

TITLE:

AVAILABLE LANGUAGE: IT

IMPIANTO DI VALCIMARRA II

Installazione di un nuovo gruppo reversibile

Centrale di Valcimarra

Comune di Caldarola (MC)

Progetto Definitivo per Autorizzazione

RELAZIONE GEOLOGICA

File: GRE.EEC.D.99.IT.H.17168.00.006.00 Relazione Geologica.docx

| REV. | DATE | DESCRIPTION | PREPARED | VERIFIED | APPROVED |
|------|------------|------------------|-------------|---------------------------|------------|
| 00 | 30/04/2022 | <i>Emissione</i> | D.Battaglia | C.Piccinin F.Maugliani | A.Balestra |

GRE VALIDATION

| | | | |
|---------------|--|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | | Support Team: G.RIPELLINO | Project Engineer: F.PODIO |
| COLLABORATORS | | VERIFIED BY | VALIDATED BY |

PROJECT / PLANT

ANAPO

GRE CODE

| GROUP | FUNZION | TYPE | ISSUER | COUNTRY | TEC | PLANT | SYSTEM | PROGRESSIVE | REVISION |
|------------|------------|----------|------------|--------------|------------|--------------|------------|-------------|--------------|
| GRE | EEC | D | 9 9 | I T H | 1 7 | 1 6 8 | 0 0 | 0 0 | 6 0 0 |

CLASSIFICATION PUBLIC

UTILIZATION SCOPE PROGETTO DEFINITIVO PER AUTORIZZAZIONE

This document is property of Enel Green Power S.p.A. It is strictly forbidden to reproduce this document, in whole or in part, and to provide to others any related information without the previous written consent by Enel Green Power S.p.A.

| | | | |
|-----------------|-------------|----------------|-------------------|
| | | | |
| | | | |
| 00 | 30.04.2022 | Battaglia | MFr/Bal |
| Versione | Data | Redatto | Verificato |

Lombardi SA Ingegneri Consulenti
 Via del Tiglio 2, C.P. 934, CH-6512 Bellinzona-Giubiasco
 Telefono +41(0)91 735 31 00
 www.lombardi.group, info@lombardi.group

...LAZIONE

GEOLOGICA.DOCX
 30.04.2022

INDICE

| | | |
|-------|--|----|
| 1. | INTRODUZIONE | 1 |
| 2. | DESCRIZIONE DELL'OPERA | 3 |
| 3. | METODOLOGIA DI LAVORO | 6 |
| 3.1 | Base topografica e Modello Digitale del Terreno | 6 |
| 3.2 | Immagini satellitari ed ortofoto | 7 |
| 3.3 | Rilevamento geologico | 7 |
| 3.4 | Rilievi geomeccanici | 8 |
| 3.5 | Prove di Point Load | 9 |
| 4. | DATI BIBLIOGRAFICI | 10 |
| 4.1 | Documentazione bibliografica | 10 |
| 4.2 | Dati geognostici | 10 |
| 5. | ASSETTO GEOLOGICO | 11 |
| 5.1 | Inquadramento geologico generale | 11 |
| 5.2 | Stratigrafia | 12 |
| 6. | GEOMORFOLOGIA | 15 |
| 6.1 | Cartografia degli Enti | 15 |
| 6.1.1 | Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale - Inventario Fenomeni Franosi Italiani - Progetto IFFI | 15 |
| 6.1.2 | Piano Assetto Idrogeologico – PAI | 17 |
| 6.1.3 | Interferometria Satellitare (Ministero dell'Ambiente) | 17 |
| 6.2 | Forme e depositi | 18 |
| 7. | MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO | 22 |
| 7.1 | Incertezze del modello geologico | 26 |
| 8. | SISMICITA' | 28 |
| 8.1 | Sismicità Storica (DBMI15) | 28 |
| 8.2 | Sismicità recente (dal 1985 al 2020) | 31 |
| 8.3 | Valutazione fagliazione superficiale | 32 |

| | | |
|-----|--|----|
| 8.4 | Classificazione e pericolosità sismica | 34 |
| 9. | BIBLIOGRAFIA | 37 |
| 9.1 | Documenti storici sull'opera | 37 |
| 9.2 | Dati da Enti | 37 |
| 9.3 | Riferimenti tecnico scientifici | 37 |
| 9.4 | Documenti di progetto | 39 |

INDICE DELLE FIGURE

| | | |
|-------------------|---|----|
| Figura 1: | Ubicazione della centrale di Valcimarra (da Google Earth e IGM [9]) | 1 |
| Figura 2: | Planimetria generale dell'impianto idroelettrico di Valcimarra (in alto), in rosso la posizione della Centrale. Schema idraulico della centrale (in basso). (Da [5][6] - parz.ridisegnato) | 5 |
| Figura 3: | Modelli digitali per la zona della centrale: in alto a sinistra DTM 1m, in alto a destra corrispondente DSM 1m; in basso DTM 20 cm realizzato per il progetto | 7 |
| Figura 4: | Vista della centrale e della condotta della derivazione Chienti (bacino di Polverina) | 8 |
| Figura 5: | Planimetria con l'ubicazione delle postazioni di rilievo geomeccanico | 9 |
| Figura 6: | Schema tettonico della catena umbro-marchigiana. Nel riquadro blu l'area di studio e nel riquadro nero la delimitazione del Foglio 302 "Tolentino" [19] | 12 |
| Figura 7: | Stralcio della colonna stratigrafica dell'Appennino umbro-marchigiano ([24] ridisegnato). In rosso le formazioni presenti nella zona della centrale e nei suoi dintorni | 14 |
| Figura 8: | Stralcio della Carta Inventario dei Fenomeni Franosi Progetto IFFI (da ISPRA) [20]. In figura i dissesti presenti nella BD sono numerati come in tabella Tabella 1 ed è indicata la posizione della Centrale di Valcimarra | 16 |
| Figura 9: | Estratto delle Tavole RI_56b e 57c dell'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Centrale – Bacini marchigiani | 17 |
| Figura 10: | Permanent Scatterers relativi al monitoraggio InSar – Ministero dell'Ambiente. Le velocità sono espresse in mm/anno | 18 |
| Figura 11: | Immagini satellitari del versante nel tratto ad est della centrale (da Google Earth). In alto immagine riferita all'anno 2004, in basso dettaglio del versante nel 2016 con indicate le aree dove si sono sviluppati i dissesti | 19 |
| Figura 12: | Sviluppo della frana situata sul versante ad est delle opere esistenti. A sinistra lo stato nel maggio 2016, a destra nell'agosto 2017 | 20 |
| Figura 13: | Lesione nel muro dell'edificio della camera a valvole dell'impianto Polverina | 21 |

| | |
|--|----|
| Figura 14: Mappa geologico-geomorfologica di dettaglio | 22 |
| Figura 15: Sezione geologica generale lungo il versante | 23 |
| Figura 16: Sezione geologico-geotecnica longitudinale lungo la centrale in progetto | 23 |
| Figura 17: Sezione geologico-geotecnica trasversale lungo la centrale in progetto..... | 24 |
| Figura 18: Affioramenti di Maiolica attorno alla centrale di Valcimarra | 24 |
| Figura 19: Noduli di selce nella formazione della Maiolica nella zona della centrale | 25 |
| Figura 20: <i>Stereoplot</i> delle discontinuità misurate nei due rilievi geomeccanici prossimi alla centrale nei calcari della Maiolica | 25 |
| Figura 21: Immagine tridimensionale del versante sovrastante la centrale di Valcimarra (da Google Earth)..... | 26 |
| Figura 22: Grafico della intensità degli 81 terremoti avvertiti a Caldarola nel periodo 1000-2020. In basso il dettaglio degli eventi dal 1790 al 2020. | 28 |
| Figura 23: Distribuzione dei terremoti localizzati in tempo reale dall'INGV Centro Nazionale dei Terremoti in un raggio di 30 km dalla Centrale di Valcimarra, in rosso (data base Centro Nazionale Terremoti dati al 08/04/2022). | 31 |
| Figura 24: Estratto mappa ITHACA - Catalogo faglie capaci [32] (ridisegnato)..... | 32 |
| Figura 25: Estratto mappa DISS versione 3.3 – INGV. Catalogo zone sismogenetiche [30] Nel riquadro nero la zona di studio | 33 |
| Figura 26: Estratto mappa DISS versione 3.3 – INGV. Catalogo zone sismogenetiche [30] profondità della <i>Subduction Source</i> ITSD002 (16 km) nell'area di studio..... | 34 |
| Figura 27: Stralcio della mappa “Classificazione Sismica d'Italia al 31 marzo 2022” relativo al Comune di Caldarola dove si situa la centrale di Valcimarra | 35 |
| Figura 28: Accelerazione massima al suolo (PGA) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Fonte INGV [29]). | 36 |

INDICE DELLE TABELLE

| | |
|--|----|
| Tabella 1: caratteristiche principali dei dissesti della Banca Dati IFFI | 16 |
| Tabella 2: Estratto da DBMI15 di parte delle informazioni relative ai terremoti avvertiti a Caldarola | 30 |
| Tabella 3: Caratteristiche delle faglie capaci più prossime alla zona di interesse (da ITHACA) | 32 |
| Tabella 4: Zone sismiche..... | 35 |

1. INTRODUZIONE

Enel Produzione S.p.A. ha affidato a Lombardi SA l'incarico professionale di ingegneria per la Progettazione DILA di una nuova centrale di pompaggio da realizzarsi nel versante immediatamente a tergo della centrale di Valcimarra, sito nel territorio dei comuni di Caldarola, in provincia di Macerata (MC). La centrale in caverna sfrutterà il salto tra i bacini di Fiastrone e Polverine le cui condotte di adduzione raggiungono la centrale di Valcimarra.

La presente relazione illustra le caratteristiche geologiche, geomorfologiche e sismiche dell'area interessata dal progetto



Figura 1: Ubicazione della centrale di Valcimarra (da Google Earth e IGM [9])

- **Capitolo 1** contiene l'introduzione al tema tecnico nel seguito sviluppato;
- **Capitolo 2** descrive brevemente le caratteristiche dell'impianto esistente;
- **Capitolo 3** illustra la metodologia di lavoro adottata;
- **Capitolo 4** riporta i dati bibliografici
- **Capitolo 5** illustra l'assetto geologico generale;
- **Capitolo 6** descrive la geomorfologia;
- **Capitolo 7** illustra il modello geologico di riferimento;

- **Capitolo 8** analizza gli aspetti relativi alla sismicità;
- **Capitolo 9** elenca i riferimenti bibliografici.

Gli elaborati progettuali a cui il presente rapporto fa riferimento sono:

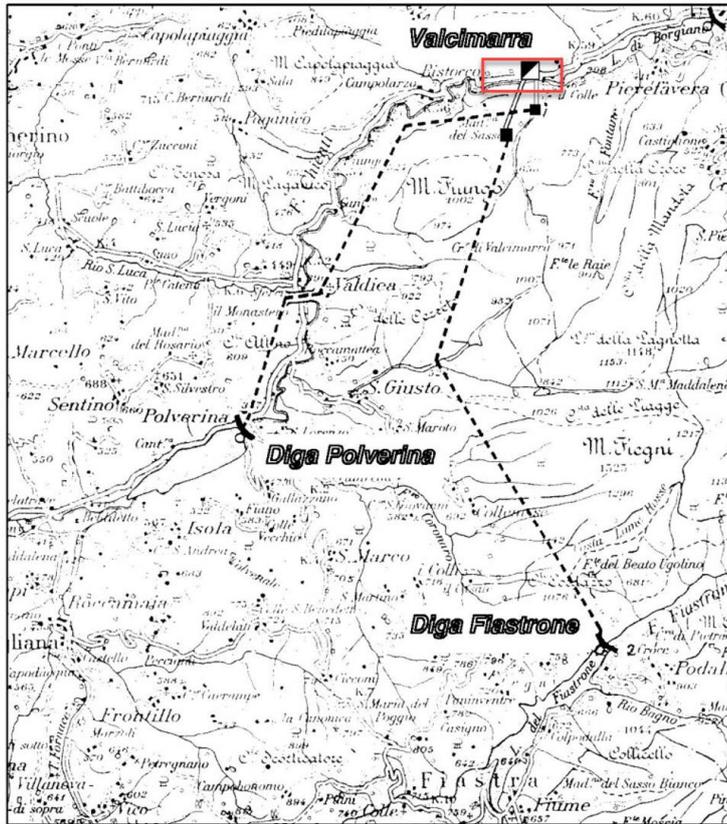
- GRE.EEC.R.29.IT.H.53223.00.105.00 Relazione Geotecnica
- GRE.EEC.D.29.IT.H.53223.00.107.00 Carta geologico-geomorfologica generale (scala 1:5.000)
- GRE.EEC.D.29.IT.H.53223.00.108.00 Carta geologico-geomorfologica di dettaglio (scala 1:500)
- GRE.EEC.D.29.IT.H.53223.00.109.00 Sezione geologica generale del versante (scala 1:2.000)
- GRE.EEC.D.29.IT.H.53223.00.110.00 Sezioni geologico-geotecniche trasversale e longitudinale della centrale (scala 1:500)

2. DESCRIZIONE DELL'OPERA

La centrale di Valcimarra è ubicata nel comune Caldarola ed è alimentata da due condotte di idrauliche provenienti dal serbatoio del Fiastrone, sul torrente omonimo, e dal bacino di Polverina, sul fiume Chienti. L'impianto è stato costruito nel 1952 con la derivazione sul T. Fiastrone ed ampliato nel 1967 con la derivazione sul F. Chienti (**Figura 2**). La Centrale è situata in destra del F. Chienti. Di seguito si riportano le caratteristiche principali dell'impianto idroelettrico esistente.

L'invaso del Fiastrone, ubicato nel Comune di Fiastra, è stato realizzato per la regolazione stagionale delle portate del T. Fiastrone per la produzione di energia elettrica nella centrale di Valcimarra. Il bacino ha livello di ritenuta di 640 m slm e quota di massimo vaso di 641 m slm. La diga è di tipo ad arco-gravità con altezza del piano di coronamento a 642 m slm. La derivazione Fiastrone parte dall'opera di presa posta sulla sponda sinistra dell' vaso ed è costituita da una galleria in pressione di circa 8.9 km. Al termine della galleria, prima del pozzo piezometrico, è presente una camera di espansione con ampliamento interno alla galleria. Il pozzo piezometrico presenta una vasca di espansione all'aperto. La condotta forzata, intercettata da valvola a farfalla, è in acciaio nel primo tratto a giorno e in quello finale in galleria.

L'invaso di Polverina, situato nel Comune di Camerino, viene utilizzato per la regolazione giornaliera settimanale dell'energia producibile dalla centrale di Valcimarra. Il livello di ritenuta e di massimo vaso sono posti a 400 m slm. La diga è in terra con nucleo centrale impermeabile con quota del coronamento a 402 m slm. L'opera di presa è posta in sponda sinistra, la galleria di derivazione Chienti è in pressione ed è lunga complessivamente 7.335 metri. Si sviluppa per circa un terzo in sponda sinistra e per la parte restante in sponda destra del F. Chienti. L'attraversamento del F. Chienti e della S.S. n° 77 è effettuato con un tubo di acciaio saldato (Ponte Sifone). Il pozzo piezometrico è del tipo differenziale. È presente una galleria di espansione inferiore. La condotta forzata è lunga 154,22 m, di cui 34,72 m in roccia ed il resto all'aperto.



