



**COMUNE DI BIBBIENA  
PROVINCIA DI AREZZO**

Committente:

**Sig.ra GIOVANNINI NADIA**

*“Piano di recupero di fabbricato pertinenziale  
in località San Donato, Soci, nel Comune di Bibbiena (AR)”*

**RELAZIONE GEOLOGICA**

(ai sensi del D.P.G.R. n.5/R del 30.01.2020)



Località “San Donato”, Soci - Comune di Bibbiena (AR)



## INDICE

<b>1. Premessa</b>	<b>2</b>
<b>2. Ubicazione dell'area in esame e vincoli</b>	<b>3</b>
<b>3. Dati di progetto</b>	<b>3</b>
<b>4. ANALISI ED APPROFONDIMENTI</b>	<b>4</b>
4.1. Elementi geologici e strutturali	4
4.2. Elementi litologico-tecnici	4
4.3. Indagini eseguite	5
4.3.1. Prospezione sismica a rifrazione	5
4.3.2. Indagine MASW	5
4.3.3. Prove penetrometriche dinamica DPSH1	8
4.3.4. Analisi dei Microtremori HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio 89)	9
4.4. Valori dei parametri geotecnici medi, caratteristici e di progetto	11
4.5. Aspetti geomorfologici	12
4.6. Aspetti idraulici idrogeologici	12
<b>5. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO</b>	<b>13</b>
5.1 Vita nominale delle strutture $V_N$	13
5.2. Classe d'uso - $C_U$	13
5.3. Periodo di riferimento per l'azione sismica $V_R$	13
<b>6. AZIONE SISMICA</b>	<b>14</b>
6.1. Stati limite e relative probabilità di superamento	14
6.2. Tempo di ritorno $T_R$	14
6.3. Condizioni topografiche	14
6.4. Amplificazione stratigrafica	15
6.5. Amplificazione topografica	15
<b>7. Valutazione degli effetti locali di sito per la riduzione del rischio sismico</b>	<b>15</b>
<b>8. Risposta elastico del sito</b>	<b>16</b>
<b>9. Analisi di stabilità del versante</b>	<b>17</b>
<b>10. Considerazione sul fenomeno di liquefazione ed addensamento dei terreni</b>	<b>17</b>
<b>11. VALUTAZIONE DI PERICOLOSITA'</b>	<b>18</b>
11.1. Pericolosità geologica (geomorfologica)	18
11.2. Pericolosità idraulica	17
11.3. Pericolosità sismica locale	18
<b>12. FATTIBILITA'</b>	<b>18</b>
12.1. Fattibilità in relazione agli aspetti geologici	18
12.2. Fattibilità in relazione agli aspetti idraulici	18
12.3. Fattibilità in relazione agli aspetti sismici	18
<b>13. Conclusioni</b>	<b>19</b>

## ALLEGATI

- n. 23 (ventitueattordici) Tavole
- Elaborazione prova penetrometrica DPSH1
- Report Stabilità del versante
- Report H/V

## 1. Premessa

Il presente lavoro è stato redatto su incarico della Sig.ra Giovannini Nadia e costituisce il supporto geologico per il *“Piano di recupero di fabbricato pertinenziale in località San Donato, Soci, nel Comune di Bibbiena (AR)”*

Il presente lavoro è svolto in conformità alle norme vigenti:

DPGR 30 gennaio 2020, n.5/R *“Regolamento di attuazione dell’articolo 104 della legge regionale 10 novembre 2014, n.65 (Norme per il governo del territorio) contenente disposizioni in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche”*, D.M. 17.01.18, Delib. 261/11, Circ. Minist. n.7 del 21.01.2019, O.P.C.M. n. 3519/06, C. Sup. dei L. P. - All. al voto n.36 - 27.07.07, D.C.R. n.72 - 24.07.07.

Inoltre, la presente studio riporta, oltre la caratterizzazione sismica del sito, i risultati necessari alle verifica agli SLU (SLV) (§ 6.4.2.1 NTC18) e la caratterizzazione geotecnica finalizzata alla verifica agli SLE. (§ 6.4.2.2 NTC18).

Sono consultate le carte tematiche del vigente P.S. e la cartografia del P.A.I. redatta dall’Autorità di Bacino del Fiume Arno.

La base adottata per i tematismi proposti è la *Carta Tecnica Regionale - 1:5.000*.

Sono state redatte carte tematiche di base:

*Carta geologica 1:5.000;*

*Carta geomorfologica 1:5.000;*

*Carta idrogeologica 1:5.000;*

*Carta litotecnica scala 1:5.000;*

*Carta pendenze scala 1:5.000.*

Attraverso l’elaborazione delle informazioni raccolte nelle indagini condotte e nei tematismi di base precedentemente menzionati, sono state redatte in scala 1:2.000:

- *Carta delle Aree a pericolosità geologica;*
- *Carta delle Aree a pericolosità da alluvioni;*

Si riportano, inoltre:

- Ubicazione dell’area di pertinenza dell’area in esame - (scala 1.25.000 – IGM, quadrante 107-II);
- Carta catastale - (scala 1:2.000);
- Estratto P.A.I. - (Pericolosità di Frana scala 1:5.000).
- PGRA pericolosità idraulica scala 1.5.000);
- Estratto P.S. - (Pericolosità geologica - e pericolosità idraulica);

## 2. Ubicazione dell'area in esame e vincoli

L'area di progetto è situata in località “San Donato”, a Nwe do Soci, nel territorio comunale di Bibbiena (AR) (Tav.1 - Ubicazione dell'area di pertinenza del Piano di Recupero).

In particolare l'area è individuabile al NCT del Comune di Bibbiena, Foglio di mappa n.31, particella n.805 (Tav.2 - Planimetria catastale).

Il vigente RU colloca l'area di pertinenza del Piano di Recupero in *Zona agricola E7 - Coltivi della Montagna* (Tav.3 - Estratto RU).

Il R.U. non assegna all'area di progetto nessuna classe di fattibilità, per cui la stessa viene assegnata, incrociando la pericolosità (geologica) assegnata dal P.S. vigente con la tipologia dell'intervento in oggetto i:

- TABELLA GUIDA PER L'ASSEGNAZIONE DELLA CLASSE DI FATTIBILITÀ GEOMORFOLOGICA - a supporto del Regolamento Urbanistico.

TIPO DI INTERVENTO: EDILIZIO/URBANISTICO...	... in aree di territorio aperto, patrimonio edilizio storico, verde privato, area di interesse archeologico, parco Archiano, zone agricole periurbane			
	GRADO DI PERICOLOSITÀ GEOLOGICA			
	1	2	3	4
15) Ristrutturazione edilizia con incremento volumetrico, anche tramite completa demolizione e ricostruzione	II	II	III	IV

In considerazione di quanto sopra detto si assegna classe di **Fattibilità 3**.

Il supporto geologico del P.S. adottato dal Comune colloca l'area d'interesse in classe di *Pericolosità geologica media* (P.G.3) (Tav.4a - Estratto di P.S. - Pericolosità Geologica), ed in classe di *Pericolosità Idraulica irrilevante* (P.I.1) (Tav.4b - Estratto di P.S. - Pericolosità Idraulica).

L'area del PdR ricade in area sottoposta a “Vincolo area boscata” (Tav.4c - Vincolo Idrogeologico).

## 3. Dati di progetto

Il Piano di Recupero consiste nella ricostruzione di un rudere esistente. Il nuovo fabbricato sarà costituito da un Piano Terra e da un Primo Piano

La pianta del nuovo edificio avrà dimensioni di 6,60 m x 5,50 m con altezza massima in gronda pari a 6,30 m (Tav.5a, 5b - Planimetria di progetto).

Ulteriori informazioni sono contenute nella R.T. a firma del Progettista.

## 4. ANALISI ED APPROFONDIMENTI

### 4.1. Elementi geologici e strutturali

Geologicamente l'area su cui ricade la ricerca idrica fa parte del bacino fluvio-lacustre del Casentino (direzione NO-SE), formatosi in seguito al parziale riempimento di una depressione tettonica, tardo Miocenica, legata ai movimenti distensivi dell'area di retroarco appenninico.

Nella zona d'interesse, sono presenti coltri detritiche, sovrastanti formazioni liguri che sono sovrascorse sulle successioni torbiditiche Oligo-mioceniche di origine marina appartenenti alla Serie Toscana autoctona (Tav.6 - Carta geologica).

Di seguito si riporta una breve descrizione delle successioni presenti nell'area:

- *Detrito di versante* (Olocene) - NON CARTOGRAFATO - Materiale litoide a granulometria molto variabile (da qualche cm al m) immerso in una matrice sabbioso-argillosa.
- *Formazione di Sillano - SIL* (Cretaceo sup.-Eocene inf.) Argilliti varicolori con irregolari intercalazioni di arenarie quarzoso-calcaree e calcareniti, finemente stratificate, di marne e calcari marnosi grigio chiari.
- *Formazione di San Marino SMN (Burdigliano Sup.)* è costituita da blocchi di calcareniti organogene o ibride associate generalmente alla F.ne di Sillano (dimensioni da alcuni m ad un km e spessore massimo < a 200 m).

In particolare l'area di pertinenza del Piano di Recupero è caratterizzata dalla presenza della F.ne di Sillano, che nell'area di indagine risulta ricoperta da un a coltre detritica.

### 4.2. Elementi litologico-tecnici

I terreni riscontrati nell'area di interesse presentano caratteristiche meccaniche tali, da essere inserite nelle seguenti classi litotecniche: (Tav.7 - Carta litotecnica).

## SUCCESSIONI CONGLOMERATICHE GHIAIOSE-SABBIOSE-ARGILLOSE

### A3 - Prevalentemente incoerenti con livelli parzialmente litificati per diagenesi

Depositi incoerenti costituiti da materiali litoidi spigolosi a pezzatura diversa immersa in matrice fine derivante da azioni antropiche o dal disfacimento delle formazioni limitrofe ed accumulatisi ai piedi dei versanti per azione gravitativa o lungo le pendici dei versanti per alterazione chimico fisica dei terreni e conseguente rimobilitazione degli stessi.

## SUCCESSIONE DI ALTERNANZE DI LITOTIPI LAPIDEI E ARGILLOSI

### **C - PREVALENZA DI LITOTIPI ARGILLOSI - SIL**

Argilliti con intercalazioni di calcari marnosi in assetto caoticizzato, marne stratificate esfoliabili, con proprietà geotecniche da medie a scadenti. Le caratteristiche meccaniche di tale formazione diminuiscono fortemente, sia per la presenza di acqua che all'aumentare del grado di alterazione.

### **D - LITOTIPI LAPIDEI - SMN**

Biocalcareni massive o stratificate con proprietà geotecniche nel complesso discrete.

La caratteristiche meccaniche di questi terreni possono variare in funzione del grado di alterazione e di fatturazione nonché dell'assetto strutturale dell'unità.

### **4.3. Indagini eseguite**

Per ottenere informazioni sull'andamento morfologico, profondità e spessore degli intervalli omogenei, relativi ai terreni oggetto di lottizzazione, valutarne il grado di addensamento e ottenere una stima dei parametri geotecnici dei terreni presenti, sono state effettuate le seguenti indagini (Tav.8 - Ubicazione delle indagini):

E' stata eseguita una campagna geognostica (Tav.8 - Ubicazione indagini geognostiche):

- *N.I Stesa sismica a rifrazione A-B* (50m - onde *P* - data 18.02.20) distanza interg. 2,0 m;
- *N.I prova penetrometrica dinamica DPSH1* (26.08.2020 - “Galileo Geofisica” - Arezzo);
- *Indagine MASW 1-2 (Multichannel Analysis of Surface Waves)*: (data 18.02.20).
- *H/V* (data 18.02.20).

#### **4.3.1. Prospezioni sismiche a rifrazione (onde *p*)**

Per l'indagine si è utilizzato un sismografo “SARA” 24 canali (sistema DoRemi) con possibilità di incremento e sovrapposizione del segnale e registrazione magnetica degli eventi.

Il metodo si basa sulla proprietà dei terreni (grado di cementazione e fratturazione, porosità, contenuto in acqua, ecc.), di farsi attraversare con diversa velocità dalle onde sismiche, registrando mediante geofoni il tempo di arrivo della prima onda sismica.

Il sistema è concepito per avere una unità di acquisizione indipendente per ogni geofono per cui il segnale proveniente dal geofono raggiunge l'elettronica dopo pochi cm di cavo.

La presenza di un convertitore per ogni canale, inoltre, garantisce la massima qualità delle registrazioni; esso è pilotato da uno stadio di amplificazione differenziale a guadagno variabile e dotato di filtri passa banda (4-200Hz). Il segnale amplificato e filtrato raggiunge il convertitore analogico digitale posto a pochi millimetri di distanza.

Ogni unità è dotata di proprio microprocessore e di una propria memoria, che colloquia con l'unità centrale di raccolta dati (personal computer dotato di apposito software) tramite un bus corrispondente allo standard RS485.

Le varie unità di acquisizione sono collegate fra loro con un cavo a 2 coppie, una coppia di alimentazione e una coppia dati.

