invaso sul t. Porcile si colloca, sotto il **profilo geologico**, interamente sulla Fm di Albidona (ABD₂) costituita da depositi silicoclastici e carbonatici a granulometria da grossolana a mediofine, in strati da medi a spessi talora molto spessi, a geometria tabulare, talora anche con base conglomeratica e comunque caratterizzati da una notevole variabilità litologica.

L'elevata copertura vegetale della zona determina la scarsa visibilità di roccia affiorante; tuttavia, sia dai pochi affioramenti visibili in loco sia dal sondaggio SD1 realizzato sul fondovalle del t. Porcile si è potuto constatare che il materiale si presenta piuttosto fratturato.

Il sondaggio, dopo un livello superficiale - da 0 a 5.85 m da p.c. - di Limo argilloso debolmente ghiaioso e ghiaia eterometrica in matrice limo-sabbiosa seguiti, intercetta fino alla profondità investigata pari a 50 m da p.c., un livello di marna di colore grigio fittamente stratificata e scagliosa con sottili intercalazioni di arenaria a grana fine, fratturata e brecciata. Solamente alla profondità di 40 m da p.c. e per lo spessore di 1 m si rinviene la presenza di un livello di arenaria a grana fine compatta seppur con fratture sub-verticale.

Sotto il **profilo geomorfologico**, dalla consultazione del Portale IDROGEO e del Catalogo IFFI emerge che il versante destro della valle del t. Porcile è interessato dalla presenza di fenomeni di crollo e di scivolamento lento legati al progressivo decadimento delle proprietà meccaniche dei terreni, di prevalente composizione pelitico-arenitica (*flysch*), per fenomeni di alterazione e/o rammollimento degli stessi connessi alle acque di pioggia che li imbibiscono.

Sotto il **profilo idrogeologico**, i materiali risultano poco permeabili per porosità e sono sede di acquiferi poco produttivi ma fungono da tamponamento alla circolazione carsica determinando la formazione di sorgenti al contatto con i più permeabili calcari.

I risultati delle prove di permeabilità di tipo LeFranc effettuate nel sondaggio SD1 confermano solo in parte la scarsa permeabilità dell'area in quanto i risultati preliminari mostrano valori di k compresi tra $9,3E-06$ e $5,9E-07$, valori compatibili con un grado di permeabilità relativa medio-bassa.

Concludendo, questa prima fase di studi ed indagini ha, per il Sito A, confermato le caratteristiche di elevata fratturazione e di scarsa competenza delle rocce calcaree su cui si prevede di impostare le opere di sbarramento nel Sito A e ha altresì evidenziato la presenza di livelli di materiali coesivi, "inaspettati" per queste aree; sotto il profilo idrogeologico i materiali presenta una permeabilità medio-alta per fratturazione e carsismo che potrebbe compromettere la capacità di trattenere le acque invasate. A tutto ciò si deve aggiungere la presenza della faglia capace che costituisce un ulteriore elemento di criticità per il sito A.

Per quel che riguarda di sito D, esso si colloca interamente sulla Fm di Albidona costituita da depositi silicoclastici e carbonatici a granulometria da grossolana a medio-fine, in strati da medi a spessi talora molto spessi caratterizzati da una notevole variabilità litologic.; sotto il profilo idrogeologico, i materiali risultano poco permeabili per porosità e sono sede di acquiferi poco produttivi ma fungono da tamponamento alla circolazione carsica determinando la formazione di sorgenti al contatto con i più permeabili calcari.

Entrambi i siti sono interessati, nelle aree di invaso, dalla presenza di fenomeni franosi; i calcari e le dolomie (Sito A) potrebbero essere interessati da fenomeni di crollo e/o di ribaltamento mentre il *flysch* (Sito D) potrebbe essere interessato dalla presenza di fenomeni di crollo e di scivolamento lento legati al progressivo decadimento delle proprietà meccaniche dei terreni, per fenomeni di alterazione e/o rammollimento dello stesso connesso alle acque di pioggia che li imbibiscono. Nel limite delle informazioni ad oggi disponibili (dati PAI e rilievi preliminari in campo) i fenomeni franosi non sembrano avere una significativa estensione e non interessano direttamente le opere di sbarramento.

Si precisa, infine, che tali valutazioni sono da intendersi come preliminari e che ulteriori indagini di maggiore dettaglio ed estensione, opportunamente tarate sugli interventi ed opere selezionati, nonché sulle potenziali criticità, saranno da sviluppare in vista delle successive fasi progettuali.