LEGENDA

- | | | | |
|--|---------------------|--|--|
| | Diga | | Pozzo piezometrico coperto o in galleria |
| | Centrale all'aperto | | Derivazione coperta o in galleria |
| | Opera di presa | | Condotta forzata scoperta |

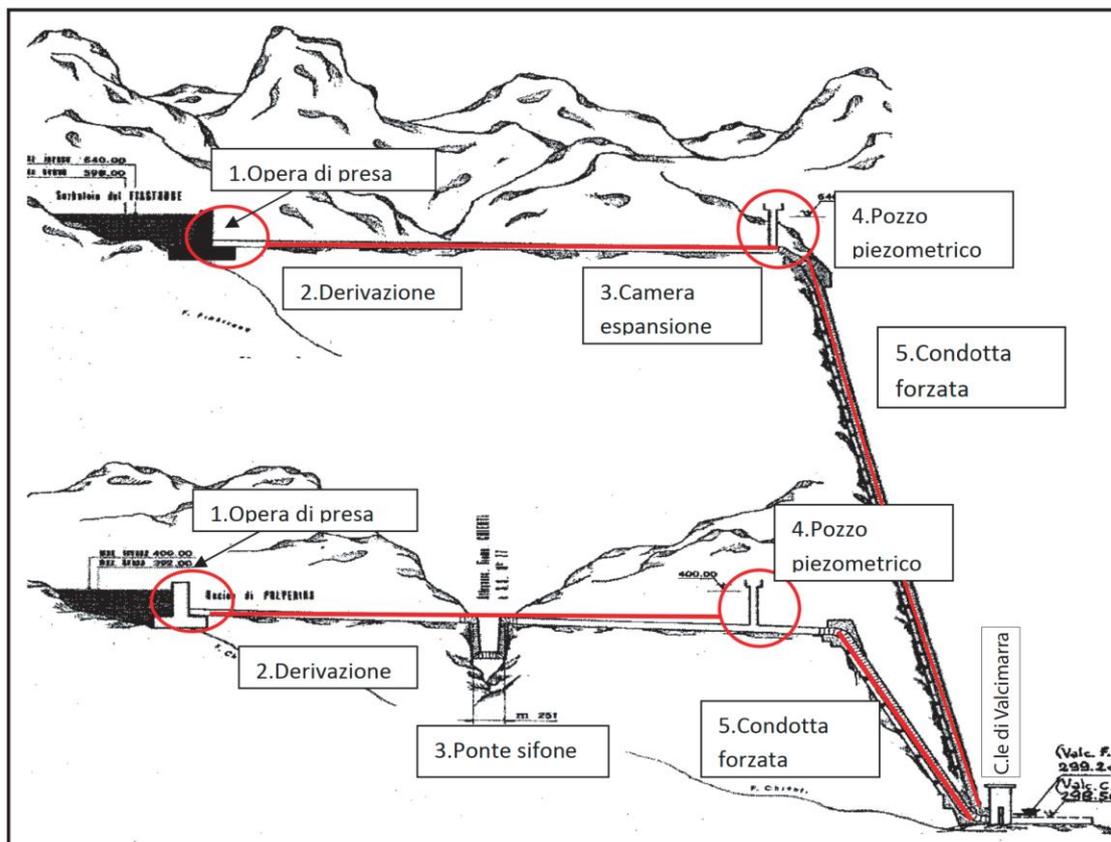


Figura 2: Planimetria generale dell'impianto idroelettrico di Valcimarra (in alto), in rosso la posizione della Centrale. Schema idraulico della centrale (in basso). (Da [5][6] - parz.ridisegnato)

L'intervento prevede la parziale trasformazione dell'impianto idroelettrico di generazione di Valcimarra Chienti in un impianto reversibile, di generazione e pompaggio, mediante la costruzione di una nuova centrale in caverna di dimensioni circa 46x18x30H, il suo collegamento alle vie d'acqua esistenti (scavo di cunicoli orizzontali e pozzi verticali con tecnologia raise-boring), di cui vengono modificate alcune opere: pozzo piezometrico sulla derivazione Fiastrone (estensione del pozzo mediante una galleria con sezione a D 4x4m lunga circa 270 m avente pendenza 12%), camera valvole sulla derivazione Polverina (ampliamento del fabbricato esistente), area della Sottostazione collocata lateralmente rispetto alla Centrale (realizzazione di nuovo fabbricato tecnico monopiano e di cunicoli portacavi).

3. METODOLOGIA DI LAVORO

Nell'ambito dello studio sono state effettuate le seguenti attività:

- Ricerca ed analisi del materiale bibliografico disponibile;
- Esame di immagini satellitari;
- Rilevamento geologico e geomorfologico di dettaglio;
- Esecuzione di rilievi geomeccanici su affioramenti rocciosi;
- Esecuzione di prove di point load su campioni di roccia
- Stesura della relazione geologica.

3.1 Base topografica e Modello Digitale del Terreno

La base topografica utilizzata per lo studio deriva da DTM 20 cm, eseguito per il presente progetto, e da DTM e DSM “first” e “last” a risoluzione 1m x 1m, ottenuti dal Ministero dell’Ambiente [7], dai quali sono state estratte le isoipse rappresentate nella Carta geologico geomorfologica di dettaglio (**Figura 3**).

I DTM ad 1m e quello a 20 cm sono stati inoltre utilizzati per l’analisi geomorfologica in ambiente GIS che permette di visualizzare il terreno con vari angoli di illuminazione, esaltano così le forme morfologiche e i cambi di pendenza del modello.

Per la cartografia della Carta geologico-geomorfologica generale e per le figure di inquadramento sono state utilizzate:

- Carta Tecnica numerica 1:10000 (cartografia di base) formato .dwg (licenza Open Data) [11]

Per gli aspetti di inquadramento dell’area sono state inoltre utilizzate:

- Cartografia Tecnica alla scala 1:10.000 di proprietà della Regione Marche (sez. 313060 e 313070) resa disponibile presso il sito web della Regione [10]
- Cartografia Digitale Raster Scala 1:250.000 “Umbria – Marche” dell’Istituto Geografico Militare di Firenze [9]

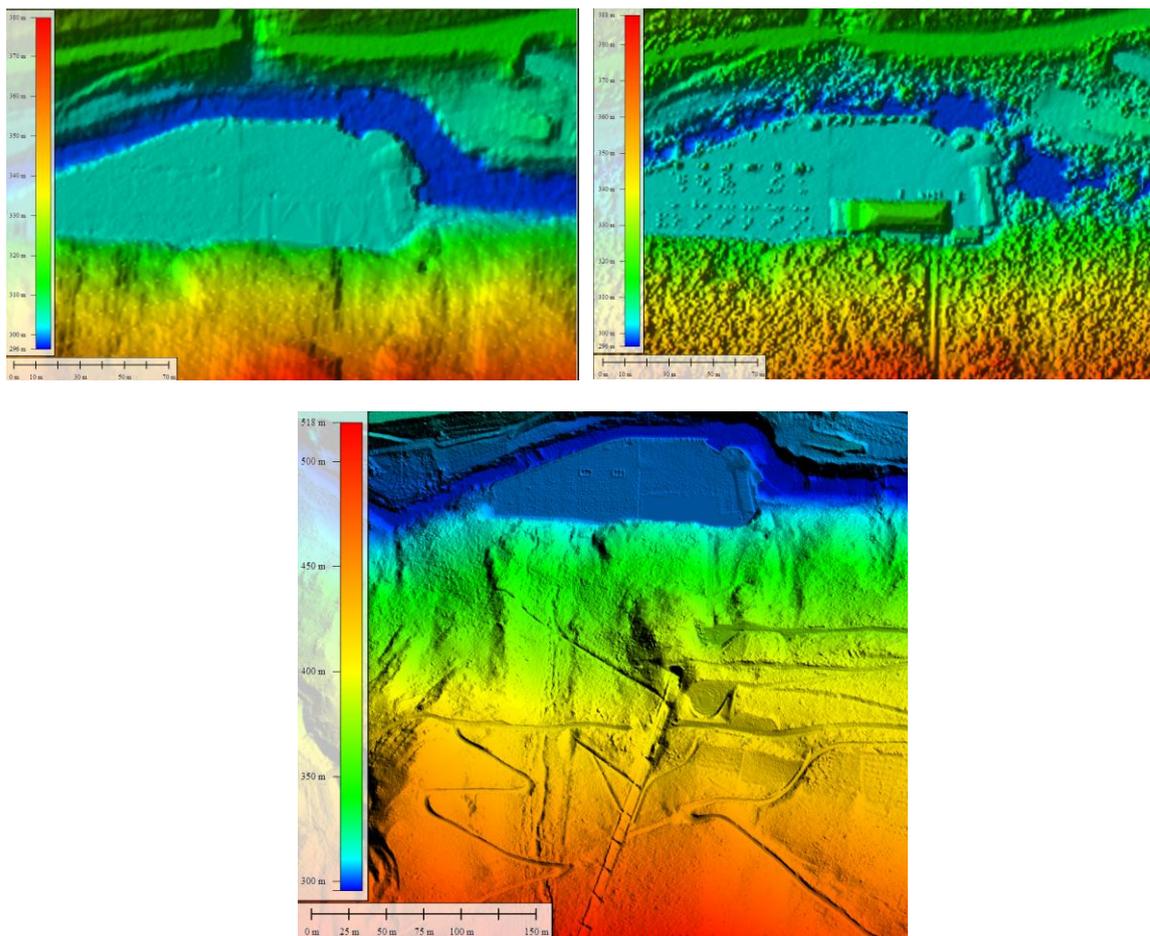


Figura 3: Modelli digitali per la zona della centrale: in alto a sinistra DTM 1m, in alto a destra corrispondente DSM 1m; in basso DTM 20 cm realizzato per il progetto

3.2 Immagini satellitari ed ortofoto

A supporto del rilevamento geologico geomorfologico oltre ai modelli digitali del terreno sopra descritti sono state analizzate le immagini satellitari multitemporali disponibili sulla piattaforma Google Earth. Il confronto tra le diverse epoche di ripresa ha permesso di riconoscere alcuni dissesti posti ad est della centrale esistente come descritto in seguito (**capitolo 6**).

È stato inoltre utilizzata l'immagine ortofoto 35mm realizzata per il progetto lungo il tratto di versante di interesse.

3.3 Rilevamento geologico

Nel mese di gennaio 2022 sono state effettuate attività di rilevamento geologico di dettaglio al fine di identificare le principali unità litologiche, le strutture tettoniche e gli elementi geomorfologici. Il rilievo ha riguardato il settore della centrale ed il versante soprastante.

Le attività sul campo sono state condotte con l'ausilio di tablet rugged dotati di ricevitore GPS monofrequenza (precisione di posizionamento 3-5m) e applicativo GIS FieldMove che ha permesso l'editing diretto sul campo delle informazioni acquisite.

Sono state esaminate con attenzione le zone di dissesto indicate nell'Inventario dei Fenomeni Franosi Italiani (IFFI) in un congruo intorno della centrale, per verificarne l'esistenza e valutare il livello di rischio. I risultati dei rilievi di superficie sono illustrati nella Carta geologico-geomorfologica generale ed in quella di dettaglio [39] [40].



Figura 4: Vista della centrale e della condotta della derivazione Chienti (bacino di Polverina)

3.4 Rilievi geomeccanici

Contemporaneamente all'attività di rilevamento geologico è stato eseguito il rilevamento geomeccanico di 2 affioramenti ubicati nei pressi della centrale in esterno (**Figura 5**).

I rilievi sono stati condotti allo scopo di definire l'assetto geostrutturale degli ammassi e le caratteristiche dei sistemi di discontinuità in essi presenti. I dati rilevati sono stati elaborati per determinare la classi di ammasso secondo il sistema di classificazione geomeccanico GSI valutandone i parametri di resistenza meccanica.

Il dettaglio della metodologia di rilevamento e l'elaborazione dei dati vengono illustrati nel documento Relazione Geotecnica [38].

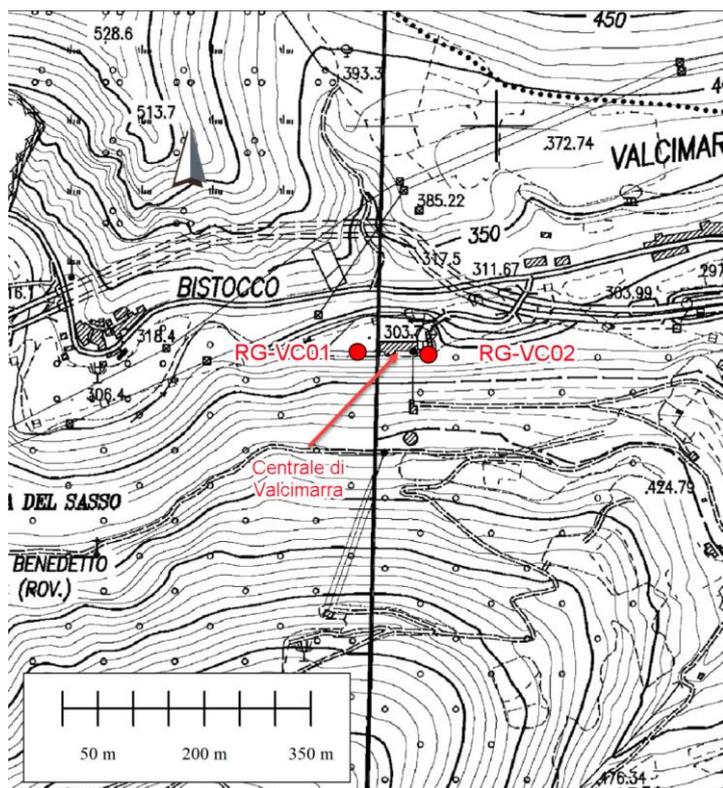


Figura 5: Planimetria con l'ubicazione delle postazioni di rilievo geomeccanico.

3.5 Prove di Point Load

Su campioni di roccia prelevati dalle aree di rilievo geomeccanico sono state eseguite secondo lo standard ISRM un totale di 20 prove di Point Load test. La prova consiste nella rottura dei campioni roccia in una pressa tramite carico progressivo tra 2 punte standard; il rapporto tra il carico massimo e la superficie di rottura è direttamente proporzionale alla resistenza a compressione monoassiale della roccia. Le schede di prova ed i risultati sono riportati nella Relazione Geotecnica e suoi allegati.

4. DATI BIBLIOGRAFICI

4.1 Documentazione bibliografica

La ricerca bibliografica ha permesso di recuperare molte informazioni utili a definire le caratteristiche geologiche e geomorfologiche dell'area in esame. La documentazione di riferimento viene elencata nel **Capitolo 9**.

In particolare sono risultati utili i dati di cartografia geologica e geomorfologica, in scala 1:10.000, di proprietà della Regione Marche, distribuiti con Licenza Creative Commons Attribuzione 4.0 Internazionale e Italian Open Data Licence 1.0 disponibili sul sito regionale. Questi dati che hanno costituito la base di partenza per i rilievi di terreno.

Sono stati inoltre analizzati i dati forniti dalla Committente relativi alla verifica di sicurezza sismica della diga del Fiastrone [21] le cui unità stratigrafiche sono le stesse del settore in esame.

4.2 Dati geognostici

Non sono attualmente disponibili indagini geognostiche pregresse relative all'area di studio. Si sottolinea in ogni caso che sono state analizzate le risultanze delle indagini geotecniche in sito e di laboratorio realizzate nell'ambito della verifica sismica della diga del Fiastrone [22][23] che risulta fondata sui medesimi calcari della Formazione della Maiolica che interesseranno lo scavo della nuova centrale.

5. ASSETTO GEOLOGICO

5.1 Inquadramento geologico generale

L'area di studio si colloca nella porzione centrale dell'Appennino umbro-marchigiano che rappresenta il settore esterno della catena dell'Appennino Settentrionale. L'Appennino Settentrionale è una catena a falde caratterizzata dalla sovrapposizione di elementi paleogeografici più interni su elementi più esterni (riferendosi alla polarità della deformazione orogenetica). La sua storia tettonica si è sviluppata in modo continuo ed è tuttora in atto, come dimostrato dalla sismicità tuttora attiva. Durante la sua evoluzione è possibile distinguere una serie di fasi tettoniche durante le quali l'intensità delle deformazioni è risultata tale da lasciare una registrazione stratigrafica degli eventi e permetterne la ricostruzione. Nel periodo Triassico-Giurassico condizioni di *rifting* portarono alla formazione del dominio oceanico ligure piemontese posto tra i margini continentali della placca europea ed Adria. A partire dal Cretaceo Superiore si instaurano condizioni di convergenza tra le placche che determinarono prima la chiusura del dominio ligure piemontese, con subduzione della crosta oceanica, e successivamente, a partire dall'Eocene medio, a collisione continentale. Dall'Oligocene pertanto la catena si evolve con deformazione intracontinentale del margine della placca Adria tramite migrazione del sistema catena-avanfossa verso est e formazione di diverse unità tettoniche delimitate da sovrascorrimenti e pieghe spesso rovesciate con vergenza NE. Lo spostamento del fronte deformativo durante il Miocene ed il Pliocene ha coinvolto successivamente i domini più esterni dell'avampaese appenninico (dominio umbro - marchigiano e padano) fino a determinare la configurazione attuale della catena nord - appenninica.