Per l'acquisizione dei dati, si sono utilizzati 24 geofoni adottando con interasse di 2,0 m, con la sorgente a 2,0 m dal primo ricevitore dello stendimento.

L'indagine distingue, all'interno del terreno investigato, 3 orizzonti, con caratteristiche elasto-meccaniche differenti (Tav.9 - Sezione geofisica):

- *I orizzonte sismico (A)*: I valori delle onde longitudinali,  $V_p = 400\text{m/sec}$  a  $800\text{m/sec}$ ;
- *II orizzonte sismico (B)*: Tale livello presenta valori di  $V_p = 800\text{m/sec}$  a  $1800\text{m/sec}$ ;
- *III orizzonte sismico (C)*: I valori delle onde longitudinali,  $V_p > 1800\text{m/sec}$ .

#### 4.3.2. Indagine MASW

La vigente normativa sismica riprendendo l'Eurocodice 8, impone la classificazione sismica del sottosuolo in base al parametro  $VS_{30}$  per la progettazione in zona sismica.

Tale parametro, che rappresenta la velocità equivalente delle onde di taglio nei primi 30m di sottosuolo, può essere calcolato noti gli spessori degli strati presenti nei primi 30m di profondità e la velocità di propagazione delle onde S all'interno di ogni strato.

Nel presente lavoro si è usato il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), metodologia non invasiva, per ottenere un modello verticale di  $V_S$ , attraverso la propagazione e velocità delle onde di superficie a diverse frequenze, in particolare le onde di Rayleigh.

In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione.

Le onde ad alta frequenza con  $\lambda$  corta si propagano negli strati più superficiali e danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, mentre le onde a bassa frequenza si propagano e interessano gli strati più profondi (vd Fig.1).

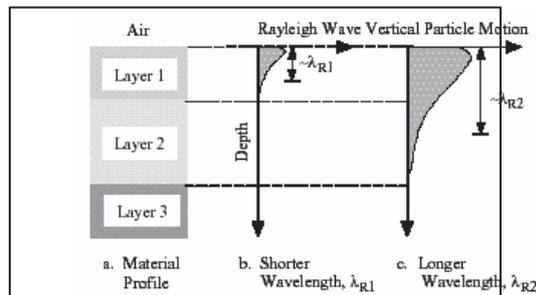


Figura1: La profondità investigata dalle onde di Rayleigh dipende dalla lunghezza d'onda, dalla velocità delle onde di taglio  $V_S$  e dalla frequenza. (Stokoe II and Santamarina, 2000)

Quindi onde di Rayleigh di diversa  $\lambda$  forniscono informazioni a diverse profondità del sito.

Le informazioni sulla velocità delle onde di taglio  $V_S$  del sito fornite sono da intendersi come informazioni medie lungo la profondità.

Il metodo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, sui primi 30m-50m, in funzione della rigidità del suolo.

Il metodo MASW consiste in tre fasi:

- (1) calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale,
- (2) calcolare della velocità di fase apparente numerica,

(3) individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , modificando opportunamente lo spessore  $h$ , le velocità delle onde di taglio  $V_s$  e di compressione  $V_p$  (o in maniera alternativa alle velocità  $V_p$  è possibile assegnare il coefficiente di Poisson  $\nu$ ), la densità di massa  $\rho$  degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase sperimentale e la velocità di fase numerica corrispondente al modello di suolo assegnato.

Per l’acquisizione dei dati, si sono utilizzati 24 geofoni con interasse di 2,0 m, con la sorgente ad 2,0 m dal primo ricevitore dello stendimento.

Di seguito lo spettro di velocità e curva di dispersione (Fig.2) ed il profilo  $V_s$  (Fig.3),

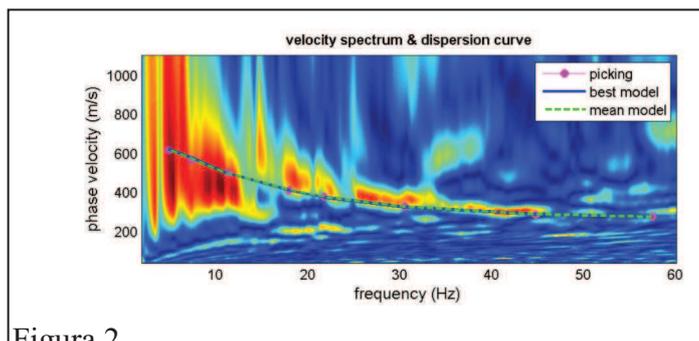


Figura 2

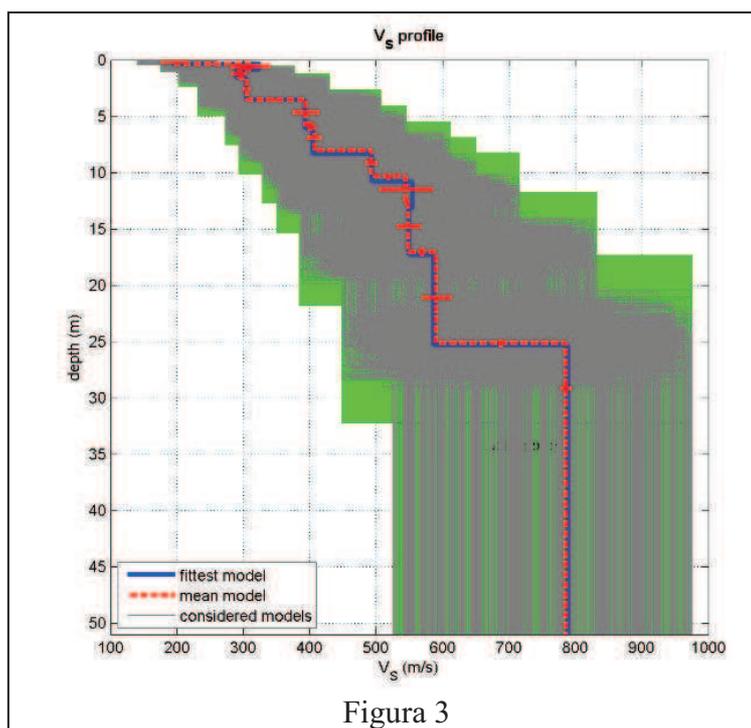


Figura 3

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{S,eq}$  (in m/s):

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

$h_i$  spessore dell’ $i$ -esimo strato;

$V_{S,i}$  velocità delle onde di taglio nell’ $i$ -esimo strato;

$N$  numero di strati;

$H$  profondità del substrato (f.ne costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s \geq 800$  m/s.).

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera.

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

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{Seq}$  è definita dal parametro  $V_{S30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Prendendo visione del profilo sismico rilevato, il valore della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 metri ( $V_{Seq} = V_{S30}$ ) è pari a **493 m/sec.**

In base alle definizioni definite in Tab. 3.2.II. (NTC2018 - DM 17.01.18) che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono ai terreni di pertinenza progettuale, si assegna la **categoria di sottosuolo “B”**.

#### **4.3.3. Prova penetrometrica dinamica DPSH1**

Il penetrometro utilizzato è del tipo dinamico DPSH (S. Heavy) superpesante a punta conica, adeguato alle Norme ISSMFE (1988) avente una massa battente del peso di 63,5 kg con un'altezza di caduta pari a 0,75 m. Punta conica, di Ø 50,50 mm e angolo di apertura di 90°, mentre le aste hanno la lunghezza di 1 m e un peso di 8,0 kg/m.

La prova consiste nel misurare il n. di colpi N, per l'avanzamento dell'asta per la lung. di 0,20m, sotto la spinta di un maglio (63,5 kg) lasciato cadere da un'altezza di 0,75 m.

I dati sono successivamente elaborati e corretti per correlare i valori N ai valori standard  $N_{spt}$ , n. di colpi prova SPT (avanzamento  $\delta=0,20$  m) utilizzando la relazione:

$$N \times \beta t = N_{spt}$$

dove  $\beta t = 1,521$  rappresenta il coefficiente teorico di energia.

La prova DPSH1, che ha raggiunto la quota di -1,40m, dal p.c., non rileva, alla profondità investigata, la presenza di acqua.

I risultati della prova penetrometrica sono riportate in calce della seguente relazione.

Anche se durante le indagini svolte, non si è rilevata la presenza di acqua, in considerazione degli schemi progettuali, che prevedono a tergo del fabbricato la presenza di un versante, si raccomanda di prevedere opportune ed idonee opere per l'intercettazione ed allontanamento delle acque meteoriche al fine di ridurre le spinte idrostatiche.

#### 4.3.4. **Indagine HVSR** (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio - Nakamura, 1989*)

Per l'indagine con tecnica dei rapporti spettrali o HVSR è stata utilizzato un SISMOMETRO SR04S3 “GeoBox” della Sara electronic instruments, di cui si riportano sotto le caratteristiche tecniche, dotato di 3 velocimetri GS11D 4.5 Hz Geospace, Technology - Huston - Texas - USA con frequenza di ca. 4.5 Hz.

Alimentazione:	10-16Vdc (batteria interna)
Consumo di energia:	< 1 W
Numero canali:	3
Convertitore A/D:	24 bit ( $\Sigma\Delta$ )
Range dinamico:	124dB @ 100SPS
Campionamento:	simultaneo sui tre canali
Sampling rates:	10-600
Impedenza d'ingresso:	300 kOhm
Sensibilità:	2V p-p (119nV/count)
Real Time Clock:	+/-10ppm (-20/+50°C)
Sincron. Real Time Clock:	GPS via PPS modulato
Precisione rispetto a UTC:	<50µs
Antenna GPS:	amplificata con 10mt di cavo e connettore BNC
CPU:	AVR RISC processor @ 11.592MHz
Interfaccia dati sismici:	RS232, cavo USB in dotazione
Formato dati:	protocollo binario SADC20HS
Velocità:	115200 baud
Interfaccia dati GPS:	RS232
Formato dati:	NMEA; 4800 baud, n,8,1
Contenitore:	Alluminio IP66
Temperatura operativa:	-30/+60°C



- *Analisi dei Microtremori con la tecnica HVSR*

La tecnica dei rapporti spettrali o HVSR (Nakamura, 1989) risulta non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non necessita di nessun tipo di perforazione, né di energizzazioni esterne diverse dal rumore ambientale.

Tale tecnica costituisce una parte importante nella valutazione del rischio sismico di un sito perché permette di calcolarne la frequenza fondamentale o frequenza di risonanza.

La frequenza caratteristica di risonanza di un sito rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento delle strutture in termini di risposta sismica locale.

Si dovranno adottare adeguate precauzioni nel costruire strutture con la medesima frequenza di vibrazione del terreno per evitare effetti di “doppia risonanza”, estremamente pericolosi

La frequenza fondamentale di risonanza, per esempio di un edificio, può essere misurata eseguendo le misurazioni all'interno dello stesso.

In seguito sarà possibile confrontarla con quella del terreno su cui sorge per comprendere al meglio il rischio sismico a cui è sottoposto l'edificio in caso di sisma.

In riferimento al contenuto in frequenza, il rumore sismico è anche chiamato microtremore se contiene alte frequenze (in genere maggiori di 0.5 Hz) e microsisma per basse frequenze.

In relazione agli effetti di sito, l'analisi delle misure può essere condotta con tre metodi:

- A - Spettri di Fourier;*
- B - Rapporti spettrali;*
- C - Rapporti spettrali H/V.*

Tra questi quello che sembra fornire i risultati migliori è quello dei Rapporti spettrali H/V noto anche come metodo HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) o metodo di Nakamura.

La tecnica dei rapporti spettrali H/V consiste nel calcolo del rapporto degli spettri di Fourier del rumore nel piano orizzontale H (lo spettro H viene calcolato come media degli spettri di Fourier delle componenti orizzontali NS ed EW) e della componente verticale V.

Nel 1989, Nakamura propose il rapporto H/V come stima affidabile della funzione di trasferimento delle onde S per un dato sito.

Le argomentazioni usate da Nakamura sono estremamente qualitative e si basano sull'ipotesi che i microtremori siano originati da sorgenti molto locali, come il traffico vicino al sismometro, e siano onde di Rayleigh che si propagano in un solo strato su un semispazio.

Tale tecnica, ampiamente utilizzata da anni nel settore sismologico, di recente viene sempre più impiegata in campo geotecnico / ingegneristico per derivare i seguenti parametri :

- *la frequenza fondamentale di risonanza  $F_0$  dei terreni presenti nel sottosuolo;*
- *la stima del profilo del terreno in termini delle velocità  $V_s$  e  $V_p$  e della densità e quindi delle velocità  $V_{s30}$  nei primi 30m dal piano campagna, attraverso opportuni metodi di inversione;*
- *la frequenza fondamentale di risonanza di una struttura e i relativi modi di vibrare;*

- *Acquisizione ed interpretazione*

Le registrazioni del rumore sismico sono state elaborate utilizzando il relativo software “WinMASW”.

L’elaborazione evidenzia la curva H/V con picco a 18,8 Hz e in ampiezza  $>3$ ; il criterio 5 di Albarello et Alii (robustezza statistica) risulta pertanto verificato.