9. BIBLIOGRAFIA

Amodio-Morelli L., Bonardi G., Colonna V., Dietrich D., Giunta G., Ippolito F., Liguori V., Lorenzoni S., Paglionico A., Perrone V., Piccarreta G., Russo m., Scandone P., Zanettin-Lorenzoni E., Zuppetta A. (1976) - L'Arco Calabro-peloritano nell'orogene appenninico-maghrebide. Mem. Soc. Geol. It., 17: 1-60.

Bonardi G., Cinque A., De Capoa P., Di Staso A., Esposito P., Guida D., Mazzoli S., Parente M., Radoicic R., Sgrosso A., Siervo V., Zamparelli V., (2016): Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50.000, foglio 521 Lauria. ISPRA-Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Servizio Geologico d'Italia, 143 pp.

Carbone S., Giano S.I., Lentini F., Tescione M. (2016): Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 505 Moliterno. ISPRA, Servizio Geologico d'Italia, 107 pp., System Cart, Roma.

Celico F., Petrella E.; Celico P. (2006): Hydrological behaviour of some fault zones in a carbonate aquifer of Southern Italy: an experimentally based model. July 2006 Terra Nova 18(5):308 – 313.

Celico P. (1978): Schema idrogeologico dell'Appennino carbonatico centro-meridionale. Mem. Note Ist. Geol. Appl., 14 (1): 1-97, 35 figg., 2 tabb., 14 tavv., 1 carta idrogeol. 1:400.000, Napoli.

Celico P. (1983): Idrogeologia dell'Italia centro-meridionale. Quad. Cassa Mezzogiorno, 4 (2): 1-225, 65 figg., 88 tabb., Roma.

Celico P., Stanzione D., De Gennaro M., Ferreri M., Ghiara M.R., Russo D. (1979): Idrogeochimica del Vallo di Diano. Boll. Soc. Nat. Napoli, 88 (1979): 499-524, 7 figg., 2 tabb., 1 tav., Napoli.

D'Argenio B., Pescatore T., Scandone P. (1973) - Schema geologico dell'Appennino meridionale (Campania, Lucania). Atti del Convegno: "Moderne vedute sulla geologia dell'Appennino". Accad. Naz. Lincei, Quad. 183: 49-72, Roma.

D'Argenio B., Sgrosso I. (1974): Le piattaforme carbonatiche sud-appenniniche. Istituto di Geologia e Geofisica dell'Università di Napoli pubbl. 52

Finetti I. (Ed.) (2005): CROP, Deep Seismic Exploration of the Mediterranean region. Elsevier Science, 777 pp., Amsterdam

Finetti I., Lentini F., Carbone S., Del Ben A, Di Stefano A., Guarnieri P., Pipan M., Prizzon A. (2005): Crustal tectonostratigraphy and geodynamics of the Southern Apennines from CROP and other integrating geophysical data. In: I.R. Finetti (Ed.): "CROP, Deep Seismic Exploration of the Mediterranean region. Elsevier, spec. vol., chapter 12: 225-262.

Lentini F., Carbone S., Guarnieri P. (2006): Collisional and post-collisional tectonics of the Apenninic-Maghrebian Orogen (Southern Italy). In: Y. Dilek & S. Pavlides (Eds.), "Post-collisional Tectonics and Magmatism in the Eastern Mediterranean Region". Geological Society of America, Special Paper 409: 57-81.

Mostardini F., Merlini S. (1988) - Appennino centro-meridionale. Sezioni geologiche e proposta di modello strutturale. Mem. Soc. Geol. It., 35 (1986), (1): 177-202, 10 figg., 2 tabb., 3 tavv., Roma

Nicotera P., De Riso R. (1969). Idrogeologia del Vallo di Diano. Memorie e Note dell'Istituto di Geologia Applicata, 11, 10-75.

Santangelo N. (1991): Evoluzione geomorfologica e stratigrafica di alcuni bacini lacustri del confine campano-lucano (Italia meridionale). Tesi di Dottorato, Università Federico II, Napoli.

Sgrosso I., Bonardi G., Amore F. O., Ascione A., Castellano M. C., De Vita P., Di Donato V., Morabito S., Parente M., Pescatore E., Putignano M. L., Sandulli R., Schiattarella M., Tescione M. (2010): Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50.000, foglio 505 Sala Consilina. ISPRA-Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Servizio Geologico d'Italia, 160 pp.