L'area si colloca ad est del tra il crinale principale Appenninico e la fascia pedemontana adriatica. L'evoluzione tettono-sedimentaria di questo tratto di catena (**Figura 6**) è stata ricostruita in dettaglio nel corso degli studi per la realizzazione del Foglio 302 "Tolentino" [19] della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 al quale si fa riferimento in quanto il foglio 313 "Camerino", in cui ricade l'area di studio, non è ancora pubblicato.

La successione stratigrafica presente in questo settore di catena riflette l'evoluzione della micro placca Adria: a cominciare dal Triassico fino all'Eocene si è sviluppata la successione carbonatica i cui depositi rappresentano l'evoluzione del margine passivo che evolve da ambienti continentali (ad es. Formazione delle Anidriti di Burano) ad ambienti di piattaforma carbonatica (es. Formazione del Calcare Massiccio) fino a pelagica. In quest'ultimo ambiente si sono deposte le principali unità presenti nell'area di studio (Maiolica, Marne a Fucoidi e Scaglia). Successivamente si instaurano condizioni di ambiente emipelagico legato all'inizio della flessurazione della litosfera dell'avampaese. L'evoluzione della catena orogenica dall'Oligocene ha determinato la genesi di avanfosse dove si sono accumulate potenti successioni torbiditiche arenacee via via più giovani verso l'esterno marcando la migrazione del fronte compressivo.

Le strutture tettoniche presenti sono legate all'evoluzione descritta. In particolare sono state riconosciute faglie giurassiche di tipo estensionale, legate alle fasi precoci di apertura dell'oceano Ligure – Piemontese e responsabili dell'annegamento della piattaforma carbonatica del Calcarea Massiccio. Queste faglie sono responsabili della morfologia ad alti e bassi strutturali che condizionò la deposizione della restante successione giurassica ("successione completa" e "successione condensata"). L'evoluzione dell'orogene è proseguita quindi con l'instaurarsi condizioni compressive con sviluppo di pieghe e sovrascorrimenti tipiche di questo contesto (Miocene medio-Pliocene). Nel quaternario infine si sono instaurate condizioni legate a fagliamento distensivo-transtensivo post accavallamento.

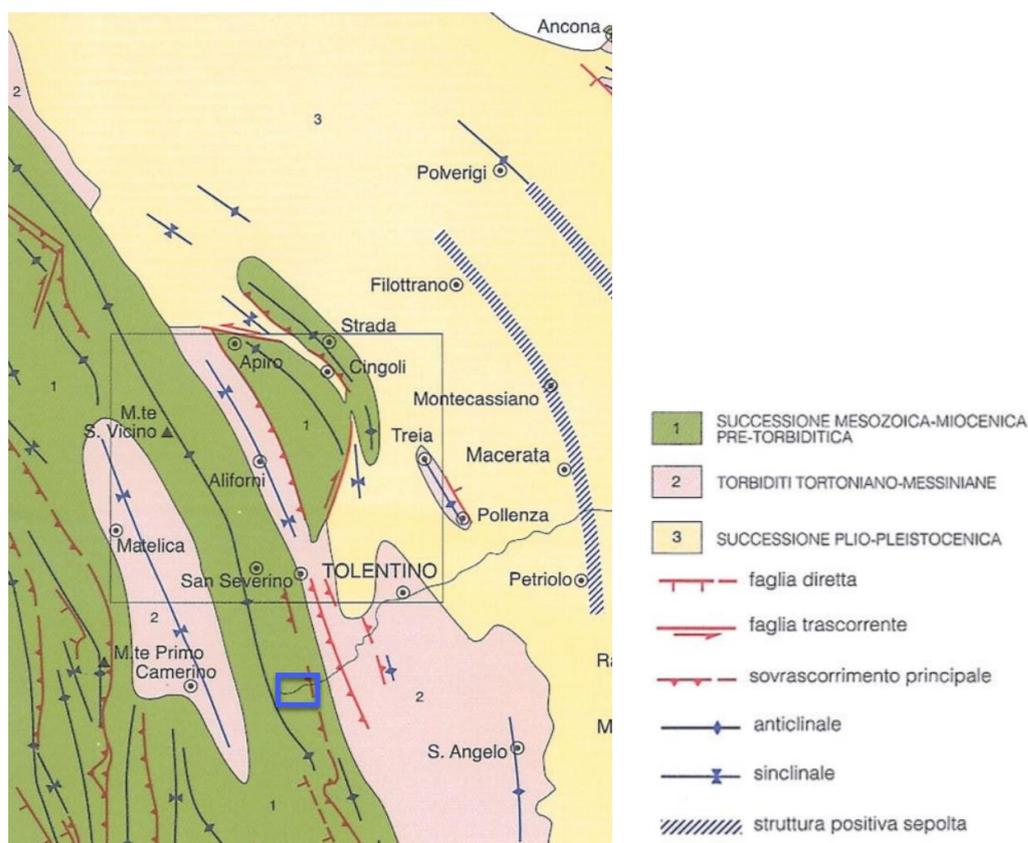


Figura 6: Schema tettonico della catena umbro-marchigiana. Nel riquadro blu l'area di studio e nel riquadro nero la delimitazione del Foglio 302 "Tolentino" [19]

5.2 Stratigrafia

Di seguito si descrive la successione stratigrafica presente nella Carta geologico-geomorfologica generale della zona di studio partendo dal termine più antico verso il più recente.

Successione Giurassica condensata

- **Calcarea Massiccio (MAS)** Calcari biancastri in strati massicci con intercalazioni di calcari nocciola in strati medio-sottili. Età: Sinemuriano inferiore - Hettangiano
- **Gruppo del Bugarone (BUG)** Calcari e calcari marnosi nodulari talora ricchi in fossili (ammoniti, aptici, belemniti) Età: Pleinsbachiano inferiore p.p. – Titoniano inferiore

Successione Giurassica completa

- **Calcari diasprini (CDU)** Calcari selciferi e selci varicolori. Talora distinti in due membri:
- **CDU1** Calcari selciferi e selci di colore verdastro. Età: Bajociano superiore – Kimmeridgiano inferiore
- **CDU2** Calcari selciferi bioclastici ricchi in Aptici, colore grigio verde talora rossastro Età: Kimmeridgiano inferiore - Titoniano inferiore

Successione calcareo marnosa

- **Maiolica (MAI)** Calcari micritici bianchi talora a frattura concoide, in strati da sottili a spessi con liste e noduli di selce grigia e nerastra. Sottili livelli bituminosi. In zone adiacenti sono segnalati locali *slump* (Foglio 302 “Tolentino” [19]). Verso la base della formazione talora sono presenti livelli dolomitici spessi e molto spessi o calcari bianco verdastri medio-spessi. Verso la parte alta della formazione, al passaggio con le Marne a Fucoidi, i litotipi calcarei presentano colori più scuri ed intercalazioni di peliti scure. Età: Titoniano superiore p.p.- Aptiano inferiore p.p.
- **Marne a Fucoidi (FUC)** Marne e marne argillose policrome con sottili intercalazioni calcareo marnose verdine e beige. Nella parte alta della formazione sono presenti calcari marnosi e marne calcaree biancastre in strati medi ed intercalazioni sottili di marne argillose grigio-verdi. Sporadica presenza di selce in liste e noduli. Sono frequenti livelli di scisti neri (*black shales*) il più basso dei quali rappresenta un livello regionale (livello Selli). Età: Aptiano inferiore p.p.- Albiano superiore p.p.
- **Scaglia bianca (SBI)** Calcari e calcari marnosi biancastri con selce rosata nella parte bassa della formazione e nerastra nella parte alta. Età; Albiano superiore p.p. - Turoniano inferiore p.p.
- **Scaglia Rossa (SAA)** Calcari e calcari marnosi rosati e rossastri per lo più con selce, Nella parte intermedia della serie presenti locali intercalazioni di calcareniti e livelli marnosi rossi. Età: Turoniano inferiore p.p. - Luteziano p.p.

Depositi e coperture quaternarie continentali

Nelle cartografie ISPRA e Regione Marche i depositi quaternari della zona sono riferiti al Sistema del Torrente Musone (MUS). Nelle cartografie di progetto tali depositi vengono indicati utilizzando la nomenclatura più tradizionale sotto riportata:

- **Alluvioni terrazzate (all-2)** Depositi ghiaioso ciottolosi, sabbia e limo Età: Olocene
- **Alluvioni attuali e recenti (all)** Depositi ghiaioso-ciottolosi, sabbie, limi sabbiosi. Età: Olocene
- **Depositi eluvio-colluviali (e-c)** Depositi limoso argillosi con frazione sabbiosa e con elementi marnosi e calcareo marnosi Età: Olocene
- **Detrito di versante (d)** Clasti a spigoli vivi con matrice argillosa abbondante Età: Olocene
- **Depositi di frana (fr1, fr2)** Materiali eterogenei ed eterometrici argilloso-marnosi, calcareo-marnosi e calcarei. Con fr1 si indicano le frane con indizi di evoluzione e con fr2 le frane

quiescenti. Tale valutazione si è avvalsa di dati di Interferometria Satellitare forniti dal Ministero dell’Ambiente come descritto in nel capitolo 6.1.3 Età: Olocene

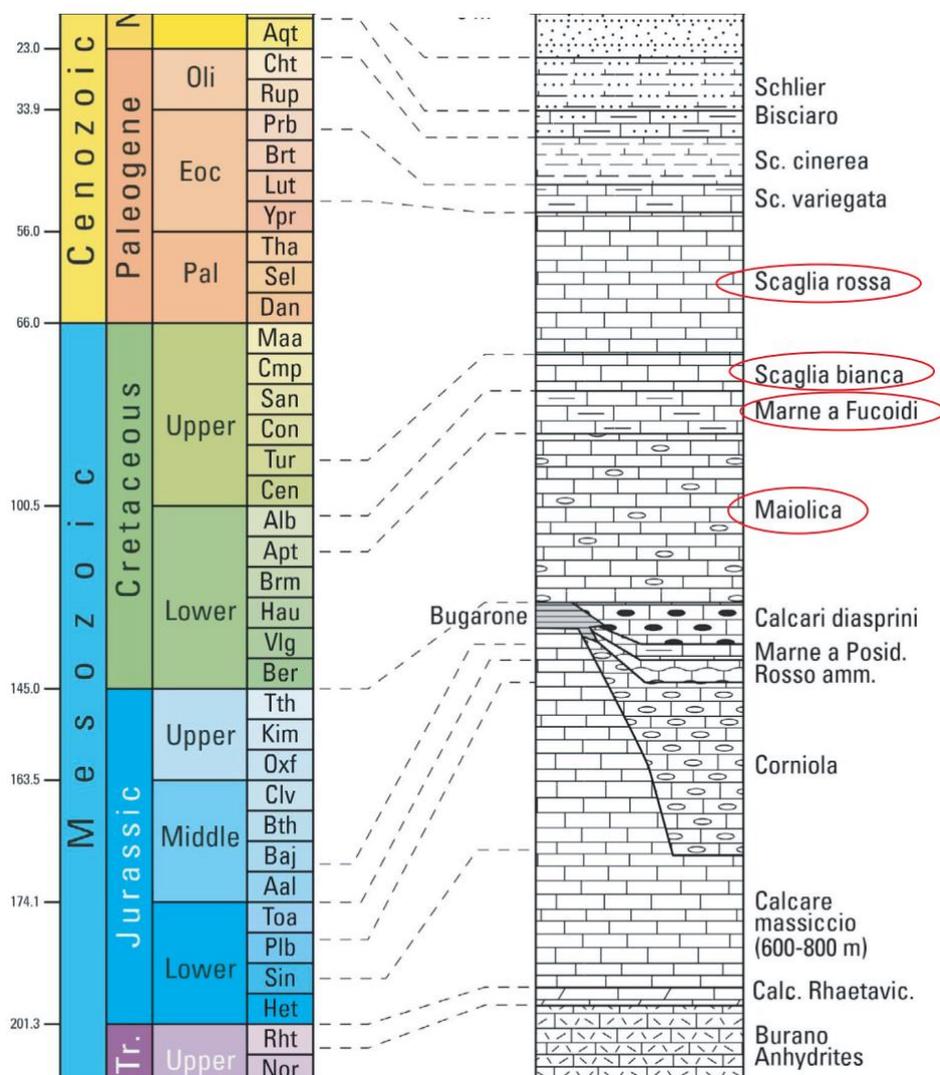


Figura 7: Stralcio della colonna stratigrafica dell’Appennino umbro-marchigiano ([24] ridisegnato). In rosso le formazioni presenti nella zona della centrale e nei suoi dintorni.

6. GEOMORFOLOGIA

L'area si situa nell'Appennino Umbro-Marchigiano nel tratto inciso dal corso del Fiume Chienti. L'impianto di Valcimarra ed i due serbatoi che lo alimentano (Fiastrone e Polverina) appartengono infatti al bacino idrografico del Fiume Chienti un importante corso d'acqua costituito da due rami (Chienti di Gelagna e Chienti di Pieve Torina) che confluiscono nei pressi della Maddalena di Muccia a monte dell'invaso di Polverina. La centrale di Valcimarra si situa lungo le sponde in destra idrografica nel tratto ad andamento circa ESE-ONO poco a monte del lago di Borgiano.

Il versante in destra nel tratto che dalla centrale sale al pozzo piezometrico della derivazione Fiastrone si presenta piuttosto acclive con pendenza media di circa 33° e con settori che raggiungono i 65°. Localmente sono presenti pareti subverticali in corrispondenza di pareti rocciose affioranti.

6.1 Cartografia degli Enti

Per quanto concerne la valutazione della stabilità geomorfologica è stato fatto riferimento alle informazioni disponibili nei database pubblici quali:

- l'Inventario dei Fenomeni Franosi Italiani (IFFI) [20]
- il Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)
- dati di Interferometria satellitare forniti dal Ministero dell'Ambiente

6.1.1 Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale - Inventario Fenomeni Franosi Italiani - Progetto IFFI

L'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (IFFI) rappresenta la banca dati nazionale e ufficiale sulle frane. È realizzato da ISPRA in collaborazione con le Regioni e Province Autonome (art. 6 comma g della L. 132/2016) ed è consultabile online sulla piattaforma dedicata Idrogeo [20]. Ad ogni frana è associata una scheda per la descrizione delle caratteristiche generali del dissesto (quali ubicazione e descrizione), la classificazione del tipo di movimento, lo stato di attività ed altri elementi quali morfometria, esposizione, uso del suolo, datazione dell'evento e metodologia di rilievo, danni riscontrati, esposizione al rischio di persone ed edifici, la presenza di indagini ed eventuali interventi oltre ad informazioni geologico idrogeologiche.

La cartografia tematica del database IFFI riporta per l'area in esame alcuni fenomeni franosi attorno alla Centrale di Valcimarra. In **Tabella 1** sono indicate le caratteristiche dei dissesti numerati in **Figura 8**. Si tratta di frane di scivolamento rotazionale e di crollo mentre una Deformazione Gravitativa Profonda è segnalata circa 1 km ad est della centrale. Tutti i dissesti segnalati non interferiscono con le opere, solo il "dissesto 1" si colloca nei pressi dell'area interessando parte delle vecchie viabilità di servizio. Tale frana, indicata come attiva/riattivata/sospesa da IFFI, è interpretata come quiescente in seguito ai dati di rilevamento geologico e di interferometria Satellitare InSar e come tale rappresentata nella Carta geologico-geomorfologica generale.