In allegato si riporta il report riferito all’indagine HVSR effettuata.

Ricordiamo che i criteri SESAME (2004), di carattere puramente empirico, considerano significativi solo i picchi con ampiezza  $H/V > 2$ , il che non significa che i massimi con picchi di  $H/V < 2$  non siano fisicamente significativi, ma unicamente che l’interpretazione delle curve va eseguita con estrema cautela ed utilizzando procedure di inversione molto raffinate.

#### 4.4. Valori dei parametri geotecnici medi, caratteristici e di progetto

Di seguito si riportano i valori medi dei parametri geotecnici dei terreni investigati:

**Unità geotecnica 1** (da 0,00m a -1,00m): Angolo di attrito  $\phi' = 31^\circ$  peso di volume  $\gamma = 1,85 \text{ t/m}^3$ , valore della coesione non drenata  $C_u = 0,8 \text{ kg/cm}^2$ ,  $N_{\text{spt}} = 13$ . Il valore medio  $R_{\text{dp}} = 63 \text{ kg/cm}^2$ , il valore stimato  $E_d = 55 \text{ kg/cm}^2$  ( $mv=0,018 \text{ cm}^2/\text{kg}$ ).

**Unità geotecnica 2** (da -1,00m a -6,00m): Angolo di attrito  $\phi' = 36^\circ$ , peso di volume  $\gamma = 1,85 \text{ t/m}^3$ , valore della coesione non drenata  $C_u = 0,90 \text{ kg/cm}^2$ ,  $N_{\text{spt}}$  medio pari a 45. Il valore medio di  $R_{\text{dp}} = 160 \text{ kg/cm}^2$ , il valore stimato  $E_d = 100 \text{ kg/cm}^2$  ( $mv=0,01 \text{ cm}^2/\text{kg}$ ).

**Unità geotecnica 3** (oltre -6,00m): Angolo di attrito  $\phi = 40^\circ$ , peso di volume  $\gamma = 2,10 \text{ t/m}^3$ ,  $C_u = 1,0 \text{ kg/cm}^2$ , un valore medio di  $R_{\text{dp}} = 240 \text{ kg/cm}^2$  ed un valore  $N_{\text{spt}} > 50$ , il valore stimato di  $E_d = 140 \text{ kg/cm}^2$  ( $mv=0,007 \text{ cm}^2/\text{kg}$ ).

#### Parametri caratteristici e di progetto

Per la progettazione basata sul metodo degli stati limite, si devono utilizzare parametri geotecnici opportunamente interpretati (p. caratteristici  $X_k$ ) e ridotti (p. di progetto  $X_d$ ), ottenuti con la stima cautelativa del parametro, in relazione agli stati limite considerati per il progetto.

Il valore caratteristico dei parametri geotecnici di resistenza del terreno, divisi per i coefficienti parziali  $\gamma_m$  di seguito riportati (tab.6.2.II. delle *Norme tecniche per le costruzioni*).

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_m$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

Di seguito i valori dei parametri geotecnici medi, caratteristici ( $X_k$ ) e di progetto ( $X_p$ ):

Parametro geotecnico	Valore medio	Valore caratteristico ( $X_k$ )	Valore di progetto ( $X_p$ )
$\phi$ - Angolo di resistenza al taglio			
Unità Geotecnica I	31°	28,7°	23,7°
Unità Geotecnica II	36°	34,8°	29°
Unità Geotecnica III	40°	38,5°	32,5°
Cu - Coesione non drenata ( $\text{kg/cm}^2$ )			
Unità Geotecnica I	0,80 $\text{kg/cm}^2$	0,64 $\text{kg/cm}^2$	0,46 $\text{kg/cm}^2$
Unità Geotecnica II	0,90 $\text{kg/cm}^2$	0,81 $\text{kg/cm}^2$	0,58 $\text{kg/cm}^2$
Unità Geotecnica III	1,00 $\text{kg/cm}^2$	0,89 $\text{kg/cm}^2$	0,64 $\text{kg/cm}^2$
$\gamma$ - Peso di volume ( $\text{kg/m}^3$ )			
Unità Geotecnica I	1,85 $\text{t/m}^3$	1,85 $\text{t/m}^3$	1,85 $\text{t/m}^3$
Unità Geotecnica II	1,95 $\text{t/m}^3$	1,95 $\text{t/m}^3$	1,95 $\text{t/m}^3$
Unità Geotecnica III	2,10 $\text{t/m}^3$	2,10 $\text{t/m}^3$	2,10 $\text{t/m}^3$

#### **4.5. Aspetti geomorfologici**

La zona in esame è posta in una zona di fondovalle, sul bordo di un terrazzo morfologico di origine fluviale entro la piana alluvionale del T. Archiano affluente di sinistra del F.Arno

L'area interessata dal PdR è posta a quota di circa 485 mslm e presenta pendenze dell'ordine del 10-15% in direzione O, verso il T.Archiano (Tav.10 - Carta delle Pendenze).

I processi geomorfologici rilevati, sono costituiti da ruscellamenti superficiali.

L'area è situata all'interno di un corpo di frana antico, stabilizzato, su cui non riscontrano evidenze né indizi di fenomeni gravitativi in atto o quiescenti (Tav.11 - Carta geomorfologica).

Nel complesso, il *Detrito di versante*, che affiora nell'area in esame, è caratterizzato da un grado di permeabilità primaria medio.

L'area di progetto è classificata in PF2 nella cartografia del Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.) “*Perimetrazione delle aree con pericolosità da frana*” redatta dall'AdB del Fiume Arno (Tav.12 - Estratto di PAI - PF).

#### **4.6. Aspetti idraulici e idrogeologici**

Riguardo la normativa vigente sul rischio idraulico, l'area d'interesse progettuale non è inserita in alcun ambito dei corsi d'acqua dell'elenco definito dal D.C.R. 72 - 24.07.07.

L'area non risulta storicamente soggetta ad esondazioni, come conferma la “Carta della pericolosità geomorfologica ed idraulica” scala 1:50.000 - PTCP - Prov. di Arezzo

Nella cartografia del *Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni - Pericolosità Idraulica* l'area non è classificata in alcuna classe di pericolosità, idraulica (Tav.13 - Estratto di PGRA).

Con particolare riferimento all'area d'interesse, le informazioni dirette ed indirette, non indicano presenza di una falda superficiale.

Il detrito presente nell'area del PdR presenta Permeabilità primaria medio-elevata (Tav.14 - Carta idrogeologica).

## 5. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

Di seguito si riportano gli indici e coefficienti sismici definiti dal D.M. 17.01.2018, caratteristici del sito d'indagine, finalizzati alla determinazione dei Parametri sismici e dello Spettro di risposta elastico dell'area del Piano di Recupero.

Nel presente lavoro, tali valori si utilizzano per effettuare l'analisi di stabilità del versante

### 5.1. Vita Nominale delle strutture - $V_N$

La normativa definisce la *Vita Nominale*  $V_N$  delle strutture a cui si associano 3 tipi di costruzioni con diverso valore (espresso in anni), della loro durata come definito al variare della classe d'uso come mostra la tabella di seguito riportata.

TIPI DI COSTRUZIONE	Vita Nominale $V_N$ (in anni)
1 Opere provvisorie - Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva <sup>[1]</sup>	$\leq 10$
2 Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	$\geq 50$
3 Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza strategica	$\geq 100$

<sup>[1]</sup> Le verifiche sismiche di opere provvisorie o strutture in fase costruttiva possono omettersi quando le relative durate previste in progetto siano inferiori a 2 anni

In considerazione del fatto che gli interventi previsti nell'area di lottizzazione in oggetto, rientrano nella tipologia di opere ordinarie, si indica una  $V_N = 50$  anni

### 5.2. Classe d'uso - $C_U$

La normativa definisce l'azione sismica per 4 classi d'uso  $C_U$  delle costruzioni, a cui si associa un *coefficiente d'uso*  $C_u$ , definito al variare dell'utilizzo.

Classe d'uso	Descrizione	$C_U$
II	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.	1

Nel caso in esame gli interventi previsti nell'area di lottizzazione rientrano nella "Classe d'uso" II a cui corrisponde un coefficiente  $C_u = 1$ .

### 5.3. Periodo di riferimento per l'azione sismica - $V_R$

La normativa, inoltre, prevede la definizione di un *periodo di riferimento*  $V_R$  per le azioni sismiche su ciascuna costruzione ottenibile dalla formula:  $V_R = V_N \times C_U$ , dove  $V_N$  è la vita nominale di un'opera strutturale intesa come il numero di anni nel quale la struttura purché soggetta manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata. Nel nostro caso, il periodo di riferimento è pari a:  $V_R = 50 \times 1 = 50$

## 6. AZIONE SISMICA

### 6.1. Stati limite e relative probabilità di superamento

La normativa nei confronti delle azioni, definisce 4 stati limite, per indicare il comportamento, in chiave sismica, che dovrà sopportare la struttura in progetto (vedi tab.):

<b>STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)</b>
<b>SLO</b> - Stato LIMITE di OPERATIVITA': non deve subire danni ed interruzione d'uso significativi <b>SLD</b> - Stato LIMITE di DANNO: danni lievi ma rimane in esercizio e non mette a rischio gli utenti.
<b>STATI LIMITE ULTIMI (SLU)</b>
<b>SLV</b> - Stato LIMITE di salvaguardia VITA: crolli parziali. Buona resistenza verticale e margine di sicurezza orizzontale di collasso <b>SLC</b> - Stato LIMITE di prevenzione COLLASSO: danni gravi dei componenti non strutturali. Margine di sicurezza buono per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Ad ogni stato limite corrisponde una probabilità di superamento come sotto indicato.

Stati Limite	P <sub>VR</sub> : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V <sub>R</sub>	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

L'analisi di stabilità del versante effettuata è stata eseguita considerando lo Stato Limite Ultimo - SLV (Stato LIMITE di salvaguardia VITA - P<sub>VR</sub>=10%),

### 6.2. Tempo di ritorno

Noti P<sub>VR</sub> e V<sub>R dsi</sub> ottiene il valore del tempo di ritorno espressi in anni, attraverso la formula:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

Nel nostro caso per lo Stato Limite di salvaguardia della vita (SLV), si considera T<sub>R</sub> = 475 anni.

### 6.3. Condizioni topografiche

Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

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

Le sopra riportate categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

L'area di interesse del Piano di Recupero rientra nella categoria topografica **T2**.

#### 6.4. Amplificazione stratigrafica

Per sottosuolo di categoria **A** i coefficienti  $S_s$  e  $C_c$  valgono 1, per le categorie **B, C, D** ed **E** i coefficienti  $S_s$  e  $C_c$  si calcolano, in funzione dei valori di  $F_0$  e  $T_C$  \* relativi al sottosuolo di cat.**A**, con le espressioni fornite in tabella (  $g$  è l'accelerazione di gravità e il tempo è espresso in secondi).

Categoria sottosuolo	$S_s$	$C_c$
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_{\text{site}}}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_{\text{site}}}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_{\text{site}}}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_{\text{site}}}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C)^{-0,40}$

#### 6.5. Amplificazione topografica

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di RSL, si utilizzano i valori del *coefficiente topografico*  $S_T$  riportati in tabella, in funzione delle categorie topografiche precedentemente citate e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Per l'area di intervento si indica un coefficiente di amplificazione topografico  $S_T = 1,05$ .

### 7. Valutazione degli effetti locali e di sito per la riduzione del rischio sismico

L'area comunale di Bibbiena è attualmente classificata, in zona sismica 2 (Del GRT 878/2012).

Con l'entrata in vigore del D.M. 17 gennaio 2018 la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido ( $V_{s30} > 800$  m/s), viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente".

Definite le coordinate del sito interessato dal progetto, questo sarà sempre compreso tra 4 punti della griglia di accelerazioni (Allegato B - NTC 2008), tramite media pesata utilizzando la formula:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{P_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

$p$  = valore parametro di interesse nel punto in esame;

$P_i$  = valore parametro di interesse nell' $i$ -esimo p.to della maglia elementare contenente il p.to in esame;

$d_i$  = distanza del punto in esame dall' $i$ -esimo punto della maglia suddetta.

Si otterranno così i Parametri Spettrali  $P$  ( $a_g, F_0, T_C^*$ ).

$a_g$  = accelerazione massima al sito;

$F_0$  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$T_C^*$  = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Tali parametri, descrivono i caratteri del moto sismico orizzontale sul sito di riferimento rigido le cui grandezze, definiscono le forme spettrali relative alla particolare PVR.