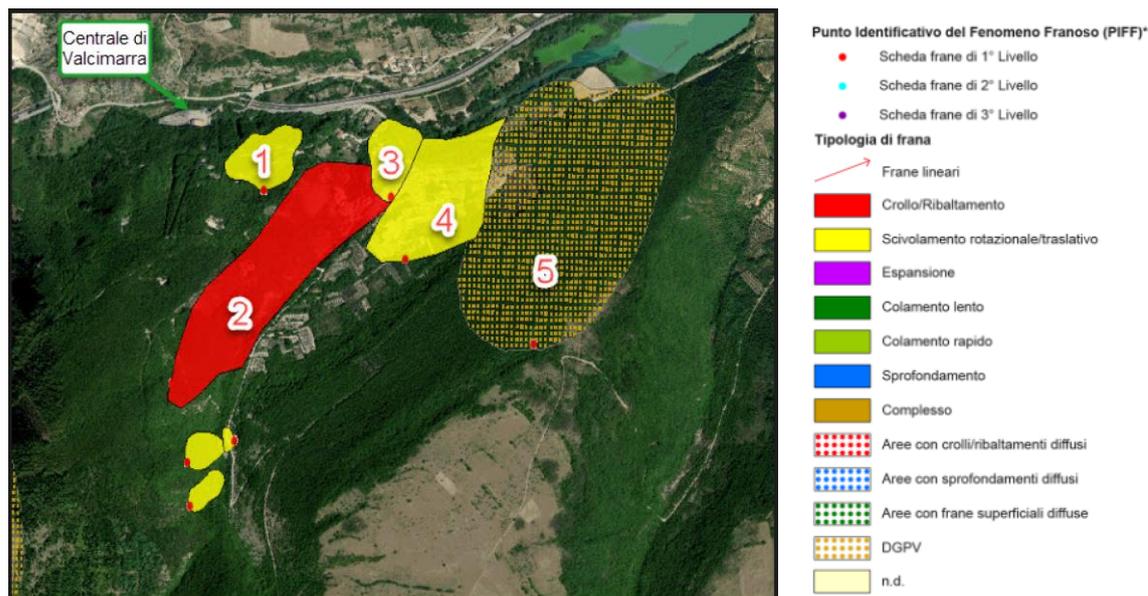


Figura 8: Stralcio della Carta Inventario dei Fenomeni FranosI Progetto IFFI (da ISPRA) [20]. In figura i dissesti presenti nella BD sono numerati come in tabella **Tabella 1** ed è indicata la posizione della Centrale di Valcimarra

| ID Fig.8 | ID Frana IFFI | Comune | Autorità di Distretto | Tipo di movimento | Attività | Metodo usato per la valutazione del movimento e dell'attività | Data |
|----------|---------------|-----------|-----------------------|--|---------------------------|---|-----------|
| 1 | 0430218600 | Caldarola | Appennino Centrale | Scivolamento rotazionale/traslattivo | Attivo/riattivato/sospeso | Fotointerpretazione/Rilevamento sul terreno | 1999-2001 |
| 2 | 0430700800 | Caldarola | Appennino Centrale | Crollo/ribaltamento | Attivo/riattivato/sospeso | Segnalazione | 2001 |
| 3 | 0481464200 | Caldarola | Appennino Centrale | Scivolamento rotazionale/traslattivo | Attivo/riattivato/sospeso | Rilevamento/Foto interpretazione | 1999-2001 |
| 4 | 0430840800 | Caldarola | Appennino Centrale | Scivolamento rotazionale/traslattivo | Attivo/riattivato/sospeso | Dato storico/archivio | 1999-2001 |
| 5 | 0430668200 | Caldarola | Appennino Centrale | Deformazione Gravitativa Profonda (D.G.P.V.) | Attivo/riattivato/sospeso | Segnalazione | 2001 |

Tabella 1: caratteristiche principali dei dissesti della Banca Dati IFFI

6.1.2 Piano Assetto Idrogeologico – PAI

Relativamente alla tematica delle frane sono state consultate le cartografie del Piano per l'Assetto Idrogeologico PAI vigente relativo ai Bacini Marchigiani presenti sul sito dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale nel quale ricade la zona di studio.

In particolare sono state acquisite le Tavole RI_56b e 57c, adiacenti tra loro, e rappresentate assieme in **Figura 9**, Le frane sono indicate da una sigla dove la lettera iniziale indica la tipologia di rischio (F=frana).

Il settore di interesse risulta in discreto accordo con la cartografia IFFI descritta in precedenza. Le frane presenti nella mappa ricadono in classi di rischio medio o basso. Si sottolinea che zona della centrale risulta esterna a fenomeni di dissesto. La frana più prossima, a rischio moderato, è situata ad est della zona della centrale ed interferisce con parte delle viabilità che risalgono il versante e che permettono l'accesso al pozzo piezometrico ed alle condotte.

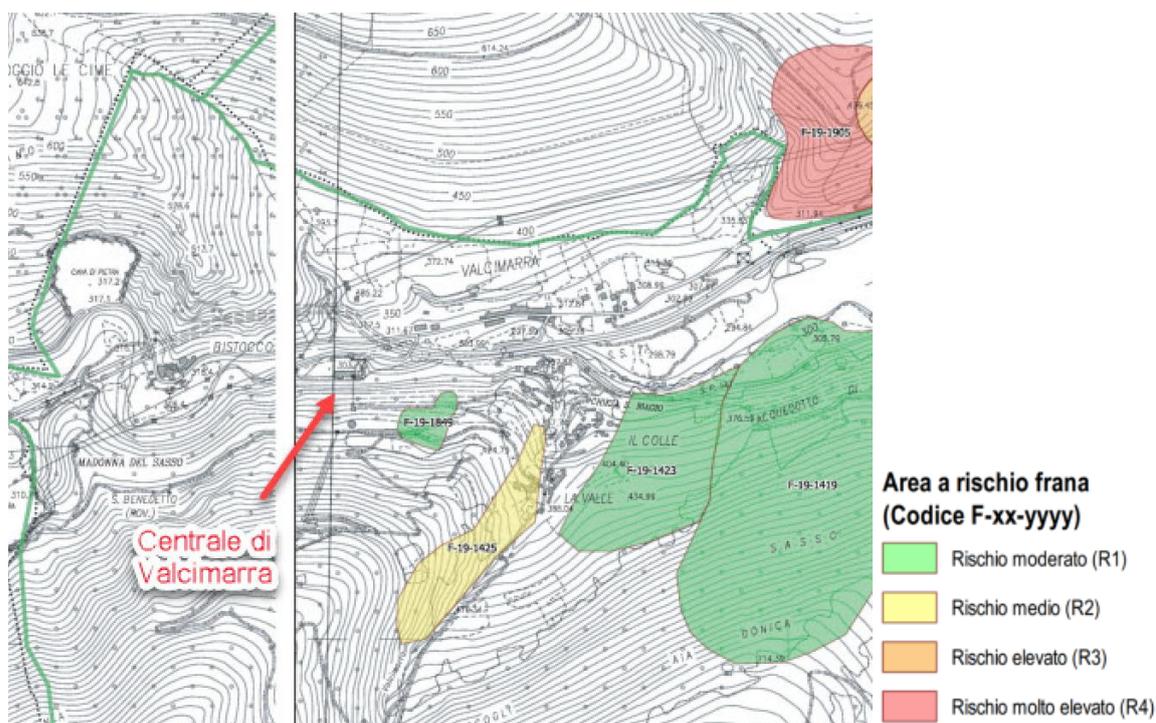


Figura 9: Estratto delle Tavole RI_56b e 57c dell'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Centrale – Bacini marchigiani.

6.1.3 Interferometria Satellitare (Ministero dell'Ambiente)

Sono stati acquisiti e analizzati i dati di Interferometria Radar Satellitare (InSar) del Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale prodotto dal Ministero dell'Ambiente. I dati derivano dall'analisi tecniche di interferometria di immagini radar satellitari acquisite tra il 1992 e il 2014. Si tratta dei

riflettori a terra (Permanent Scatterers) ottenuti dalla elaborazione delle immagini radar in orbita ascendente e discendente dei sensori ERS (1992-2000), ENVISAT (2004-2010) e CSK (2013).

Le velocità di movimento lungo la linea di vista dei satelliti sono illustrate in **Figura 10**. Il cluster dei riflettori identificati indica condizioni sostanzialmente stabili con velocità di spostamento dei PS generalmente incluse tra -2 e +2 mm/anno.

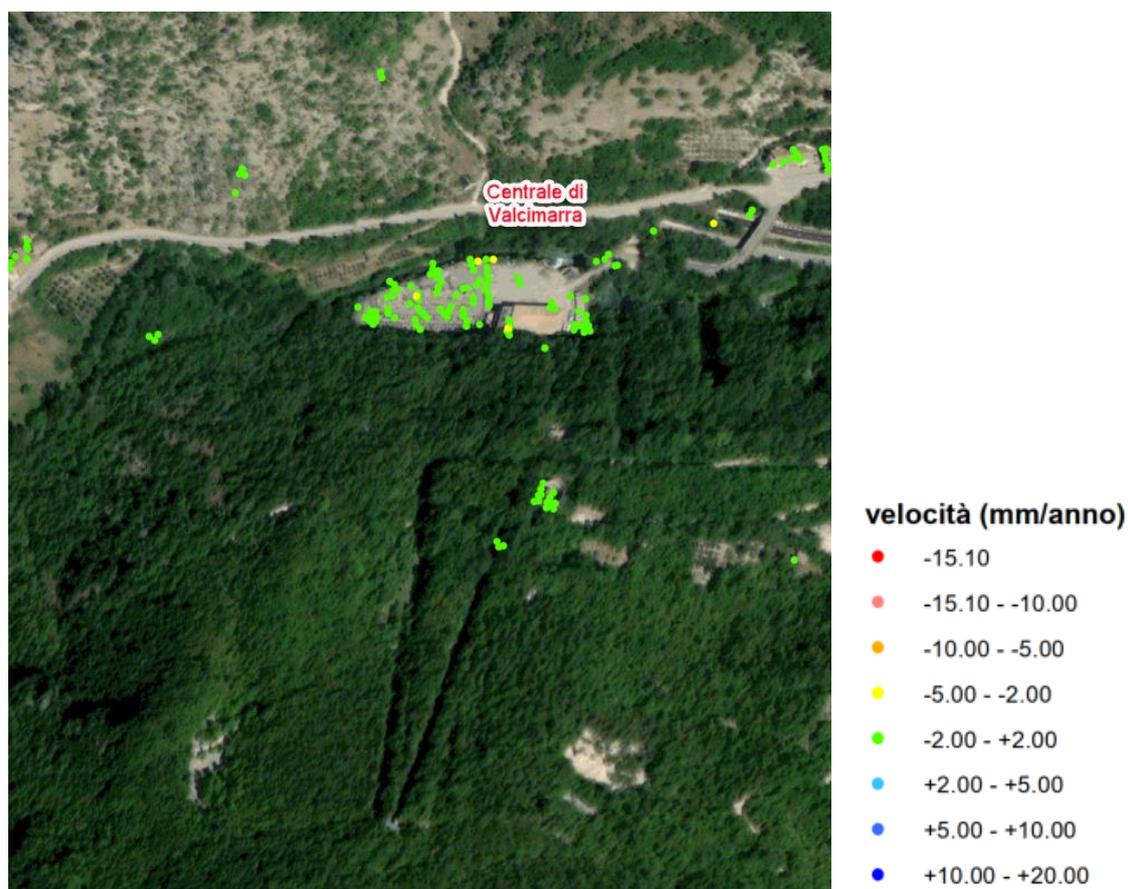


Figura 10: Permanent Scatterers relativi al monitoraggio InSar – Ministero dell’Ambiente. Le velocità sono espresse in mm/anno.

6.2 Forme e depositi

Le forme ed i depositi presenti dell’area di studio sono stati indagati a partire dai dati cartografici disponibili a tema geomorfologico [13] seguiti da osservazione di immagini satellitari multitemporali e da analisi dei Modelli Digitali del Terreno ad 1m e a 20 cm come descritto nel **Capitolo 3**. I dati sono stati successivamente verificati ed integrati nel corso dei rilievi di campagna.

Gli elementi riconosciuti sono rappresentati nelle cartografie di progetto [39][40].

In particolare sono state mappate le seguenti forme e depositi :

- le scarpate morfologiche, le scarpate fluviali e quelle antropiche;

- le frane il cui stato di attività è stato valutato avvalendosi anche dei dati di Interferometria Satellitare;
- gli elementi antropici (centrale di Valcimarra e manufatti antropici).

Relativamente alle frane si segnalano tre dissesti quiescenti posti ad est della centrale riconosciuti tramite analisi delle immagini satellitari multitemporali (**Figura 11**). Questi dissesti si presentano allungati in direzione N-S formando dei canali di dimensioni massime 20 m ca di larghezza e 80 m ca di lunghezza. Le frane sono del tipo di crollo e successivo scivolamento dei blocchi lungo versante. Tali frane non interferiscono con le opere in progetto ma segnalano una predisposizione del versante allo sviluppo di fenomeni di crollo nelle sue porzioni più acclivi.



Figura 11: Immagini satellitari del versante nel tratto ad est della centrale (da Google Earth). In alto immagine riferita all'anno 2004, in basso dettaglio del versante nel 2016 con indicate le aree dove si sono sviluppati i dissesti

Un dissesto attivato dal terremoto della Valnerina dell'ottobre 2016 è presente sul versante circa 120 metri a sud est del pozzo piezometrico della derivazione Fiastrone **Figura 12**..

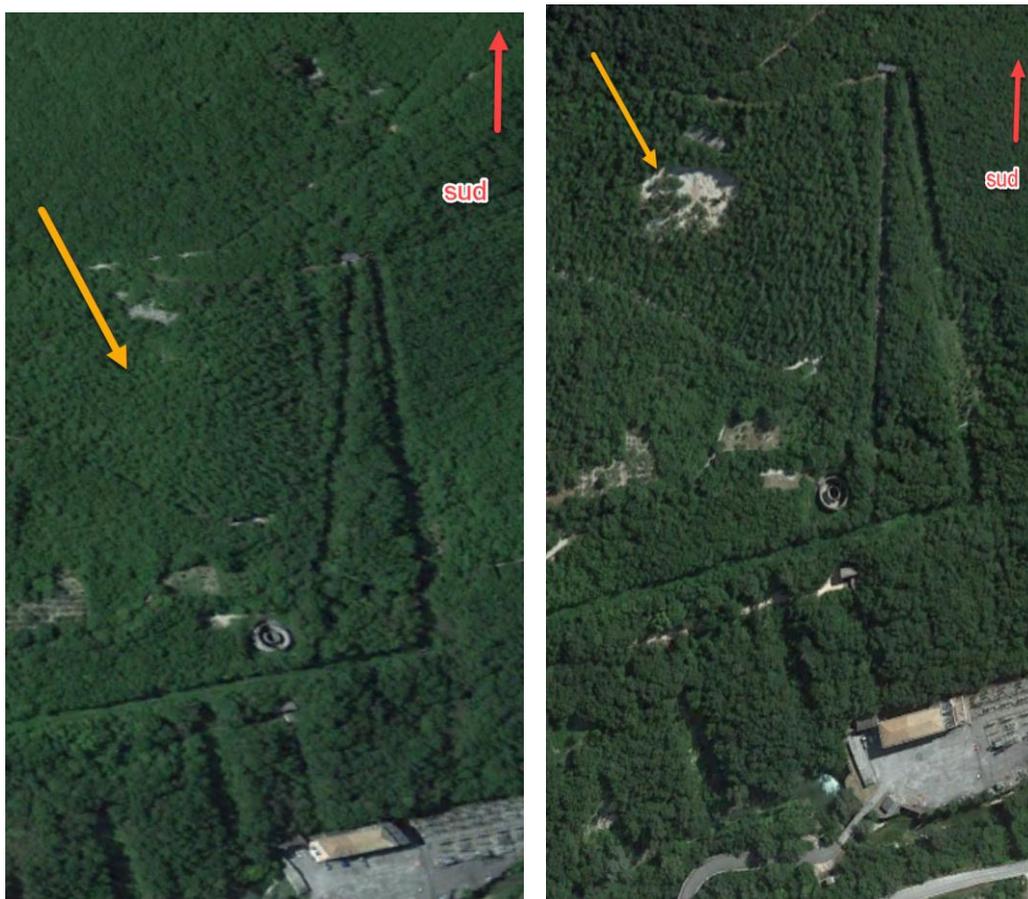


Figura 12: Sviluppo della frana situata sul versante ad est delle opere esistenti. A sinistra lo stato nel maggio 2016, a destra nell'agosto 2017.

Nel corso del sopralluogo si sono notate lesioni nelle murature dell'edificio della camera a valvole (derivazione Polverina) posta poco a monte della centrale. Tali lesioni potrebbero essere connesse al forte terremoto del 2016 con epicentro in Valnerina (v. par 8.2.)



Figura 13: Lesione nel muro dell'edificio della camera a valvole dell'impianto Polverina

7. MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

La centrale di Valcimarra è collocata in destra del Fiume Chienti in un settore caratterizzato dalle rocce della Successione calcareo-marnosa Umbro Marchigiana ivi rappresentata dalla formazione della Maiolica, all'interno della quale verranno realizzati gli scavi della nuova centrale e delle gallerie di accesso e fuga.