## 8. Risposta elastico del sito

I valori dei parametri caratteristici per il calcolo delle azioni sismiche, relativi all'area di verifica, riferiti al suolo di categoria B, sono quelli di seguito indicati:

### SITO IN ESAME

**Località:** San Donato - Comune di Bibbiena (AR) - Quota 484 mslm

**Latitudine:** 43,7432 **Longitudine:** 11,8287 (coordinate espresse in ED50)

**Latitudine:** 43,7423 **Longitudine:** 11,8277 (coordinate espresse in WGS84)

Classe uso: **II** Vita nominale: **50 anni**

### Siti di riferimento

Sito 1	ID: 20288	Lat: 43,7221	Lon: 11,7608	Distanza: 5941,461
Sito 2	ID: 20289	Lat: 43,7231	Lon: 11,8299	Distanza: 2237,295
Sito 3	ID: 20067	Lat: 43,7731	Lon: 11,8285	Distanza: 3323,428
Sito 4	ID: 20066	Lat: 43,7721	Lon: 11,7593	Distanza: 6432,873

### Parametri sismici

Categoria sottosuolo: **B**

Categoria topografica: **T2** (St=1,05)

Periodo di riferimento: **50 anni** Coeff. Cu: 1

<u>Operatività (SLO):</u>	
Probabilità di superamento:	81 %
Tr:	30 [anni]
ag:	0,062 g
Fo:	2,461
Tc*:	0,263[s]

<u>Salvaguardia della vita (SLV):</u>	
Probabilità di superamento:	10 %
Tr:	475 [anni]
ag:	0,196 g
Fo:	2,377
Tc*:	0,291 [s]

<u>Danno (SLD):</u>	
Probabilità di superamento:	63 %
Tr:	50 [anni]
ag:	0,080 g
Fo:	2,429
Tc*:	0,270 [s]

<u>Prevenzione dal collasso (SLC):</u>	
Probabilità di superamento:	5 %
Tr:	975 [anni]
ag:	0,248 g
Fo:	2,386
Tc*:	0,302 [s]

### Coefficienti Sismici

#### - SLO:

Ss:	1,200
Cc:	1,440
St:	1,050
Kh:	0,016
Kv:	0,008
Amax:	0,770
Beta:	0,200

#### - SLD:

Ss:	1,200
Cc:	1,430
St:	1,050
Kh:	0,020
Kv:	0,010
Amax:	0,990
Beta:	0,200

#### - SLV:

Ss:	<b>1,200</b>
Cc:	<b>1,410</b>
St:	<b>1,050</b>
Kh:	<b>0,059</b>
Kv:	<b>0,030</b>
Amax:	<b>2,418</b>
Beta:	<b>0,240</b>

#### - SLC:

Ss:	1,160
Cc:	1,400
St:	1,050
Kh:	0,085
Kv:	0,042
Amax:	2,962
Beta:	0,280

## 9. Analisi di stabilità del versante

Per le verifiche della stabilità del versante ( (SLU) – SLV) deve essere rispettata la condizione:

$$Ed \leq Rd$$

Ed = valore di progetto dell'azione o effetti azioni; Rd = valore di progetto della resistenza del terreno.

L'analisi di stabilità è stata effettuata con procedimento automatico di generazione casuale, mediante software apposito (SLOPE - GeoStru Software - 2018- Vers. 2018.29.6.1369), con generazione di superfici di scivolamento corrispondenti ad archi di circonferenza ed analizzando la superficie con minore coefficiente di stabilità con l'algoritmo matematico di *Sarma*.

L'analisi di stabilità del versante inoltre, si è basata sui seguenti assunti:

- Suolo tipo B, Coeff. amplificazione topografica T2; Falda presente; Profilo del versante definito lungo le linea di maggior pendenza; sovraccarico, indicato dal Progettista pari a 0,80 kg/cm<sup>2</sup>.

### ***Verifica allo SLU di Rottura del Pendio - SLV (GEO)***

#### ***Approccio 1/ Combinazione 2: DA1-C2 (A2+M2+R2)***

- Si assume che si verifichi rottura per  $Rd/Ed < 1$ ;

- Si assume convenzionalmente che la stabilità è verificata per  $Rd/Ed \geq 1$ ;

### **STATO ATTUALE**

- Condizioni drenate (stato attuale)

$Rd/Ed = F/\gamma R = 1,16$  - **VERIFICA SODDISFATTA** (Tav.15a)

- Condizioni non drenate (stato attuale)

$Rd/Ed = F/\gamma R = 1,85$  - **VERIFICA SODDISFATTA** (Tav.15b)

### **STATO PROGETTO**

- Condizioni drenate (stato progetto)

$Rd/Ed = F/\gamma R = 1,39$  - **VERIFICA SODDISFATTA** (Tav.15c)

- Condizioni non drenate (stato progetto)

$Rd/Ed = F/\gamma R = 2,05$  - **VERIFICA SODDISFATTA** (Tav.15d)

In allegato si riportano le sezioni con le superfici di rottura per i minimi coefficienti di sicurezza calcolati (Tav.15a, 15b, 15c e 15d - Analisi di stabilità del versante - Stato attuale e di progetto).

## 10. Considerazione sul fenomeno di liquefazione ed addensamento dei terreni

In ottemperanza alla normativa, deve essere escluso il verificarsi di fenomeni di liquefazione o eccessivo addensamento in caso di terremoto.

Per quanto concerne il potenziale di liquefazione sotto scuotimento sismico, non sussistono le condizioni per il verificarsi di fenomeni di liquefazione.

Infine, vista la buona consistenza ed il fuso granulometrico assortito del deposito, sono da escludere fenomeni di addensamento sotto scuotimento sismico

## 11. VALUTAZIONE DI PERICOLOSITA'

Attraverso l'elaborazione delle informazioni raccolte nelle indagini e nei tematismi di base precedentemente ricordati si definisce la pericolosità della zona di intervento in relazione agli aspetti sismici, geomorfologici e idraulici.

L'area in oggetto è inserita dal P.S. vigente sia in classe di *Pericolosità geologica media 3 (P.G.2)* e in classe di *pericolosità idraulica irrilevante (P.I.1)* (Tav.4a, 4b - Estratto P.S).

### 11.1. Pericolosità geologica (geomorfologica)

Alla luce di quanto sopra scritto, si assegna **pericolosità geologica elevata (G.3)**

(All. A - § 2.1, lettera C.1 - comma2 -D.P.G.R. 30 gennaio 2020, n.5/R, *Aree con potenziale instabilità connessa all'acclività e alla litologia, presenza di corpi detritici su versanti con pendenze superiori a 15 gradi*). all'area perimetrata il PAI assegna in classe di pericolosità da frana PF2. (Tav.16a - Carta pericolosità geologica)

### 11.2. Pericolosità idraulica

L'area di pertinenza del P.A. ricade in una zona per la quale si possono escludere problematiche legate a fenomeni di inondazione e/o ristagno, confermando quanto riportato negli elaborati a supporto del P.S. vigente.

Per quanto sopra detto cautelativamente si inserisce all'area in esame in **Aree a pericolosità da alluvioni rare o di estrema intensità (P.1)** (Allegato A - § 2.1, lettera C.2 comma3 - D.P.G.R. 30 gennaio 2020, n.5/R) (Tav.16b - Carta pericolosità da alluvioni).

### 11.3. Pericolosità sismica

Nel particolare, l'area di pertinenza del PdR non rientra nelle aree dello studio di MS di 2° livello del comune di Bibbiena (AR), per cui non si è definita né la Pericolosità né la Fattibilità sismica.

## 12. FATTIBILITA'

Ai sensi del comma 3.2.2 del DPGR 30 gennaio 2020, n.5/R, è opportuno distinguere la fattibilità in funzione delle situazioni di pericolosità riscontrate, nel particolare caso, per gli aspetti: geologici, geomorfologici e idraulici, per una più agevole e precisa definizione delle condizioni di attuazione delle previsioni, delle indagini di approfondimento da effettuare a livello attuativo ed edilizio, delle opere necessarie per la mitigazione del rischio.

### **12.1 Fattibilità in relazione agli aspetti geologici**

Alla luce delle situazioni geologiche e geomorfologiche riscontrate nell'area del Piano di Recupero e delle indagini eseguite, relativamente all'area ricadente in G.3 la **Fattibilità** (per gli aspetti geologici), degli interventi di nuova edificazione o nuove infrastrutture a sviluppo lineare e a rete è subordinata, come richiesto dall'All. § 3.2.2. - comma 1 . del DPGR 30 gennaio 2020, n.5/R *“all'esito di studi, rilievi e indagini geognostiche e geofisiche effettuate in fase di piano attuativo e finalizzate alla verifica delle effettive condizioni di stabilità.”*

Le osservazioni eseguite e le indagini realizzate non indicano, relativamente alla finalità del Piano di Recupero in oggetto, la necessità di realizzazione di interventi di messa in sicurezza.

I risultati, delle indagini di cui sopra, sono riportati all'interno della presente relazione geologica.

### **12.2 Fattibilità in relazione al rischio di alluvioni**

In considerazione della posizione di alto morfologico dell'area su cui è situato il Piano di Recupero, si ritiene che non siano necessarie prescrizioni specifiche ai fini della valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia.

### **12.3. Fattibilità in relazione agli aspetti sismici**

Trovandosi l'area del Piano di Recupero al di fuori dell'area di interessato dagli studi di MS di 2° livello del Comune di Bibbiena (AR) e mancando quindi le condizioni per la definizione della pericolosità sismica, non viene data alcuna indicazione relativa alla fattibilità sismica.

## **13. Conclusioni**

Alla luce delle indagini geognostiche condotte nell'area di pertinenza del Piano di Recupero e delle osservazioni relativi agli aspetti geologici, litologici e geomorfologici e idrogeologici, si possono fare le seguenti considerazioni:

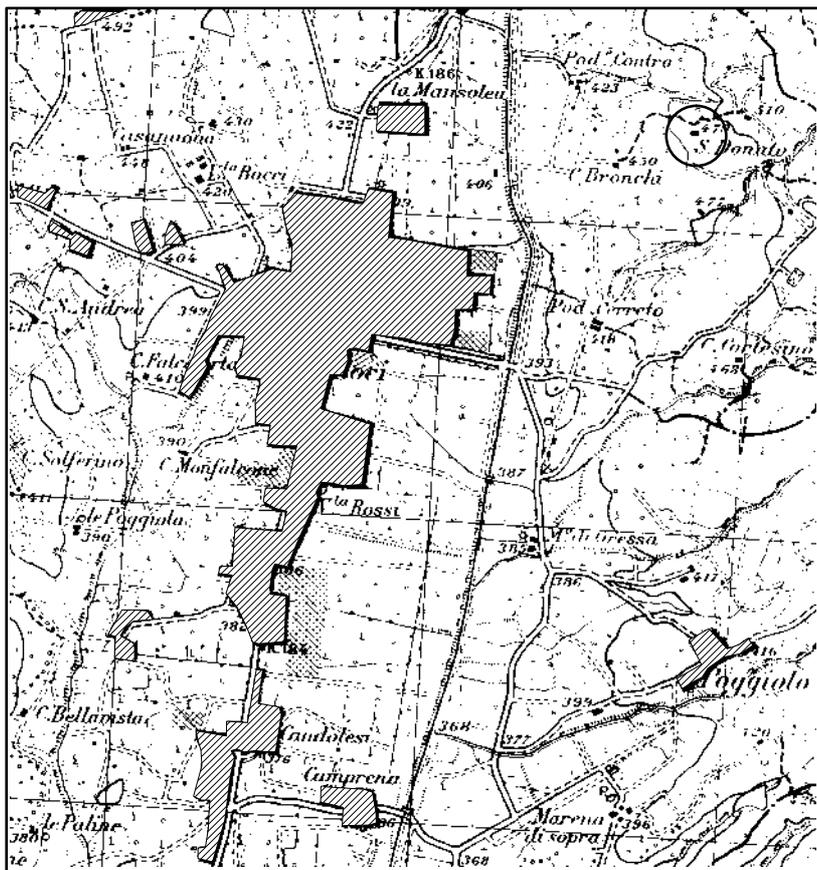
Per l'area d'interesse si conferma una pericolosità geologica elevata (G.3) per la presenza di corpi detritici su versante acclive.

Tuttavia le verifiche effettuate indicano per l'area una situazione di generale stabilità, anche con sovraccarichi sul terreno e con input sismici previsti per il sito.

Per quanto sopra detto, si ritiene fattibile il progetto del Piano di Recupero, indicando alla progettazione di realizzare un efficiente sistema per la regimazione delle acque meteoriche ed ipodermiche.