Il modello geologico di riferimento è stato sviluppato in base ai risultati dei rilievi di terreno ed alle informazioni estratte dai documenti bibliografici raccolti. In particolare il rilevamento geologico in sito si è sviluppato a partire dalla carta geologica regionale di Regione Marche (scala 1:10.000) [12] e dalle informazioni stratigrafiche dell'adiacente Carta Geologica d'Italia F. 302 "Tolentino" alla scala 1:50.000 [19].

Il modello viene illustrato per mezzo di una carta geologico-geomorfologica generale (Tavola GRE.EEC.D.29.IT.H.53223.00.107.00) e di una carta geologico-geomorfologica di dettaglio (**Figura 14** e Tavola GRE.EEC.D.29.IT.H.53223.00.108.00) oltre che da una sezione geologica generale lungo il versante (**Figura 15** Tavola GRE.EEC.D.29.IT.H.53223.00.109.00) e due sezioni geologico-geotecniche, una trasversale ed una longitudinale della nuova centrale, (**Figura 16** e **Figura 17** e Tavola GRE.EEC.D.29.IT.H.53223.00.110.00)

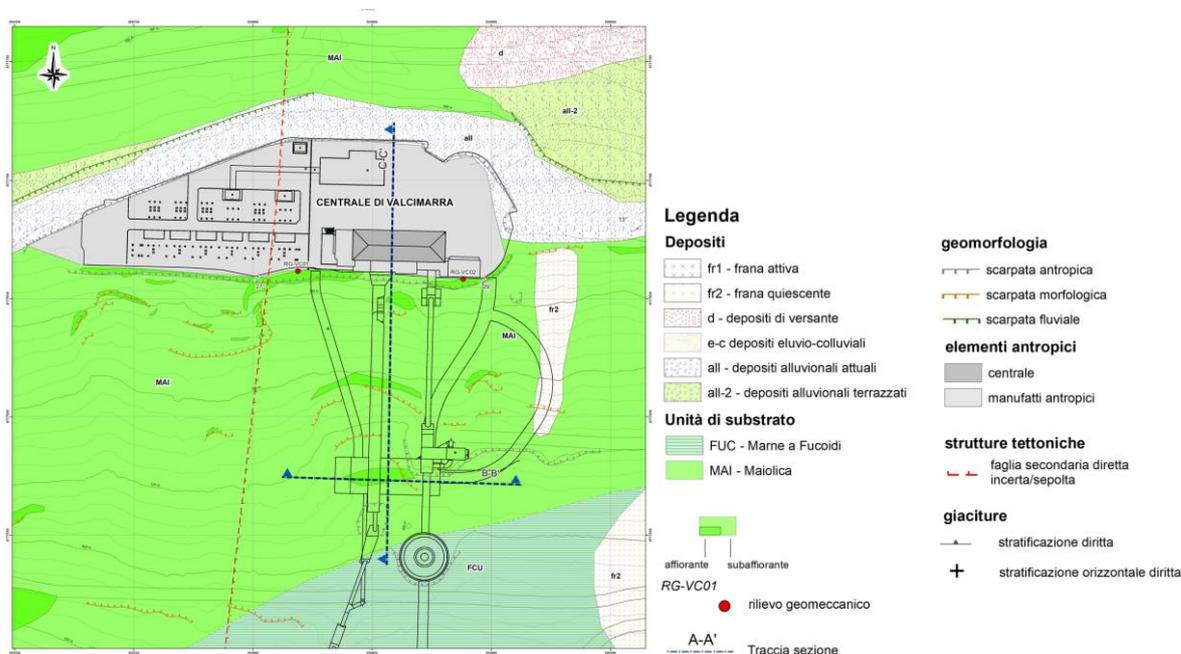


Figura 14: Mappa geologico-geomorfologica di dettaglio

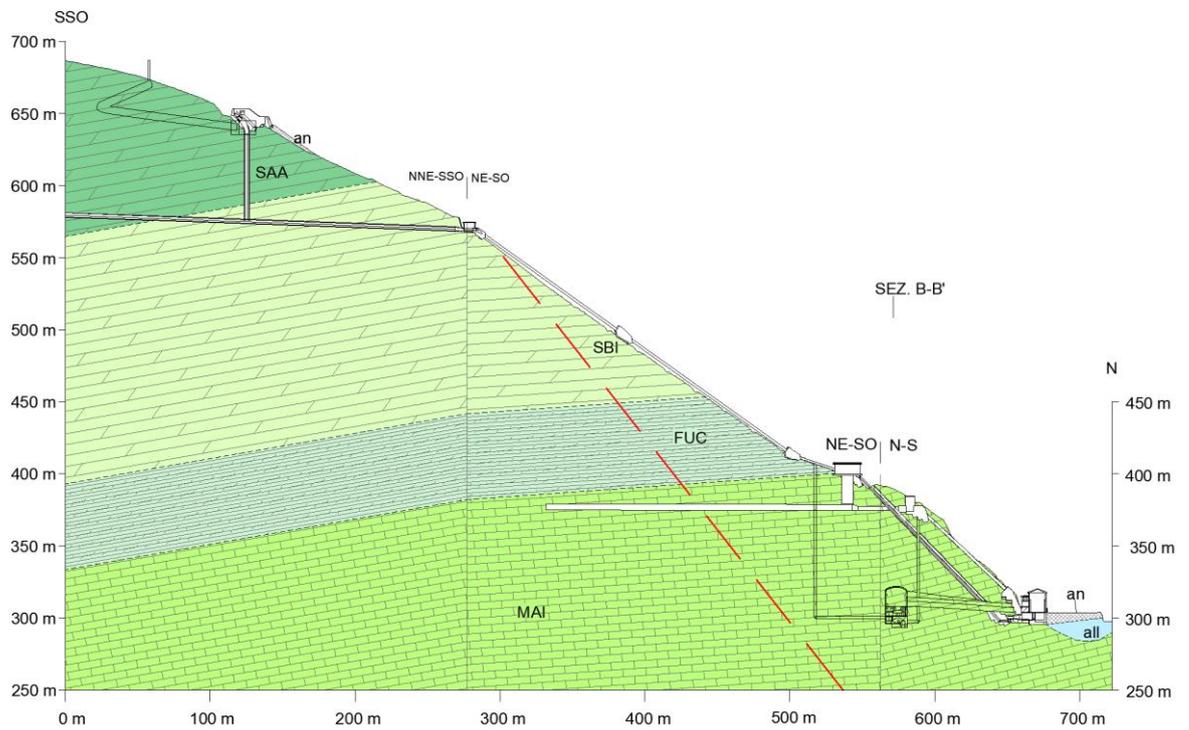


Figura 15: Sezione geologica generale lungo il versante

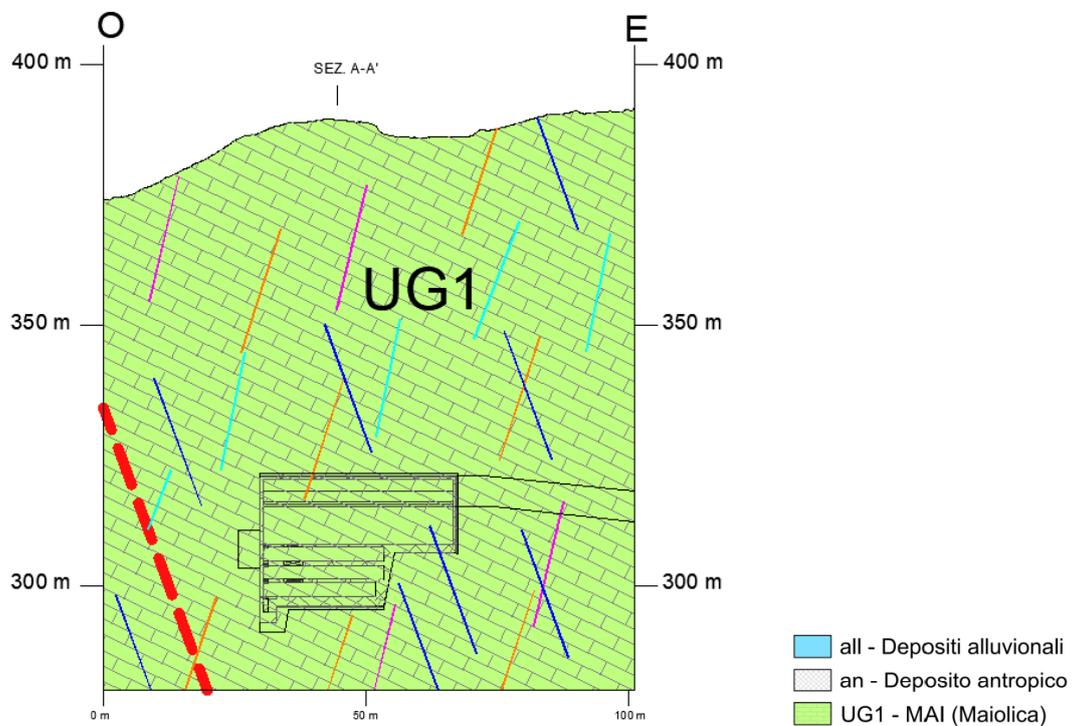


Figura 16: Sezione geologico-geotecnica longitudinale lungo la centrale in progetto

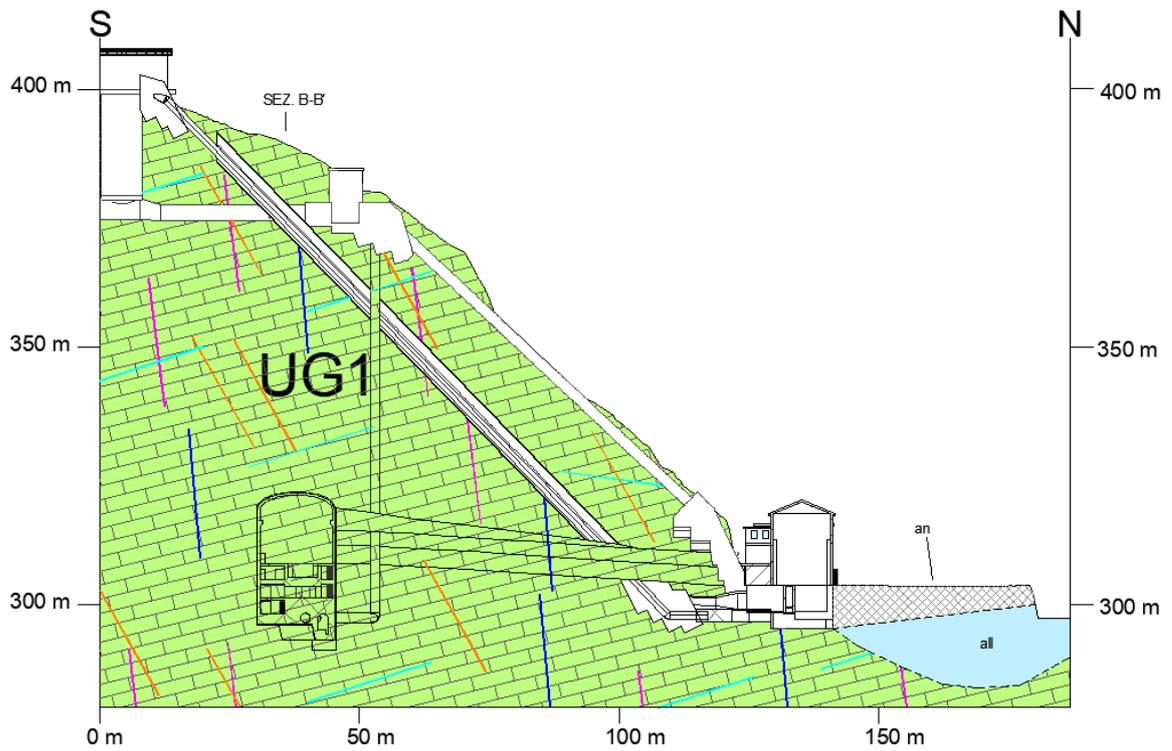


Figura 17: Sezione geologico-geotecnica trasversale lungo la centrale in progetto

La formazione della Maiolica risulta costituita da calcari micritici bianchi talora a frattura concoide, in strati da sottili a spessi con liste e noduli di selce da chiara a grigio nerastra. (**Figura 18** e **Figura 19**).



Figura 18: Affioramenti di Maiolica attorno alla centrale di Valcimarra



Figura 19: Noduli di selce nella formazione della Maiolica nella zona della centrale

L'assetto strutturale della formazione è stato definito tramite i rilievi geomeccanici RG-VC01 e RG-VC02 eseguiti sugli affioramenti esposti a tergo della centrale di Valcimarra nei pressi degli spigoli est ed ovest dell'edificio. Sono state identificate 4 famiglie di discontinuità principali le cui caratteristiche sono sintetizzate di seguito e nello *stereoplot* di **Figura 20**

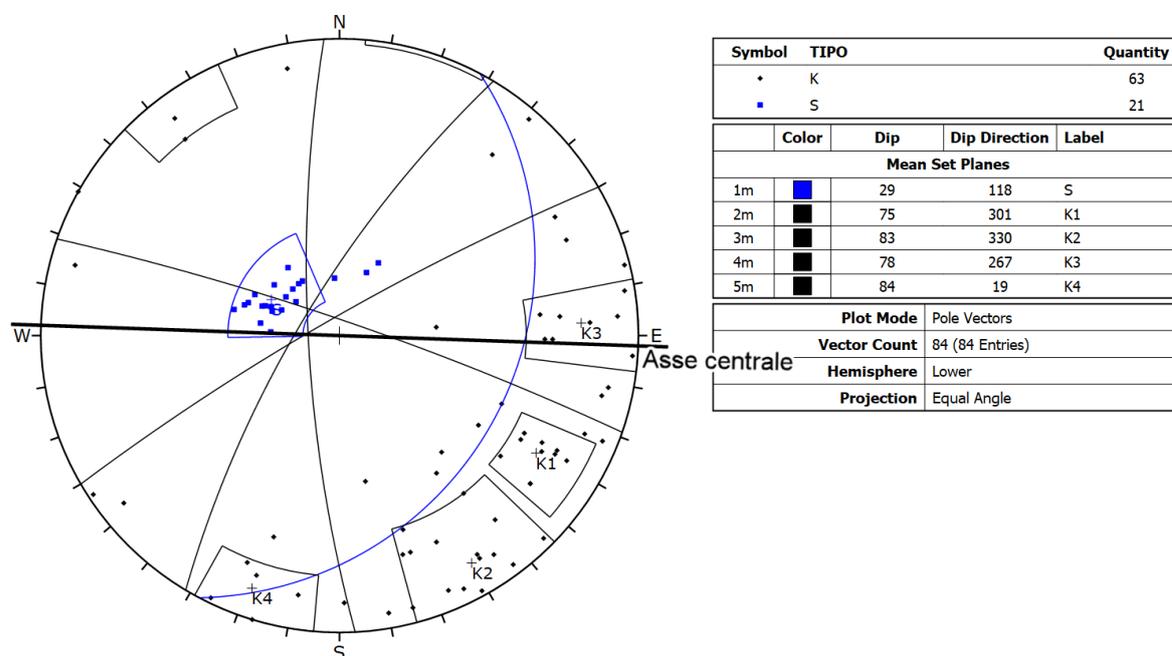


Figura 20: *Stereoplot* delle discontinuità misurate nei due rilievi geomeccanici prossimi alla centrale nei calcari della Maiolica

Nel dettaglio:

- stratificazione: orientazione media $118/29^\circ$, spaziatura decimetrica e persistenza plurimetrica e leggermente ondulate.
- K1: orientazione media di $301/75^\circ$, spaziatura e persistenza da decimetrica a metrica.
- K2: orientazione media di $330/83^\circ$ spaziatura e persistenza da decimetrica a metrica.
- K3: orientazione media $267/78^\circ$ spaziatura e persistenza da decimetrica a metrica.
- K4: $019/84$ spaziatura e persistenza da decimetrica a metrica.

Nelle sezioni geologico-geotecniche vengono rappresentati con diverso colore la stratificazione e le famiglie di discontinuità.

Il versante a tergo della centrale esistente si presenta particolarmente acclive nel tratto che sale verso il pozzo piezometrico della derivazione Polverina (**Figura 21**) con presenza di numerose scarpate morfologiche con pareti di roccia subverticali (Tavole GRE.EEC.D.29.IT.H.53223.00.107.00 e GRE.EEC.D.29.IT.H.53223.00.108.00). Tale acclività determina una generale predisposizione del versante allo sviluppo di fenomeni di crollo che in fase di scavo potrebbero interessare i portali di accesso alla centrale in caverna nonché l'edificio della centrale esistente.