Bibbiena lì, 05 settembre 2020  
Dott. Geologo *Giovannini Nicola*  
(Ord. Geologi Toscana n° 1015)

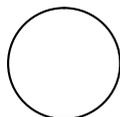
## Tav.1 - Ubicazione dell'area



Scala 1:25.000

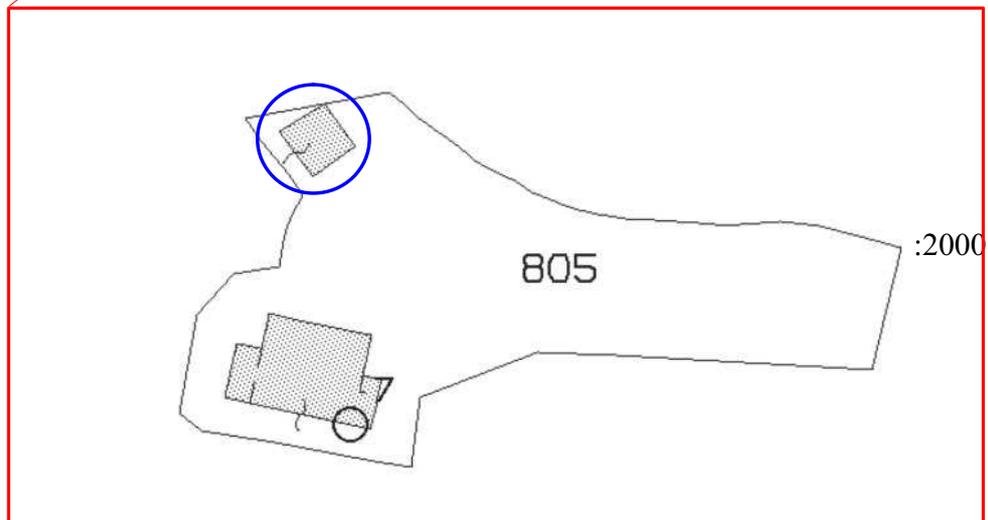
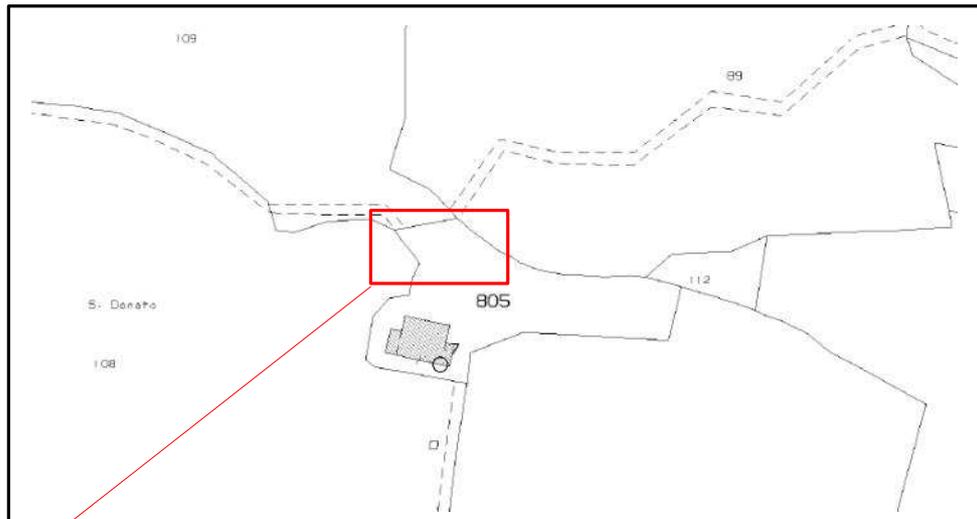
### CARTA TOPOGRAFICA REGIONALE (C.T.R.) QUADRANTE 107 - II - EDIZIONE U.T.M.

Località "San Donato" - Soci  
Comune di Bibbiena (AR)



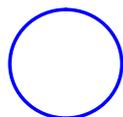
Ubicazione dell'area del Piano di Recupero

## Tav.2 - Planimetria catastale



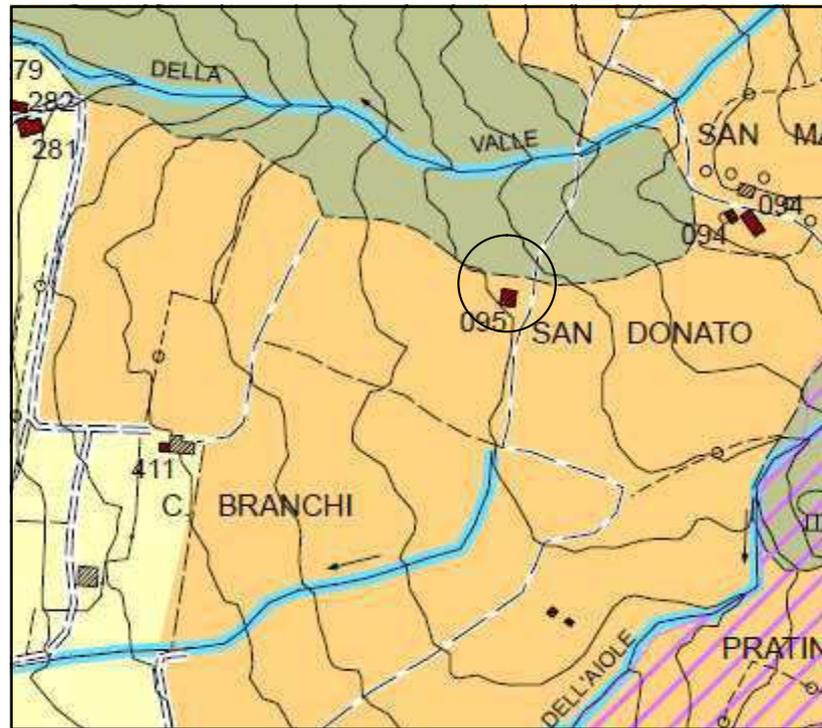
Località "San Donato" - Soci  
Comune di Bibbiena (AR)

Foglio catastale n. 31 - Particella n. 805



Ubicazione dell'area del Piano di Recupero

### Tav.3- Estratto di RU

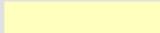


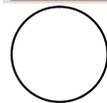
Scala 1: 5.000

Località "San Donato" - Soci  
Comune di Bibbiena (AR)

#### Legenda

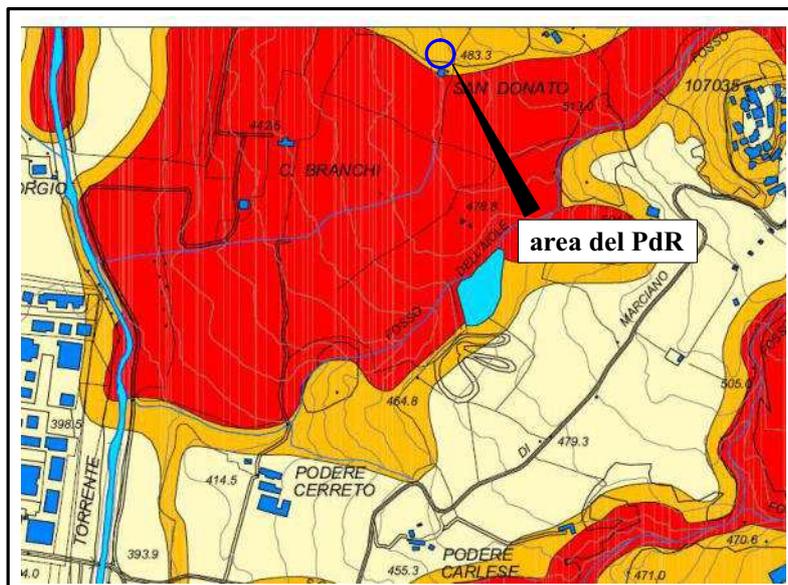
##### Disciplina delle zone agricole

	E1 - Fondovalle molto stretti
	E2 - Fondovalle larghi
	E3 - Colline a struttura mista
	E4 - Coltivi dell'appoderamento mezzadrile
	E5 - Coltivi della piccola proprietà contadina
	E6 - Coltivi elevati a macchia di leopardo interni al bosco
	E7 - Coltivi della montagna
	E8 - Aree di transizione



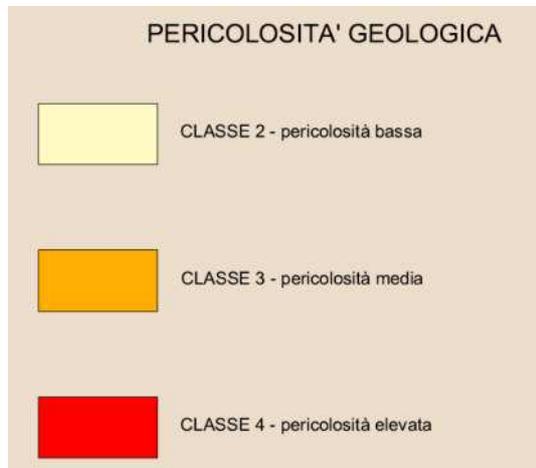
Ubicazione dell'area del Piano di Recupero

## Tav. 4a - Estratto Carta della pericolosità geologica (P.G.)



Località "San Donato" - Soci  
Comune di Bibbiena (AR)

### Legenda



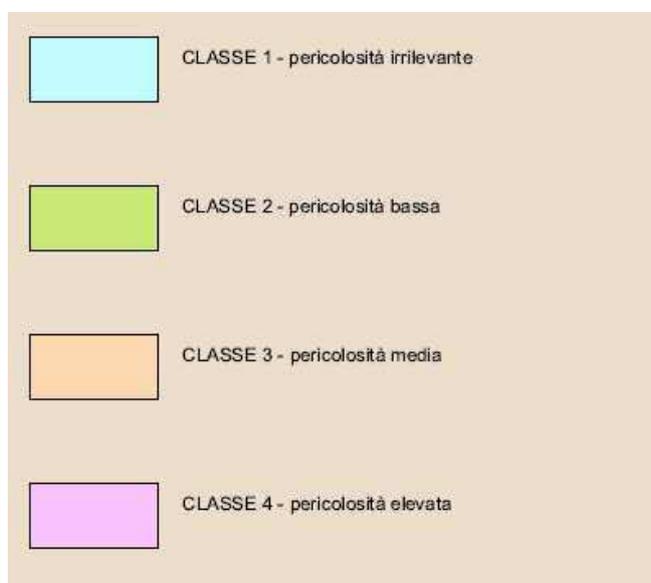
Ubicazione dell'area del Piano di Recupero

## Tav. 4b - Estratto Carta della pericolosità idraulica (P.I.)



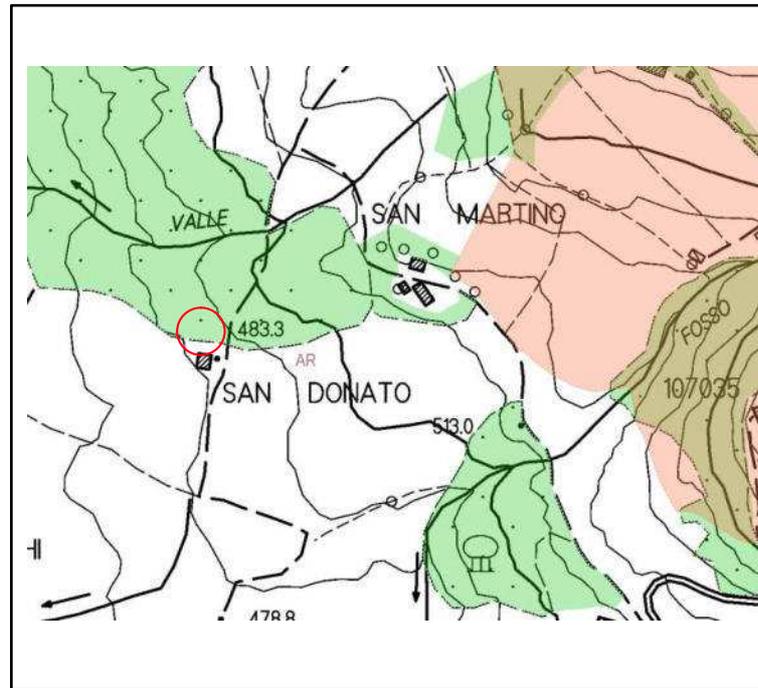
Località "San Donato" - Soci  
Comune di Bibbiena (AR)