Figura 21: Immagine tridimensionale del versante sovrastante la centrale di Valcimarra (da Google Earth)

7.1 Incertezze del modello geologico

La ricostruzione del modello geologico presenta dei margini di incertezza legati all'assenza di indagini dirette ed indirette oltre alla relativamente modesta presenza di affioramenti nell'area di interesse.

In particolare si sottolineano i seguenti aspetti:

- Incertezza sulla posizione della faglia ad andamento circa N-S situata ad ovest della centrale ed indicata in carta geologica e nei profili geologici. Questa faglia, presente nei documenti bibliografici [12] e riconosciuta in sinistra del fiume Chienti, non è stata osservata nel rilievo in campagna. Tuttavia, cautelativamente, il suo andamento presunto è stato ricostruito con criterio geometrico in carta geologica e la sua posizione in sottterraneo è stata rappresentata nelle sezioni geologiche. L'incertezza nella posizione di tale struttura è stimata in alcune decine di metri.
- Fenomeni carsici: anche se nella zona di studio non sono state osservate grotte o evidenze di fenomeni di dissoluzione, la bibliografia [28] segnala che nel territorio regionale sono presenti varie cavità carsiche nelle formazioni della Maiolica e della Scaglia s.l. Pertanto, anche se queste forme di norma si presentano di modeste dimensioni e limitato sviluppo, in questa fase di studio non si può escludere a priori la loro esistenza in corrispondenza delle opere in progetto.
- Non è nota la posizione della falda freatica all'interno del versante. Tale aspetto dovrà essere indagato tramite sondaggi geognostici al cui interno inserire tubazioni piezometriche. Allo stesso modo dovranno essere valutate tramite indagini dirette le condizioni di permeabilità dell'ammasso.

8. SISMICITA'

8.1 Sismicità Storica (DBMI15)

I dati relativi alla sismicità storica sono stati ottenuti dal Database Macrosismico Italiano (DBMI15, Locati et al., 2019) [30]. Il Database consultato è il DBMI v4.0 e fornisce un set di dati di intensità macrosismica relativo ai terremoti italiani aggiornato alla finestra temporale 1000-2020. La versione 4.0 del Database Macrosismico Italiano DBMI15 è stata rilasciata a gennaio 2022 e aggiorna e sostituisce la precedente versione 3.0 (Locati et al., 2021) che venne pubblicata a gennaio 2021. I dati provengono da studi di autori ed enti diversi, sia italiani che di paesi confinanti (Francia, Svizzera, Austria, Slovenia e Croazia). La finalità del DB è fornire dati per la determinazione dei parametri epicentrali dei terremoti (localizzazione e stima della magnitudo) per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI). Il DB permette inoltre di elaborare le "storie sismiche" di migliaia (15343) di località italiane cioè l'elenco degli effetti di avvertimento o di danno, espressi in termini di gradi di intensità macrosismica, osservati nel corso del tempo a causa di terremoti.

Si riporta il dettaglio dei terremoti avvertiti in località Caldarola situata circa 4,5 km a est della Centrale di Valcimarra riassunti in **Figura 22** e **Tabella 2**

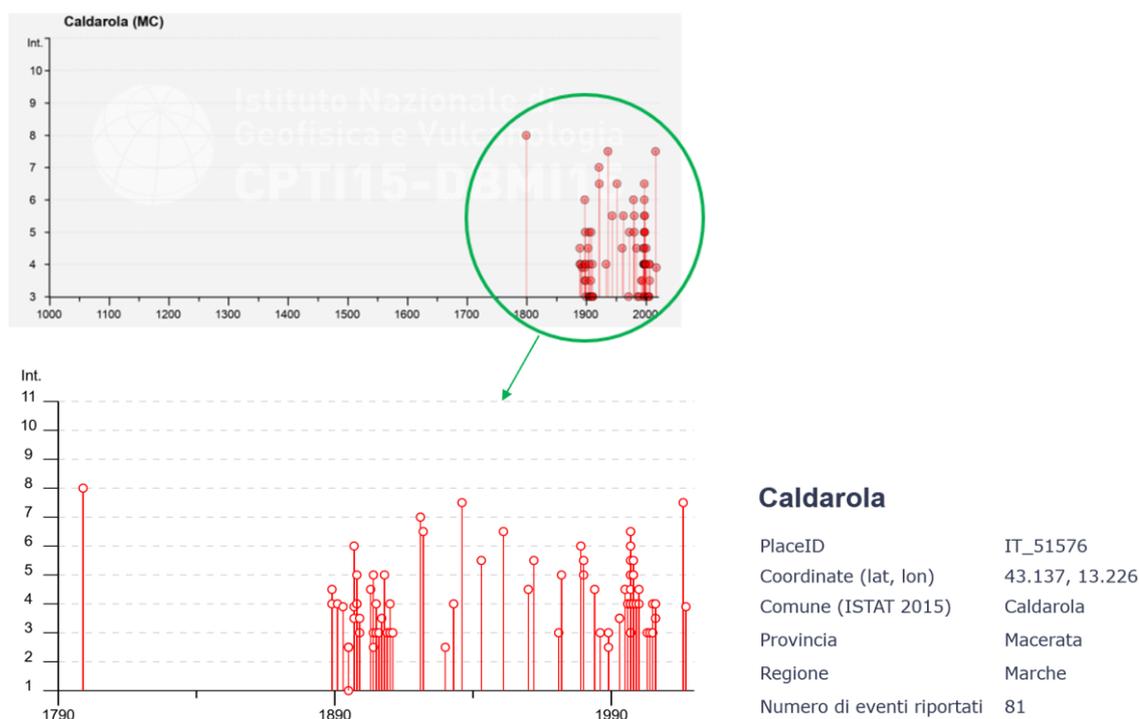


Figura 22: Grafico della intensità degli 81 terremoti avvertiti a Caldarola nel periodo 1000-2020. In basso il dettaglio degli eventi dal 1790 al 2020.

Nella tabella seguente sono riportate le caratteristiche principali dei terremoti con intensità epicentrale uguale o superiore a 3, ovvero i valori relativi alla intensità al sito, il tempo all'origine (anno, mese,

giorno), l'area epicentrale, le sue coordinate, la profondità se calcolata, l'intensità epicentrale e la magnitudo momento (Mw).

| Int. at place | Year | Mo | Da | EpicentralArea | LatDef | LonDef | DepDef | IoDef | MwDef |
|---------------|------|----|----|-----------------------------|--------|--------|--------|-------|-------|
| 8 | 1799 | 7 | 28 | Appennino marchigiano | 43.193 | 13.151 | | 9 | 6.18 |
| 7-8 | 1936 | 12 | 9 | Caldarola | 43.145 | 13.223 | | 6-7 | 4.76 |
| 7-8 | 2016 | 10 | 30 | Valnerina | 42.83 | 13.109 | 10 | | 6.61 |
| 7 | 1921 | 8 | 28 | Monti Sibillini | 43.12 | 13.253 | | 7 | 4.66 |
| 6-7 | 1922 | 6 | 8 | Valle del Chienti | 43.148 | 13.286 | | 6 | 4.73 |
| 6-7 | 1951 | 9 | 1 | Monti Sibillini | 43.029 | 13.288 | | 7 | 5.25 |
| 6-7 | 1997 | 9 | 26 | Appennino umbro-marchigiano | 43.022 | 12.891 | 3.5 | 7-8 | 5.66 |
| 6 | 1897 | 9 | 21 | Marche settentrionali | 43.706 | 12.966 | | 7 | 5.4 |
| 6 | 1979 | 9 | 19 | Valnerina | 42.73 | 12.956 | | 8-9 | 5.83 |
| 6 | 1997 | 9 | 26 | Appennino umbro-marchigiano | 43.014 | 12.853 | 9.8 | 8-9 | 5.97 |
| 5-6 | 1943 | 10 | 3 | Ascolano | 42.94 | 13.626 | | 8 | 5.67 |
| 5-6 | 1962 | 10 | 5 | Appennino maceratese | 43.159 | 13.197 | | 5-6 | 4.35 |
| 5-6 | 1980 | 5 | 24 | Monti Sibillini | 43.087 | 13.19 | | 5-6 | 4.48 |
| 5-6 | 1997 | 10 | 3 | Appennino umbro-marchigiano | 43.042 | 12.824 | 12 | | 5.22 |
| 5-6 | 1998 | 3 | 26 | Appennino umbro-marchigiano | 43.145 | 12.809 | 44.8 | | 5.26 |
| 5 | 1898 | 11 | 27 | San Ginesio | 43.132 | 13.139 | | 5-6 | 4.39 |
| 5 | 1904 | 9 | 2 | Maceratese | 43.035 | 13.301 | | 5-6 | 4.63 |
| 5 | 1908 | 3 | 17 | Marche meridionali | 43.129 | 13.339 | | 5-6 | 4.61 |
| 5 | 1972 | 11 | 26 | Marche meridionali | 42.967 | 13.454 | | 8 | 5.48 |
| 5 | 1980 | 2 | 28 | Valnerina | 42.8 | 12.967 | | 6 | 4.97 |
| 5 | 1997 | 10 | 6 | Appennino umbro-marchigiano | 43.027 | 12.846 | 3.9 | | 5.47 |
| 5 | 1997 | 10 | 14 | Valnerina | 42.898 | 12.898 | 7.3 | | 5.62 |
| 5 | 1998 | 3 | 21 | Appennino umbro-marchigiano | 42.948 | 12.914 | 1 | | 5 |
| 5 | 1998 | 4 | 5 | Appennino umbro-marchigiano | 43.189 | 12.767 | 4.4 | | 4.78 |
| 4-5 | 1889 | 11 | 28 | Monti Sibillini | 42.814 | 13.404 | | 4-5 | 4.19 |
| 4-5 | 1903 | 11 | 2 | Valnerina | 42.794 | 13.074 | | 6 | 4.81 |
| 4-5 | 1960 | 2 | 24 | Appennino umbro-marchigiano | 43.211 | 12.995 | | 5 | 4.32 |
| 4-5 | 1984 | 4 | 29 | Umbria settentrionale | 43.262 | 12.525 | | 7 | 5.62 |
| 4-5 | 1995 | 12 | 30 | Fermano | 43.173 | 13.542 | 5 | 5 | 4.19 |
| 4-5 | 1997 | 11 | 9 | Valnerina | 42.846 | 12.988 | 1.5 | | 4.87 |
| 4-5 | 2000 | 10 | 24 | Monti Sibillini | 43.002 | 13.251 | 20.8 | 5 | 4.11 |
| 4 | 1889 | 12 | 8 | Gargano | 41.83 | 15.688 | | 7 | 5.47 |
| 4 | 1891 | 6 | 7 | Valle d'Ilasi | 45.564 | 11.165 | | 8-9 | 5.87 |
| 4 | 1898 | 6 | 27 | Reatino | 42.414 | 12.903 | | 8 | 5.5 |
| 4 | 1898 | 8 | 25 | Valnerina | 42.895 | 12.994 | | 7 | 5.03 |
| 4 | 1905 | 11 | 30 | Caldarola | 43.158 | 13.22 | | 4 | 3.7 |
| 4 | 1910 | 12 | 26 | Monti della Laga | 42.68 | 13.184 | | 5-6 | 4.56 |
| 4 | 1933 | 9 | 26 | Maiella | 42.079 | 14.093 | | 9 | 5.9 |
| 4 | 1996 | 1 | 1 | Maceratese | 43.061 | 13.445 | 0.1 | 5-6 | 4.2 |
| 4 | 1996 | 1 | 22 | Fermano | 43.103 | 13.585 | 0.1 | 5 | 3.96 |
| 4 | 1997 | 9 | 7 | Appennino umbro-marchigiano | 43.035 | 12.883 | 4.2 | 5-6 | 4.19 |

| Int. at place | Year | Mo | Da | EpicentralArea | LatDef | LonDef | DepDef | IoDef | MwDef |
|---------------|------|----|----|-----------------------------|--------|--------|--------|-------|-------|
| 4 | 1997 | 10 | 23 | Appennino umbro-marchigiano | 43.027 | 12.923 | 3.1 | | 3.86 |
| 4 | 1998 | 2 | 7 | Appennino umbro-marchigiano | 43.004 | 12.822 | 0.1 | | 4.41 |
| 4 | 1998 | 6 | 2 | Appennino umbro-marchigiano | 43.185 | 12.785 | 3.2 | | 4.25 |
| 4 | 1999 | 11 | 29 | Monti della Laga | 42.834 | 13.174 | 6.5 | 5-6 | 4.15 |
| 4 | 2000 | 9 | 2 | Appennino umbro-marchigiano | 43.174 | 12.922 | 46.1 | 5 | 4.4 |
| 4 | 2005 | 4 | 12 | Maceratese | 43.094 | 13.379 | 4.3 | 4 | 3.74 |
| 4 | 2006 | 10 | 21 | Anconetano | 43.628 | 12.98 | 36.3 | 5 | 4.21 |
| 3-4 | 1897 | 12 | 18 | Alta Valtiberina | 43.498 | 12.382 | | 7 | 5.09 |
| 3-4 | 1899 | 6 | 22 | Corridonia | 43.206 | 13.495 | | 5 | 4.08 |
| 3-4 | 1907 | 1 | 23 | Adriatico centrale | 43.048 | 14.097 | | 5 | 4.75 |
| 3-4 | 1993 | 6 | 4 | Valle del Topino | 43.121 | 12.763 | 5.3 | 5-6 | 4.39 |
| 3-4 | 1993 | 6 | 5 | Valle del Topino | 43.121 | 12.724 | 7.7 | 6 | 4.72 |
| 3-4 | 2006 | 4 | 10 | Maceratese | 43.396 | 13.488 | 33.9 | 5 | 4.06 |
| 3 | 1899 | 4 | 21 | Narni | 42.8 | 12.928 | | 4 | 3.96 |
| 3 | 1904 | 6 | 20 | Assisi | 43.013 | 12.66 | | 5 | 4.1 |
| 3 | 1905 | 12 | 9 | Valle Umbra | 42.843 | 12.701 | | 5 | 4.24 |
| 3 | 1906 | 2 | 5 | Valnerina | 42.722 | 12.86 | | 5 | 4.41 |
| 3 | 1909 | 1 | 13 | Emilia Romagna orientale | 44.579 | 11.688 | | 6-7 | 5.36 |
| 3 | 1910 | 6 | 29 | Valnerina | 42.742 | 12.929 | | 7 | 4.93 |
| 3 | 1910 | 12 | 22 | Monti della Laga | 42.708 | 13.281 | | 5 | 4.3 |
| 3 | 1911 | 2 | 19 | Forlivese | 44.117 | 12.074 | | 7 | 5.26 |
| 3 | 1971 | 4 | 2 | Valnerina | 42.746 | 13.054 | | 6 | 4.5 |
| 3 | 1986 | 10 | 13 | Monti Sibillini | 42.924 | 13.186 | 5.4 | 5-6 | 4.46 |
| 3 | 1989 | 9 | 11 | Marche meridionali | 43.118 | 13.311 | 9.9 | 5 | 4.04 |
| 3 | 1997 | 9 | 3 | Appennino umbro-marchigiano | 43.026 | 12.876 | 5.7 | 6 | 4.54 |
| 3 | 1997 | 9 | 9 | Appennino umbro-marchigiano | 43.03 | 12.888 | 4.3 | 5-6 | 3.78 |
| 3 | 1997 | 9 | 10 | Appennino umbro-marchigiano | 43.031 | 12.892 | 3.8 | 5 | 3.85 |
| 3 | 2003 | 5 | 25 | Ascolano | 42.998 | 13.676 | 5 | 4-5 | 3.81 |
| 3 | 2004 | 12 | 9 | Teramano | 42.79 | 13.791 | 5 | 5 | 4.09 |
| 3 | 2005 | 12 | 15 | Val Nerina | 42.738 | 12.76 | 18.4 | 5 | 4.14 |
| 2-3 | 1895 | 5 | 20 | Valle Umbra | 42.655 | 12.637 | | 5-6 | 4.49 |
| 2-3 | 1895 | 8 | 9 | Adriatico centrale | 42.54 | 15.015 | | 6 | 5.11 |
| 2-3 | 1895 | 8 | 25 | Sellano | 42.811 | 12.84 | | 5 | 4.25 |
| 2-3 | 1904 | 11 | 17 | Pistoiese | 43.965 | 10.821 | | 7 | 5.1 |
| 2-3 | 1930 | 11 | 9 | Monti Sibillini | 42.872 | 13.346 | | 5 | 4.31 |
| 2-3 | 1989 | 12 | 22 | Valle Umbra | 42.991 | 12.706 | 18.4 | 5 | 4.44 |
| NF | 1895 | 5 | 18 | Fiorentino | 43.703 | 11.264 | | 8 | 5.5 |
| F | 1893 | 8 | 2 | Valnerina | 42.608 | 13.002 | | 5-6 | 4.55 |
| F | 1897 | 10 | 28 | Fermano | 43.018 | 13.496 | | 4-5 | 4.16 |
| F | 2017 | 1 | 18 | Aquilano | 42.531 | 13.283 | 9.6 | | 5.7 |

Tabella 2: Estratto da DBMI15 di parte delle informazioni relative ai terremoti avvertiti a Caldarola

Gli eventi di maggiore intensità avvertiti sono legati al terremoto del 1799 nell'Appennino Marchigiano (Int. at place=8) e quelli ad Int.at place=7-8 con epicentro a Caldarola (1936) ed il più recente con epicentro in Valnerina (2016).