### Legenda



Ubicazione dell'area del Piano di Recupero

## Tav.4c - Carta Vincolo Idrogeologico e Vincolo Aree Boscate



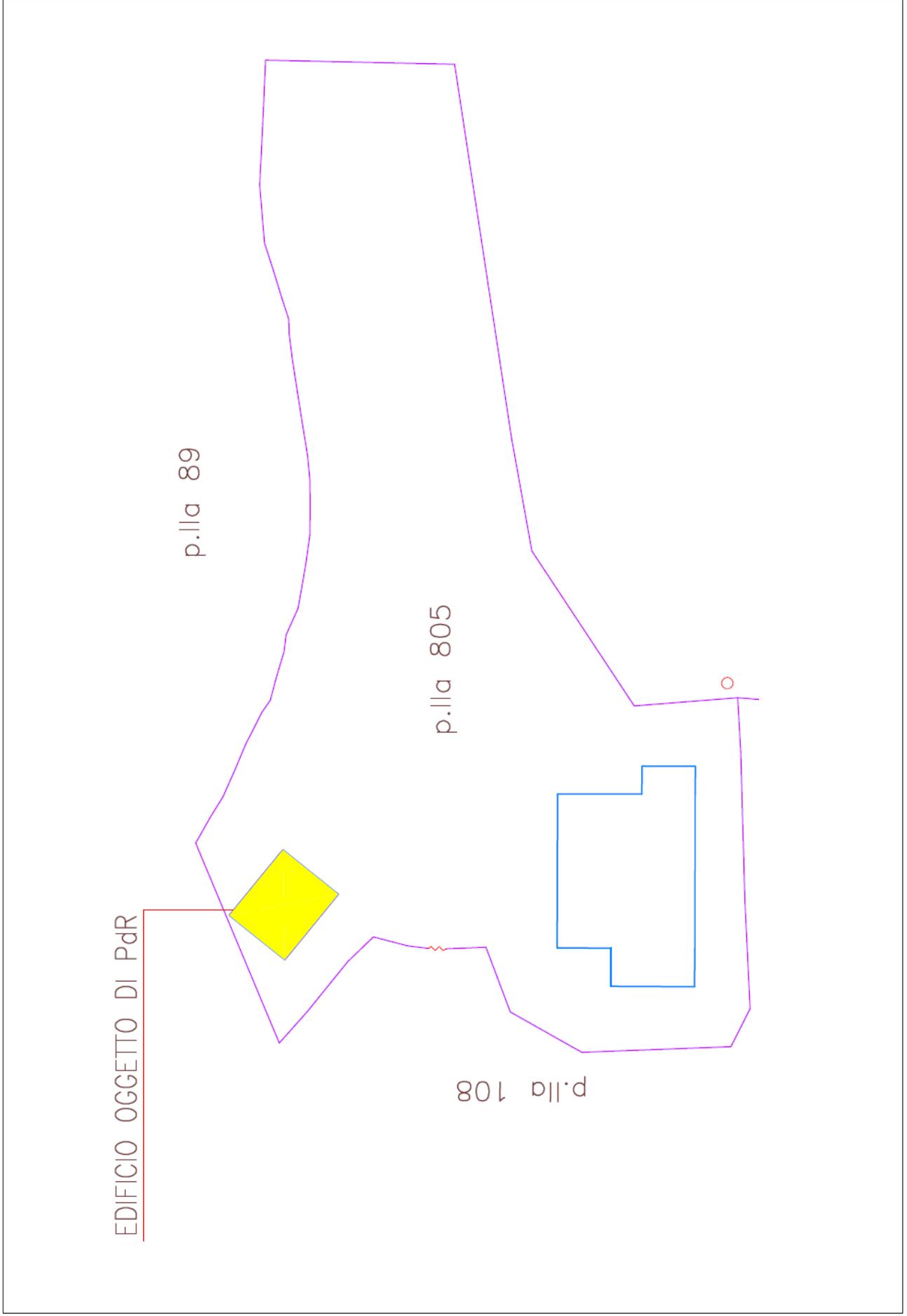
Scala 1:5.000

Località "San Donato" - Soci  
Comune di Bibbiena (AR)

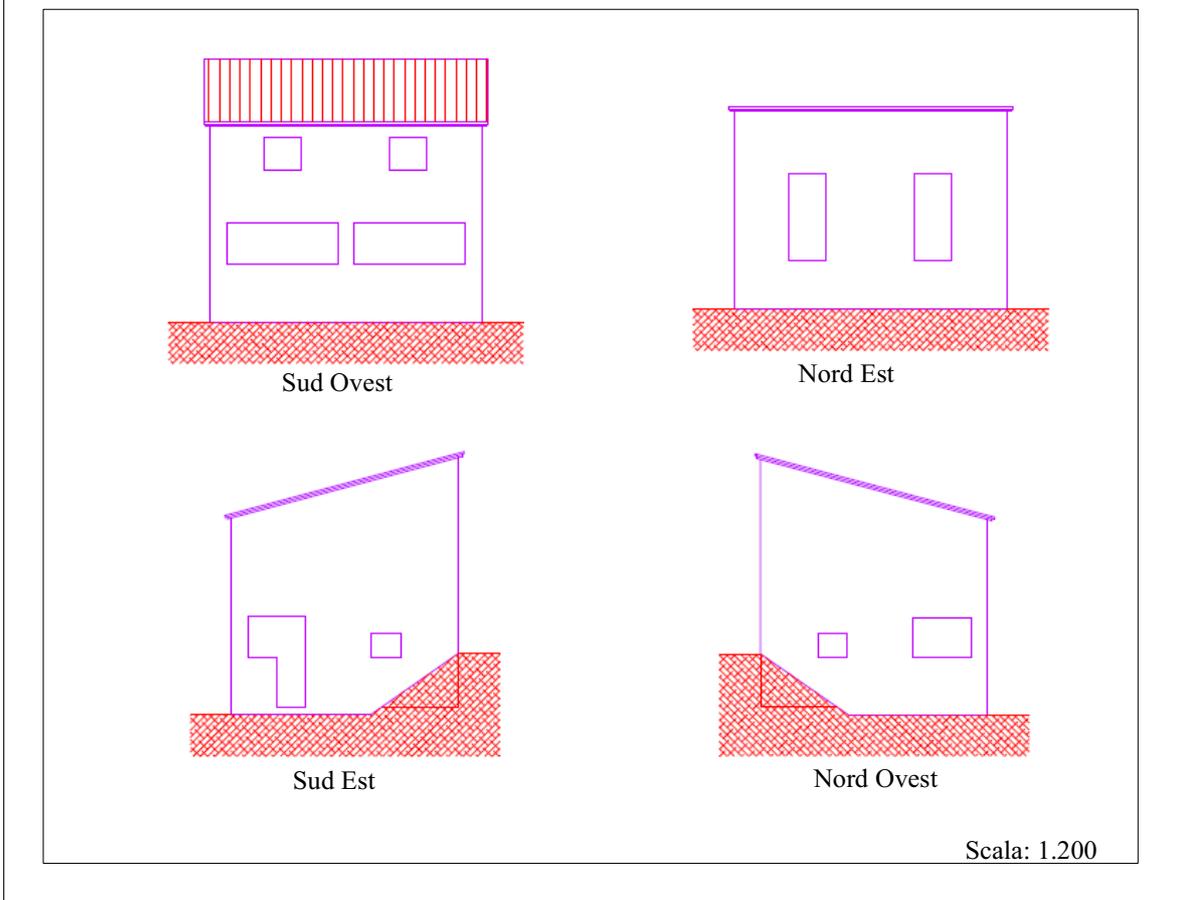
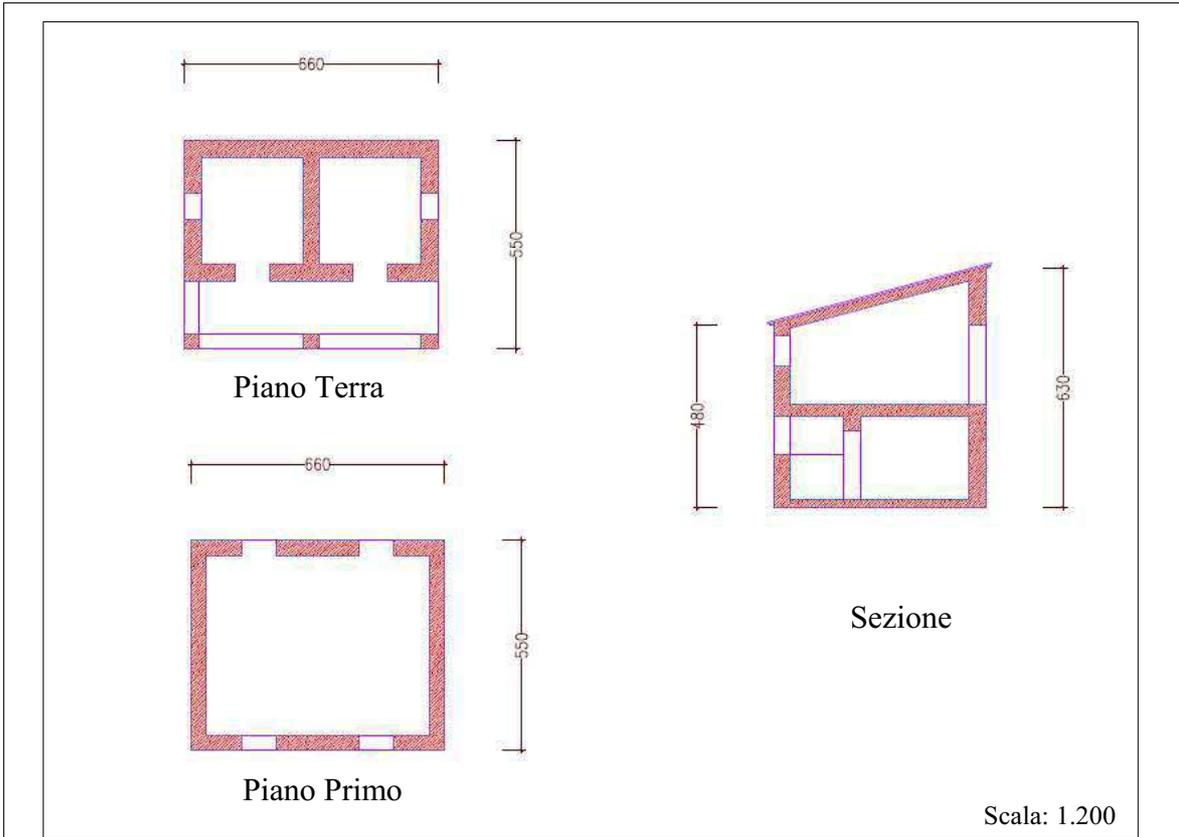
### Legenda

-  Area sottoposta a Vincolo Idrogeologico (R.D. 3267/23)
-  Area sottoposta a Vincolo Idrogeologico (R.D. 3267/23) e Vincolo Area Boscata
-  Ubicazione dell'area del Piano di Recupero

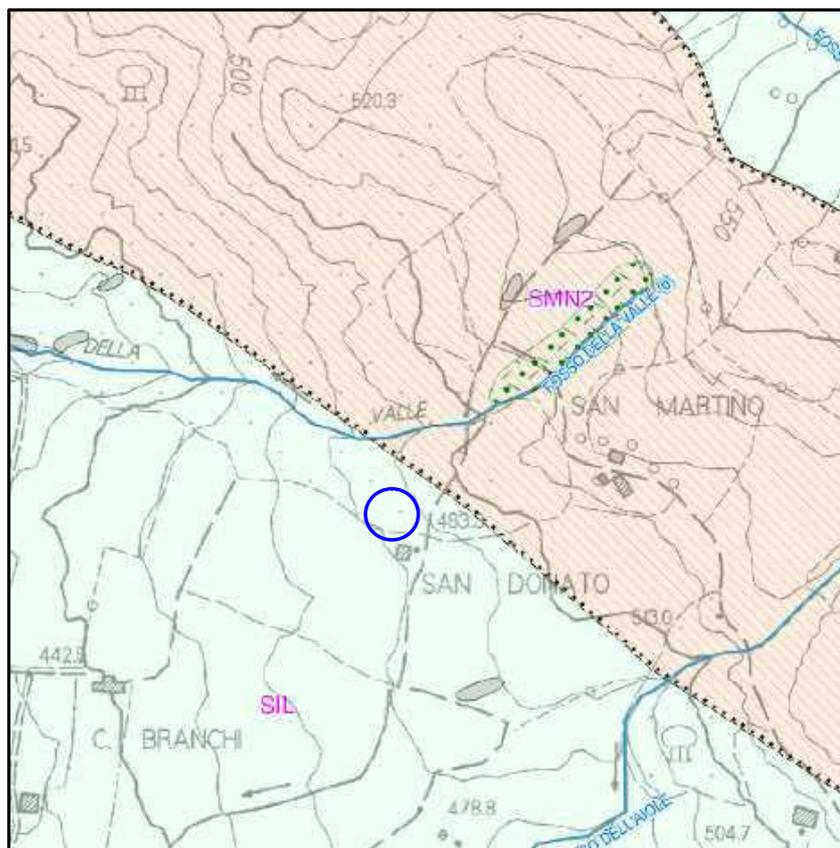
**Tav.5a - Dati di progetto - Planimetria generale**



# Tav.5b - Dati di progetto - Sezioni e Prospetti



## Tav.6 - Carta geologica



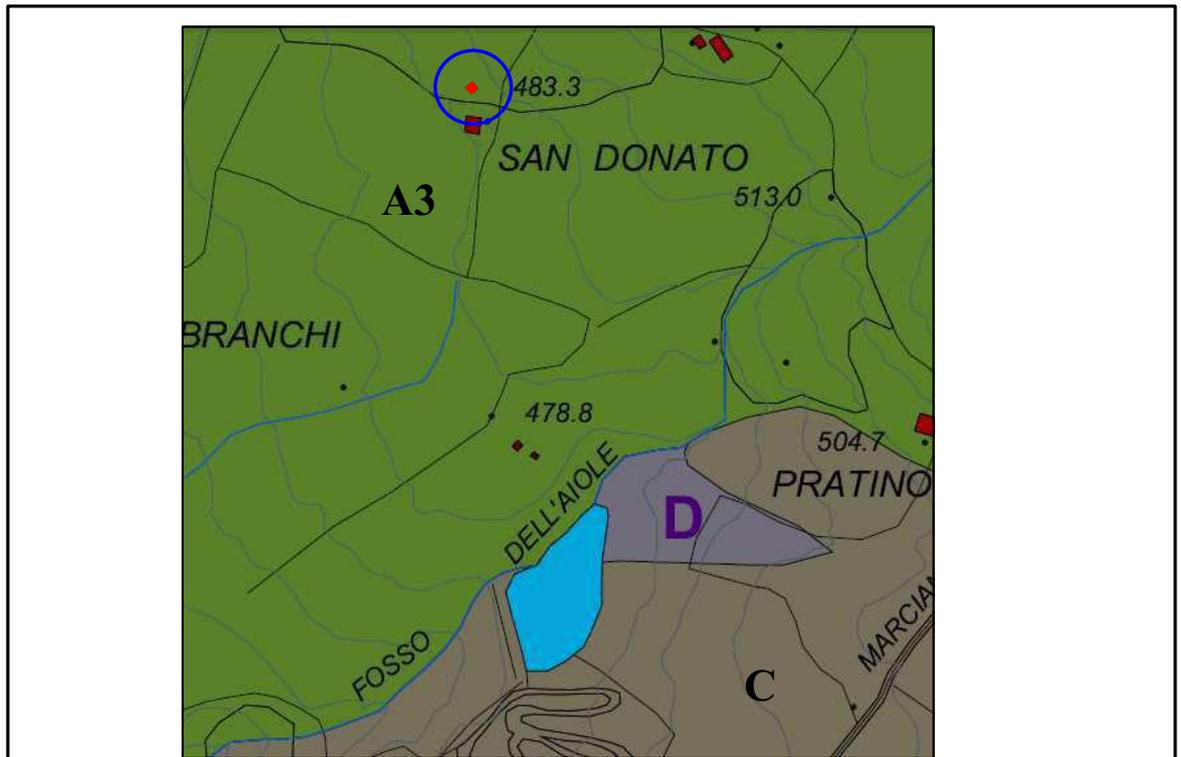
Scala 1:5.000

Località "San Donato" - Soci  
Comune di Bibbiena (AR)

### Legenda

-  SMN2 - Formazione di San Marino  
Membro stratificato (*Burdigliano Sup.*)
-  SIL - Formazione di Sillano  
(*Cretacico Sup. - Paleocene*)
-  Detrito di versante
-  Afforamento
-  Contatto stratigrafico inconforme - spolto
-  Ubicazione dell'area del Piano di Recupero

## Tav.7 - Carta litotecnica



Scala 1: 5000

Località "S. Donato"  
Comune di Bibbiena (AR)

### Legenda

#### SUCCESSIONI CONGLOMERATICHE GHIAIOSE-SABBIOSE-ARGILLOSE

*Prevalentemente incoerenti con livelli parzialmente diagenizzati*



Depositi incoerenti costituiti da materiali litoidi spigolosi a pezzatura diversa immersa in matrice fine derivante da azioni antropiche o dal disfacimento delle formazioni limitrofe ed accumulatisi ai piedi dei versanti per azione gravitativa.

#### SUCCESSIONI CON ALTERNANZE DI LITOTIPI A ARGILLOSI

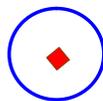


Argilliti con intercalazioni di calcari marnosi in assetto caoticizzato, marne stratificate esfoliabili, con proprietà geotecniche da medie a scadenti. Le caratteristiche meccaniche di tale formazione diminuiscono fortemente, sia per la presenza di acqua che all'aumentare del grado di alterazione.

#### LITOTIPIO LAPIDEI

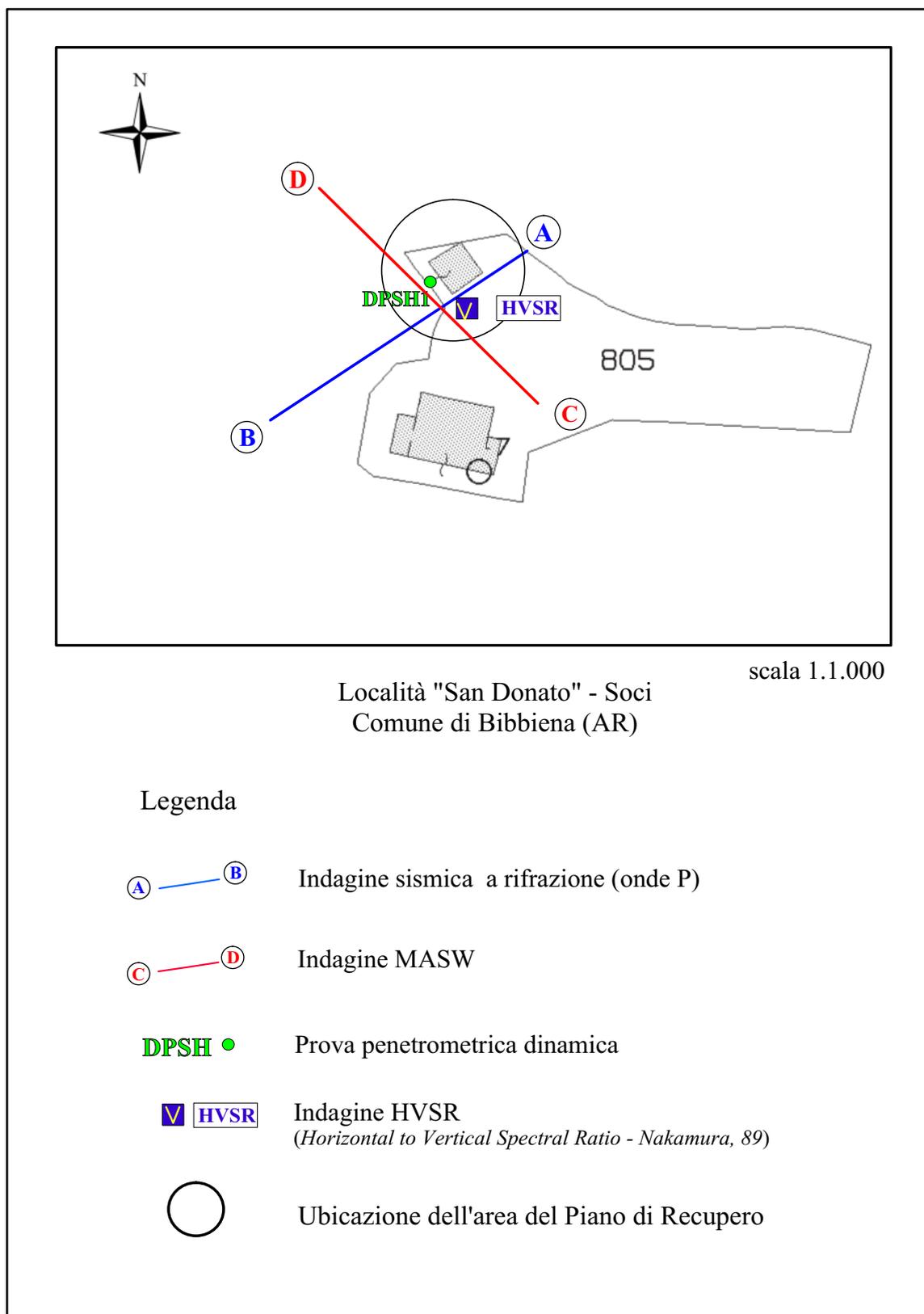


Successioni calcaree - rocce calcaree aventi proprietà fisico-meccaniche assai suscettibili in funzione del grado di alterazione e di fratturazione

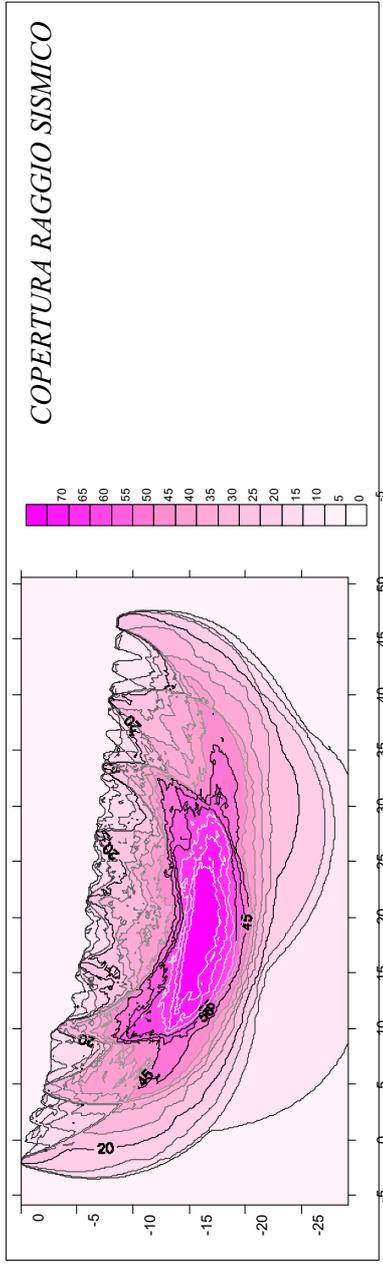
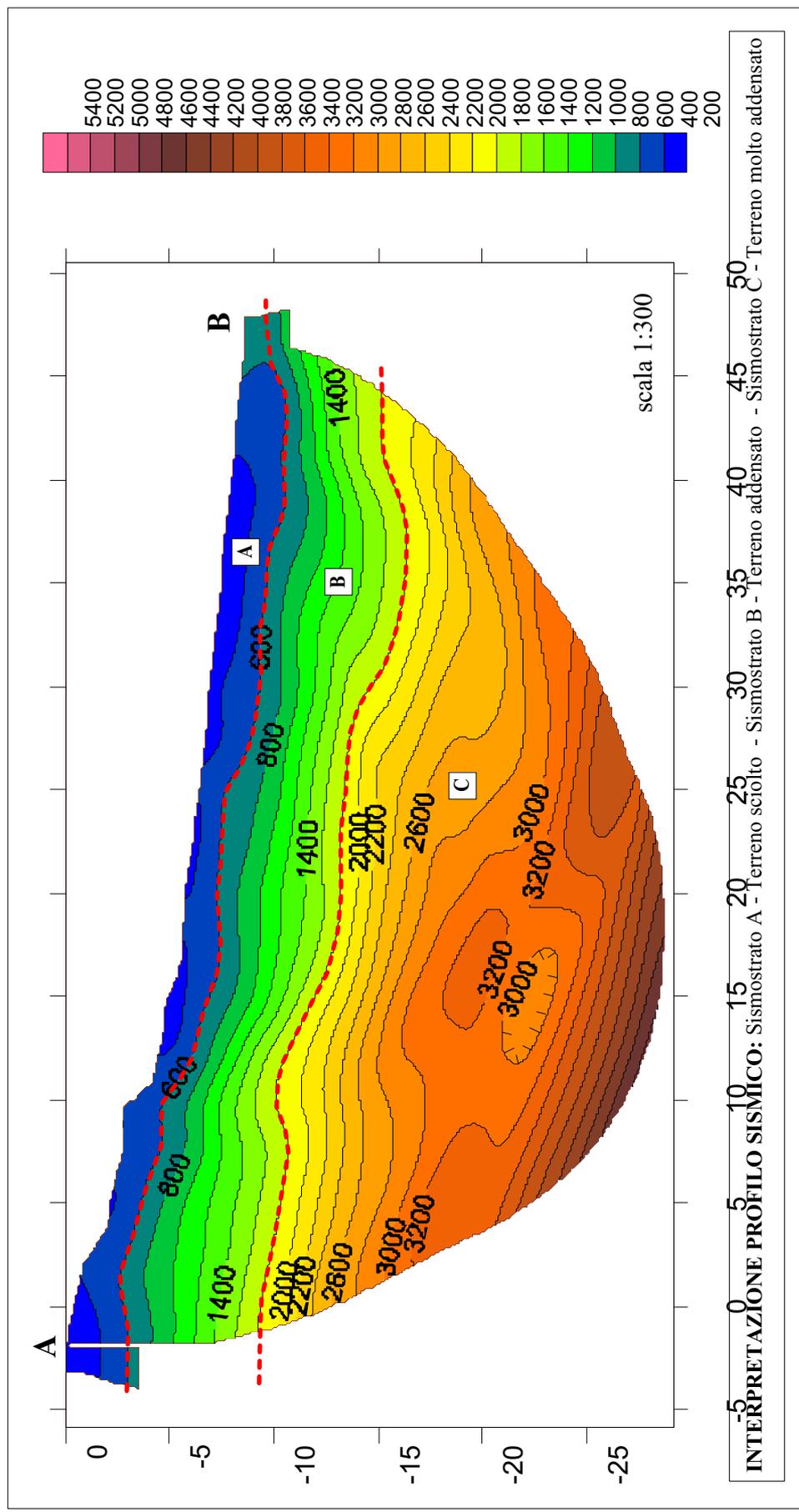