8.2 Sismicità recente (dal 1985 al 2020)

Il portale dati dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia [31] permette di ricercare i terremoti registrati e localizzati presso le sale operative dell'INGV a partire dal 1985. I dettagli di ogni evento sismico sono scaricabili e riportano l'identificativo dell'evento, il tempo in cui è avvenuto, le coordinate, la profondità, la fonte del dato, la magnitudo, la località ed il tipo di evento. La magnitudo è espressa per lo più come magnitudo Richter o Magnitudo locale (ML), talora come Magnitudo Durata (Md) e se i dati lo consentono come Magnitudo Momento (Mw). La magnitudo momento si calcola sull'intero sismogramma, deriva dal parametro sismologico del momento sismico legato alle caratteristiche della zona di faglia e rappresenta la migliore stima dell'energia rilasciata da un terremoto.

La **Figura 23** mostra la distribuzione degli epicentri dei terremoti inclusi nel Data Base in un intorno di 30 km dalla Centrale di Valcimarra nel periodo 01/01/1985 e 08/04/2022. In tale area, per l'intervallo di tempo considerato, sono segnalati n.8223 terremoti. Le magnitudo più rappresentate sono comprese tra 2.0 e 3.0. La magnitudo massima è risultata di 5,9 Mw (terremoto del 2016). Le profondità sono comprese tra 0.1 e 71.6 km. In particolare per i terremoti con magnitudo > 4 le profondità si situano tra 3.4 e 14.1 km.

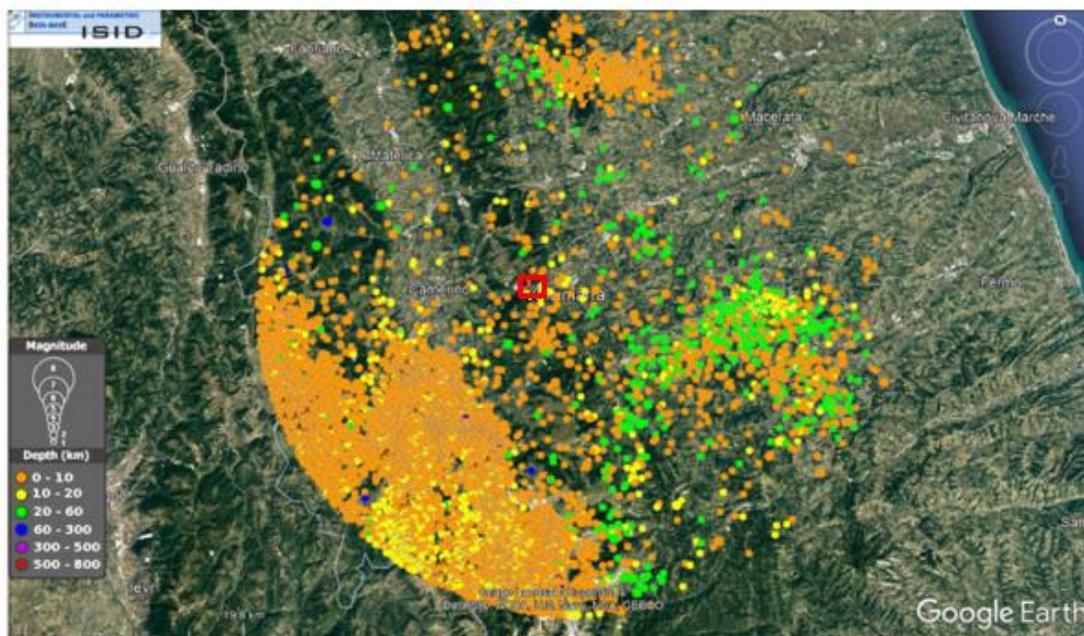


Figura 23: Distribuzione dei terremoti localizzati in tempo reale dall'INGV Centro Nazionale dei Terremoti in un raggio di 30 km dalla Centrale di Valcimarra, in rosso (data base Centro Nazionale Terremoti dati al 08/04/2022).

8.3 Valutazione fagliazione superficiale

Per la valutazione del rischio di fagliazione superficiale in corrispondenza della Centrale Valcimarra si è fatto riferimento, in primo luogo, al catalogo italiano delle faglie capaci ITHACA [32]

Come si osserva in **Figura 24** le faglie capaci più prossime alla centrale sono denominate faglia Centare, a SO, e faglia Serravalle, a NO, e si collocano a distanze rispettivamente di 20 e 21,5 km ca. Si tratta di faglie normali oblique sinistre immergenti ad O e SO. Le loro principali caratteristiche sono riportate nella **Tabella 3**.

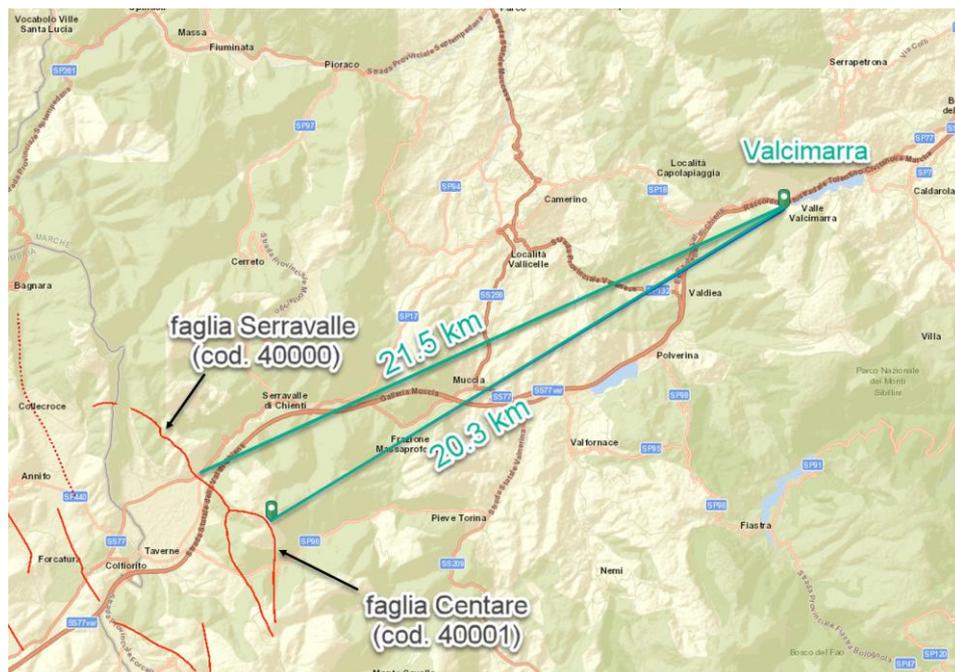


Figura 24: Estratto mappa ITHACA - Catalogo faglie capaci [32] (ridisegnato)

| Codice | Nome | Direzione media (°) | Inclinazione | Direzione di immersione | Lunghezza (km) | Cinematica | Evidenza in superficie | Ultima attività |
|--------|------------|---------------------|--------------|-------------------------|----------------|--------------------|------------------------|------------------|
| 40000 | Serravalle | 160 | non definito | SW | 9.7 | Normale obliqua sx | ND | Storica (< 3000) |
| 40001 | Centare | 170 | non definito | W | 4.9 | Normale obliqua sx | ND | Storica (< 3000) |

Tabella 3: Caratteristiche delle faglie capaci più prossime alla zona di interesse (da ITHACA)

È stato inoltre considerato il Catalogo DISS ver. 3.3.0 (*Database of Individual Seismogenic Sources*) un progetto dell'INGV che censisce e classifica le aree sismogenetiche sul territorio italiano [30]. L'area ricade all'interno della Sorgente Sismogenetica Composita ITCS136 "Urbino-Camerino" ed in particolare all'interno della Sorgente Sismogenetica Individuale ITIS049 "Camerino" (**Figura 25**).

Relativamente alla Sorgente Composita Urbino-Camerino (ITCS136) le informazioni associate al database riportano che essa rappresenta la dorsale esterna del sistema a *thrust* umbro-marchigiano, forse invertito e riattivato nell'attuale regime estensionale. A seguito della sequenza sismica dell'Italia centrale del 2016-17, una crescente quantità di evidenze suggerisce che i sistemi a *thrust* a larga scala, originati dall'orogenesi appenninica durante il Miocene, stanno attualmente sperimentando un'inversione cinematica in regime estensionale (Scognamiglio et al. [37] ; Bonini et al. [16]; Buttinelli et al. [17]). Questo sistema di faglie normali con andamento NO-SE, a basso angolo e inclinazione SO, è il più orientale dell'Appennino centrale in fase di estensione. I cataloghi storici e strumentali (ISIDe Working Group, 2007; Guidoboni et al. [26]; Rovida et al. [36]) mostrano una sismicità da intermedia ($4.5 < M_w < 5.0$) a dannosa molto densa all'interno dell'area, tra cui quelle distruttive del 28 luglio 1799 (M_w 6.2) e 12 marzo 1873 (M_w 5.9) dell'Appennino Marchigiano.

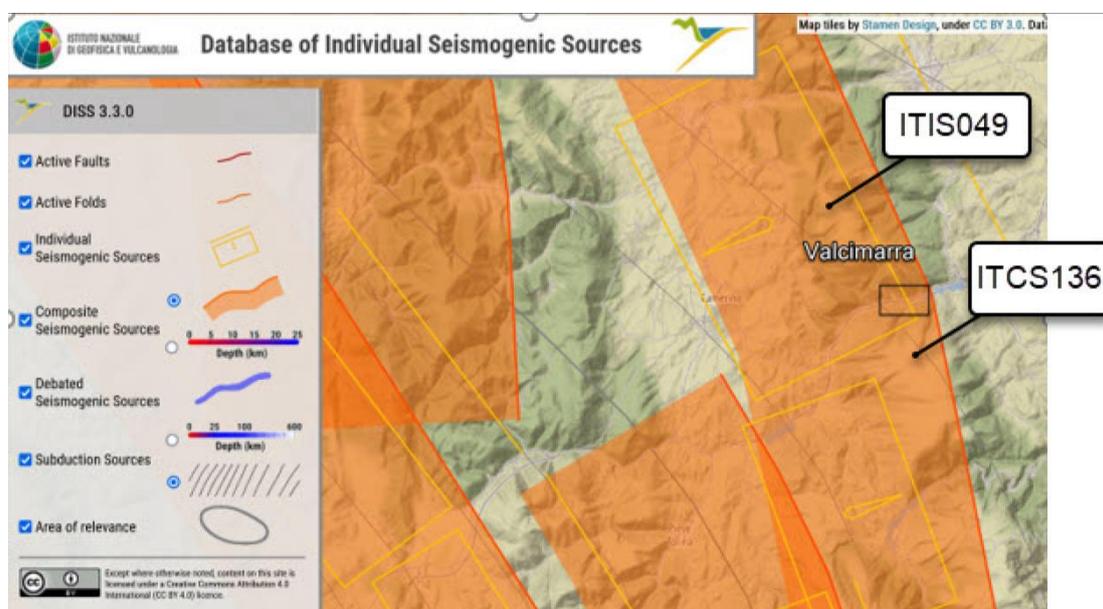


Figura 25: Estratto mappa DISS versione 3.3 – INGV. Catalogo zone sismogenetiche [30] Nel riquadro nero la zona di studio

Alla Sorgente Sismogenetica Individuale Camerino (ITIS049) è attribuito il terremoto del 1799: nel database viene proposto che si situi su un segmento di un importante *thrust* emergente lungo la costa adriatica, riattivato nell'attuale regime estensionale. Questo *thrust* è ben rappresentato nel profilo di riflessione sismica CROP03 (Barchi et al., 1998; Finetti et al., 2001; Lavecchia et al., 2004). Di conseguenza, il segmento attivato del *thrust* è uno degli elementi più grandi del prisma accrezionale della fascia appenninica. Questa sorgente è inclinata verso SW. Lo strike della faglia (153°) è scelto in accordo con l'orientamento generale dei principali *thrust* frontali degli Appennini in quest'area. L'esistenza di questa sorgente sismogenetica individuale si basa sull'analogia geometrica e strutturale con la sorgente causale del più grande evento della sequenza dell'Italia centrale del 2016 (cioè quello del 30 ottobre, M_w 6.5 Norcia)

Sul portale INGV sono inoltre rappresentate le sorgenti sismogenetiche dovute a subduzione (*Subduction Source*) ricostruite da profili geologici profondi. Nel settore di studio è ricostruito l'andamento dell' Arco nord-appenninico che rappresenta l'interfaccia tra la catena appenninica (placca superiore) e la litosfera Adria (Placca inferiore). Questa sorgente è denominata TSD002 ed è collocata a circa 16 km di profondità nella zona di studio (**Figura 26**). Tale discontinuità regionale è stata interpretata come un'importante struttura litosferica, che taglia l'intera crosta dal basamento metamorfico fino ai livelli meno profondi (Barchi et al. [15]; Lavecchia et al. [33] [34]), oppure come uno degli elementi principali del prisma accrezionale della fascia appenninica (Bally et al. [14]; Doglioni et al.[26]). Secondo diversi autori all'interno del prisma di accrezione sono presenti due livelli di distacco il più basso che coincide con la base delle evaporiti triassiche ed il superiore che coincide con il livello delle Marne a Fucoidi o della formazione della Scaglia Cinerea lungo il quale si sviluppano *thrust sheet* minori.

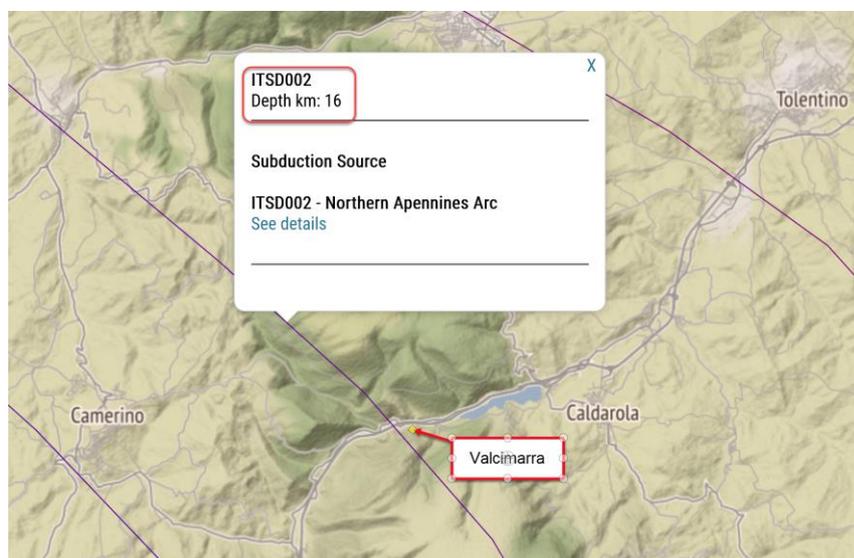


Figura 26: Estratto mappa DISS versione 3.3 – INGV. Catalogo zone sismogenetiche [30] profondità della *Subduction Source* ITSD002 (16 km) nell'area di studio.

8.4 Classificazione e pericolosità sismica

La normativa sismica italiana, entrata in vigore l'8 maggio del 2003 con la pubblicazione sulla G.U. dell'Ordinanza P.C.M. n. 3274 e in seguito aggiornati con l'O.P.C.M. 3519/06, suddivide il territorio italiano in quattro zone sismiche, abbandonando così la precedente terminologia di "categorie sismiche".

I criteri per la classificazione sismica del territorio nazionale, emanati con l'ordinanza P.C.M. n. 3274 del 2003 si basano sull'analisi della probabilità che il territorio venga interessato, in un certo intervallo di tempo (generalmente 50 anni), da un evento che superi una determinata soglia di intensità o magnitudo (**Tabella 4**).

Uno dei cambiamenti fondamentali apportati dalla normativa è stata l'introduzione della zona 4, in questo modo tutto il territorio italiano viene definito come sismico. Di fatto, sparisce il territorio "non classificato", che diviene zona 4, nel quale è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica.

L'appartenenza a ciascuna zona sismica comporta l'adozione di specifiche caratteristiche prestazionali per nuovi edifici e strutture, regolate da opportune norme sismiche contenute nel medesimo provvedimento legislativo, e successive modifiche ed integrazioni.

| | Caratteristiche | Accelerazione (con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni) |
|--------|--|---|
| Zona 1 | È la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti. | $ag > 0.25$ |
| Zona 2 | Nei comuni inseriti in questa zona possono verificarsi terremoti abbastanza forti. | $0.15 < ag \leq 0.25$ |
| Zona 3 | I Comuni interessati in questa zona possono essere soggetti a scuotimenti modesti. | $0.05 < ag \leq 0.15$ |
| Zona 4 | È la meno pericolosa. Nei comuni inseriti in questa zona le possibilità di danni sismici sono basse. | $ag \leq 0.05$ |

Tabella 4: Zone sismiche.

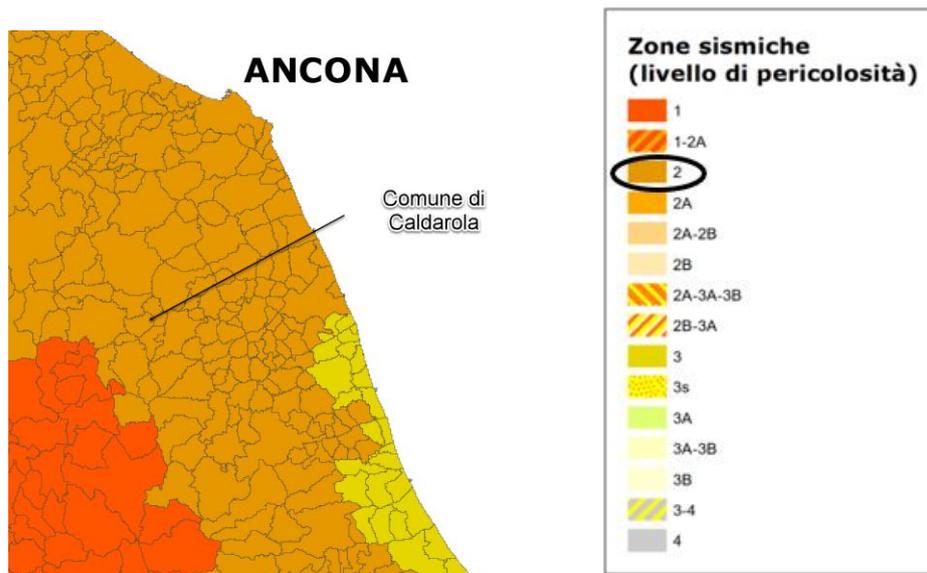
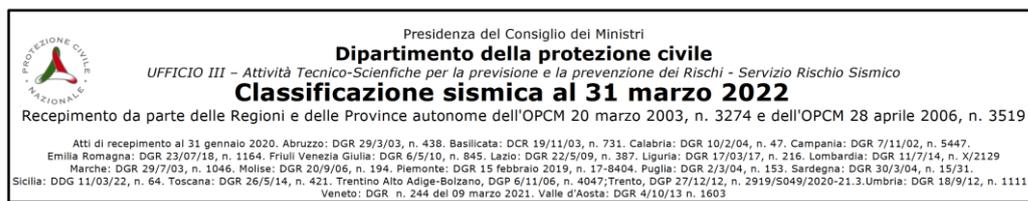


Figura 27: Stralcio della mappa "Classificazione Sismica d'Italia al 31 marzo 2022" relativo al Comune di Caldarola dove si situa la centrale di Valcimarra

Il Comune di Caldarola nel cui territorio ricade la centrale è situato in zona sismica 2 identificata come zona nella quale possono verificarsi terremoti abbastanza forti.

L'accelerazione massima prevista per l'area in esame è definita in base a quanto riportato sul sito dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia relativo al Modello di Pericolosità Sismica MPS04-S1 (Figura 28). La mappa rappresenta il modello di pericolosità sismica per l'Italia ed i colori indicano il valore di scuotimento (PGA=Peak Ground Acceleration) espressa in termini di "g" (accelerazione di gravità) atteso per una probabilità di eccedenza pari al 10% in 50 anni su suolo rigido (classe A, Vs30> 800 m/s) e pianeggiante.

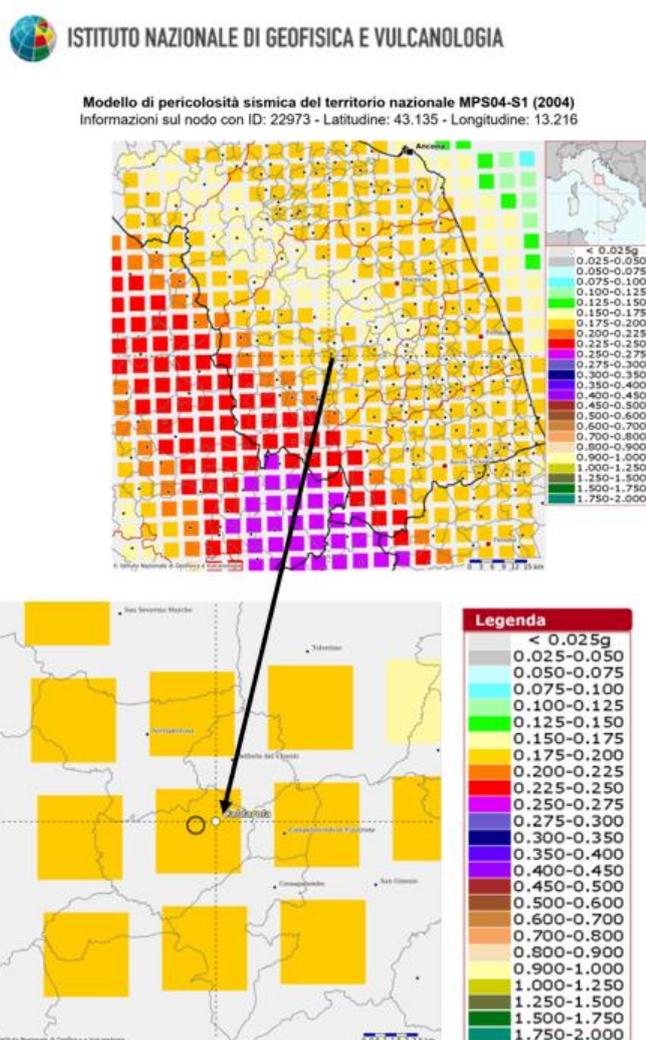


Figura 28: Accelerazione massima al suolo (PGA) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Fonte INGV [29]).

La zona si situa nel settore della griglia con valori di PGA, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, di 0.175 - 0.200g.

9. BIBLIOGRAFIA

9.1 Documenti storici sull'opera

- [1] Diga di Polverina Estratto dalla pubblicazione ANIDEL "Le dighe di ritenuta degli impianti idroelettrici italiani", 1978
- [2] Diga del Fiastrone Estratto dalla pubblicazione ANIDEL "Le dighe di ritenuta degli impianti idroelettrici italiani", 1978
- [3] Diga di Polverina - Foglio di condizioni per l'esercizio e la manutenzione, marzo 1998.
- [4] Diga del Fiastrone - Foglio di condizioni per l'esercizio e la manutenzione, aprile 1998.
- [5] Diga di Polverina – Impianto di Valcimarra (derivazione Chienti) Opere di derivazione di adduzione – Piano di Manutenzione, ottobre 2012
- [6] Diga di Fiastrone – Impianto di Valcimarra (derivazione Fiastrone) Opere di derivazione di adduzione – Piano di Manutenzione, ottobre 2012

9.2 Dati da Enti

- [7] DSM e DTM lidar a passo 1m fornito da Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) distribuito con licenza *Creative Commons – Attribuzione - Condividi allo stesso modo 3.0 Italia (CC BY-SA 3.0 IT)*¹
- [8] Progetto PST-Prodotti interferometrici. Ministero dell'Ambiente.
- [9] Istituto Geografico Militare Carta Topografica Scala 1:250.000 (WGS84) Umbria. Marche
- [10] Regione Marche - Carta Tecnica Regionale (scala 1:10.000)
<https://www.regione.marche.it/Regione-Utile/Paesaggio-Territorio-Urbanistica/Cartografia/Repertorio/Cartatecnica110000>
- [11] Regione Marche Carta tecnica numerica 1:10000 (Cartografie di base)
<https://www.regione.marche.it/Regione-Utile/Paesaggio-Territorio-Urbanistica-Genio-Civile/Cartografia-regionale/Repertorio/Carta-tecnica-numerica-110000/opendata>
- [12] Regione Marche - Carta Geologica Regionale 1:10.000 (Cartografie tematiche)
<https://www.regione.marche.it/Regione-Utile/Paesaggio-Territorio-Urbanistica/Cartografia/Repertorio/Cartageologicaregionale10000>
- [13] Regione Marche - Carta Geomorfologica Regionale 1:10.000 (Cartografie tematiche)
<https://www.regione.marche.it/Regione-Utile/Paesaggio-Territorio-Urbanistica/Cartografia/Repertorio/Cartageomorfologicaregionale10000>

9.3 Riferimenti tecnico scientifici

- [14] Bally, A. W., L. Burbi, C. Cooper and R. Ghelardoni (1986), Balanced sections and seismic reflection profiles across the central Apennines. Mem. Soc. Geol. It., 35, 257-310.

- [15] Barchi, M. R., G. Minelli and G. Piali (1998), The CROP 03 profile: A synthesis of results on deep structures of the northern Apennines Mem. Soc. Geol. It., 52, 383-400.
- [16] Bonini, L., R. Basili, P. Burrato, V. Cannelli, U. Fracassi, F. E. Maesano, D. Melini, G. Tarabusi, M. M. Tiberti, P. Vannoli et al. (2019), Testing Different Tectonic Models for the Source of the Mw6.5, 30 October 2016, Norcia Earthquake (Central Italy): A Youthful Normal Fault, or Negative Inversion of an Old Thrust? *Tectonics*, 38, 3, 990-1017, doi: 10.1029/2018tc005185.
- [17] Buttinelli, M., L. Petracchini, F. E. Maesano, C. D'Ambrogio, D. Scrocca, M. Marino, F. Capotorti, S. Bigi, G. P. Cavinato, M. T. Mariucci et al. (2021), The impact of structural complexity, fault segmentation, and reactivation on seismotectonics: Constraints from the upper crust of the 2016–2017 Central Italy seismic sequence area. *Tectonophysics*, 810, doi: 10.1016/j.tecto.2021.228861.
- [18] Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 Foglio 124 "Macerata" II Edizione, 1967
- [19] Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 - Foglio 302 "Tolentino", ISPRA, 2009
- [20] Catalogo degli eventi franosi in Italia – IFFI, ISPRAmbiente
- [21] CESI - Diga del Fiastrone (MC) Valutazione delle condizioni geologiche delle sponde e caratterizzazione geomeccanica dei materiali della sezione d'imposta ai fini delle verifiche di sicurezza sismica secondo il Decreto 26 giugno 2014 "Norme Tecniche per la progettazione e costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)", Rapporto del 15/09/2021
- [22] CESI - Diga di Fiastrone (MC) - Esecuzione di indagini geotecniche in sito, prove geotecnichegeomeccaniche di laboratorio e studio geologico e geomorfologico con caratterizzazione geomeccanica abbinata dei materiali della sezione d'imposta ai fini delle verifiche di sicurezza sismica secondo il Decreto 26 giugno 2014 "Norme Tecniche per la progettazione e costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)", (data 15/12/2020)
- [23] CESI - Diga di Fiastrone (MC) - Esecuzione di prove geotecniche-geomeccaniche di laboratorio ai fini delle verifiche di sicurezza sismica secondo il Decreto 26 giugno 2014 "Norme Tecniche per la progettazione e costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)", (data 15/12/2020)
- [24] Conti P., Cornamusini G., Carmignani L. (2020) - An outline of the geology of the Northern Apennines (Italy), with geological map at 1:250,000 scale. *Ital. J. Geosci.*, Vol. 139, No. 2 (2020), pp. 149-194
- [25] Database Macrosismico Italiano DBMI15 v.4,0, INGV <https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>
- [26] Doglioni, C., F. Mongelli and P. Pieri (1994), The Puglia uplift (SE Italy): An anomaly in the foreland of the Apenninic subduction due to buckling of a thick continental lithosphere. *Tectonics*, 13, 1309-1321.
- [27] Guidoboni, E., G. Ferrari, G. Tarabusi, G. Sgattoni, A. Comastri, D. Mariotti, C. Ciuccarelli, M. G. Bianchi, and G. Valensise (2019), CFTI5Med, the new release of the catalogue of strong

- earthquakes in Italy and in the Mediterranean area. *Sci Data*, 6, 1, 80, doi: 10.1038/s41597-019-0091-9.
- [28] Galdenzi S., 2004 – Il carsismo nella regione marchigiana. In: Galdenzi S. (Ed.), *Frasassi 1989-2004: gli sviluppi nella ricerca*, 6-20, Jesi
- [29] Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - Modello di Pericolosità sismica MPS04-S1 <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>
- [30] Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia INGV. DISS Working Group (2018). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>; DOI : 10.6092/INGV.IT-DISS3.2.1.
- [31] Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. Gruppo di lavoro ISIDe presso Osservatorio Nazionale Terremoti. Lista Terremoti <http://terremoti.ingv.it/>
- [32] ITHACA Working Group (2019). ITHACA (ITaly HAZard from CApable faulting), A database of active capable faults of the Italian territory. Version December 2019. ISPRA Geological Survey of Italy. Web Portal <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/Mappatura.aspx>
- [33] Lavecchia, G., P. Boncio and N. Creati (2003), A lithospheric-scale seismogenic thrust in central Italy. *J. Geodyn.*, 36, 79-94.
- [34] Lavecchia, G., R. de Nardis, F. Visini, F. Ferrarini and M. S. Barbano (2007), Seismogenic evidence of ongoing compression in eastern-central Italy and mainland Sicily: a comparison. *Boll. Soc. Geol. It.*, 126, 209-222.
- [35] Piano Assetto Idrogeologico (P.A.I.) dei bacini di rilievo regionale delle Marche
- [36] Rovida, A., M. Locati, R. Camassi, B. Lolli, P. Gasperini, and A. Antonucci (2021), Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 3.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15>, doi: 10.13127/CPTI/CPTI15.3.
- [37] Scognamiglio, L., E. Tinti, E. Casarotti, S. Pucci, F. Villani, M. Cocco, F. Magnoni, A. Michelini, and D. Dreger (2018), Complex Fault Geometry and Rupture Dynamics of the Mw 6.5, 30 October 2016, Central Italy Earthquake. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 123, 4, 2943-2964, doi: 10.1002/2018jb015603.

9.4 Documenti di progetto

- [38] GRE.EEC.R.29.IT.H.53223.00.105.00 Relazione Geotecnica
- [39] GRE.EEC.D.29.IT.H.53223.00.107.00 Carta geologico-geomorfologica generale (scala 1:5.000)
- [40] GRE.EEC.D.29.IT.H.53223.00.108.00 Carta geologico-geomorfologica di dettaglio (scala 1:500)
- [41] GRE.EEC.D.29.IT.H.53223.00.109.00 Sezione geologica generale del versante (scala 1:1.500)
- [42] GRE.EEC.D.29.IT.H.53223.00.110.00 Sezioni geologico-geotecniche trasversale e longitudinale di dettaglio della centrale (scala 1:500)