Ubicazione dell'area del Piano di Recupero

## Tav.8 - Ubicazione delle indagini geognostiche



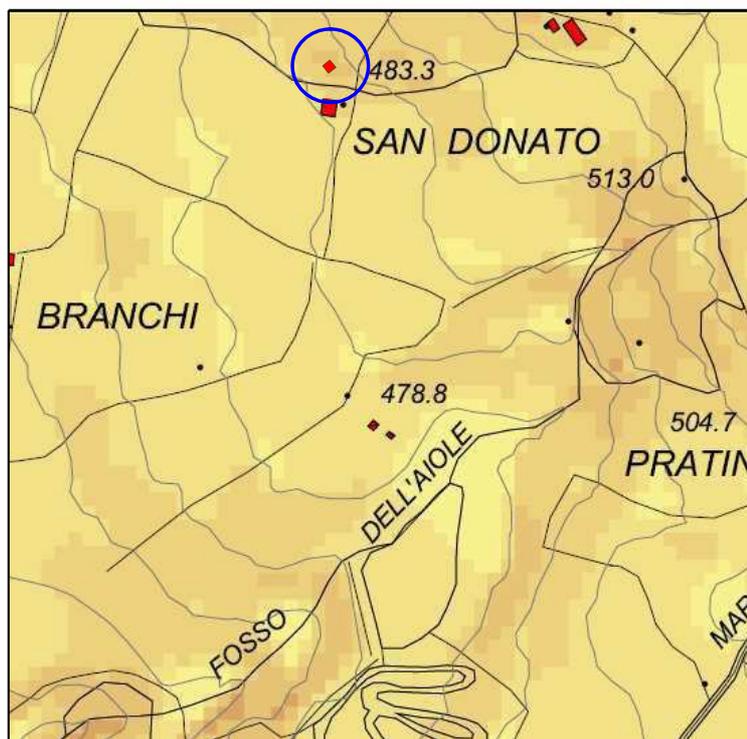
**Tav.9 - Sezione sismica (onde P) - Elaborazione tomografica A-B**



**TOMOGRAFIA SISMICA**

*Località "San Donato"  
Comune di Bibbiena (AR)*

## Tav.10 - Carta della pendenza

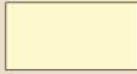


Scala 1: 5000

Località "San Donato" - Soci  
Comune di Bibbiena (AR)

### Legenda

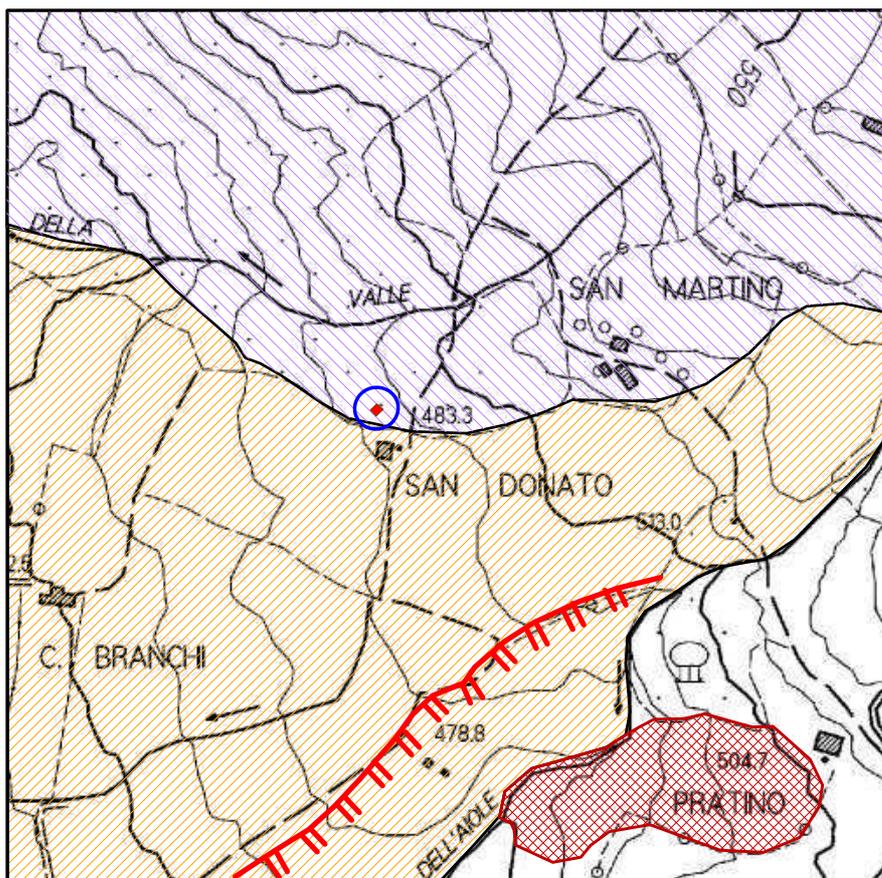
#### *Classi di pendenza*

	Classe 1-Pendenze 0%-5%
	Classe 2-Pendenze 5%-10%
	Classe 3-Pendenze 10%-15%
	Classe 4-Pendenze 15%-25%



Ubicazione dell'area del Piano di Recupero

## Tav.11 - Carta geomorfologica



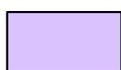
Scala 1:5000

Località "San Donato" - Soci  
Comune di Bibbiena (AR)

### Legenda



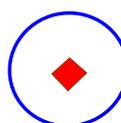
Corpo di frana quiescente



Corpo di frana relitta

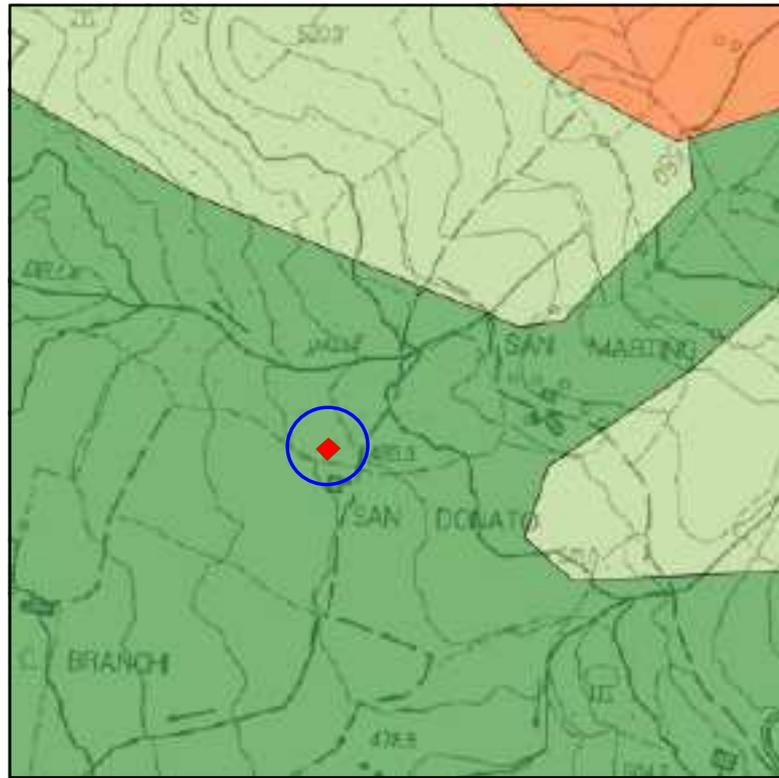


Orlo di scarpata



Ubicazione dell'area del Piano di Recupero

**Tav.12 - Estratto P.A.I. - Frana**



Scala 1:5.000

Località "San Donato" - Soci  
Comune di Bibbiena (AR)

Legenda

PAI Frane 25k

 Aree non studiate

 PF1

 PF2

PAI Frane 10k

 2

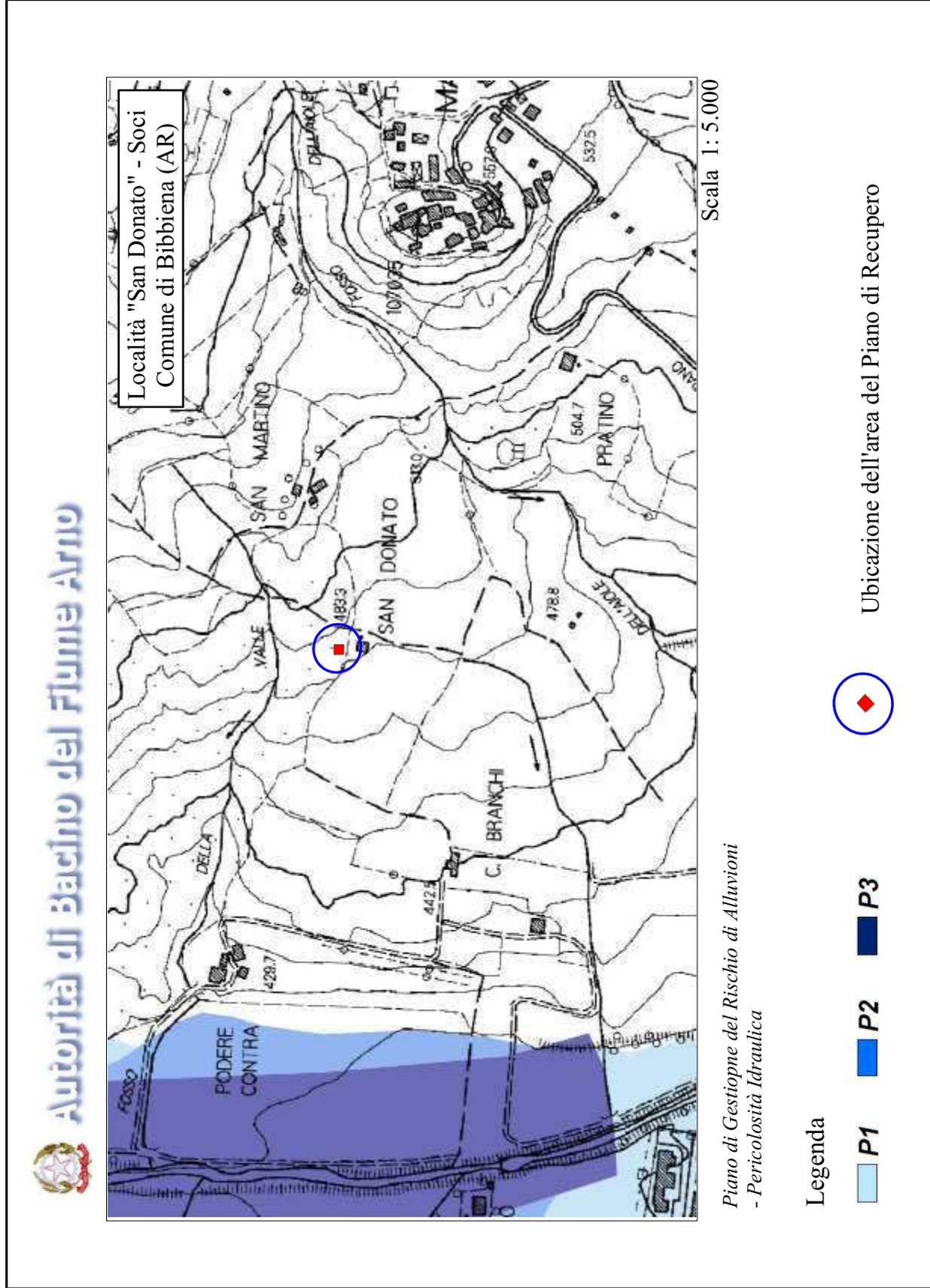
 3

 4

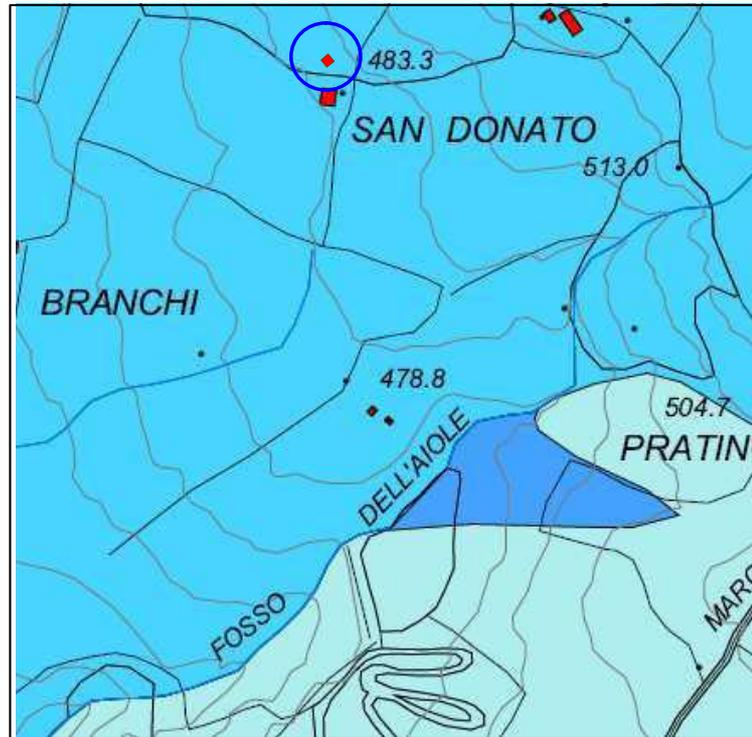


Ubicazione dell'area del Piano di Recupero

Tav.13 - Estratto P.A.I. - PGRA



## Tav.14 - Carta Idrogeologica

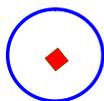


Scala 1: 5000

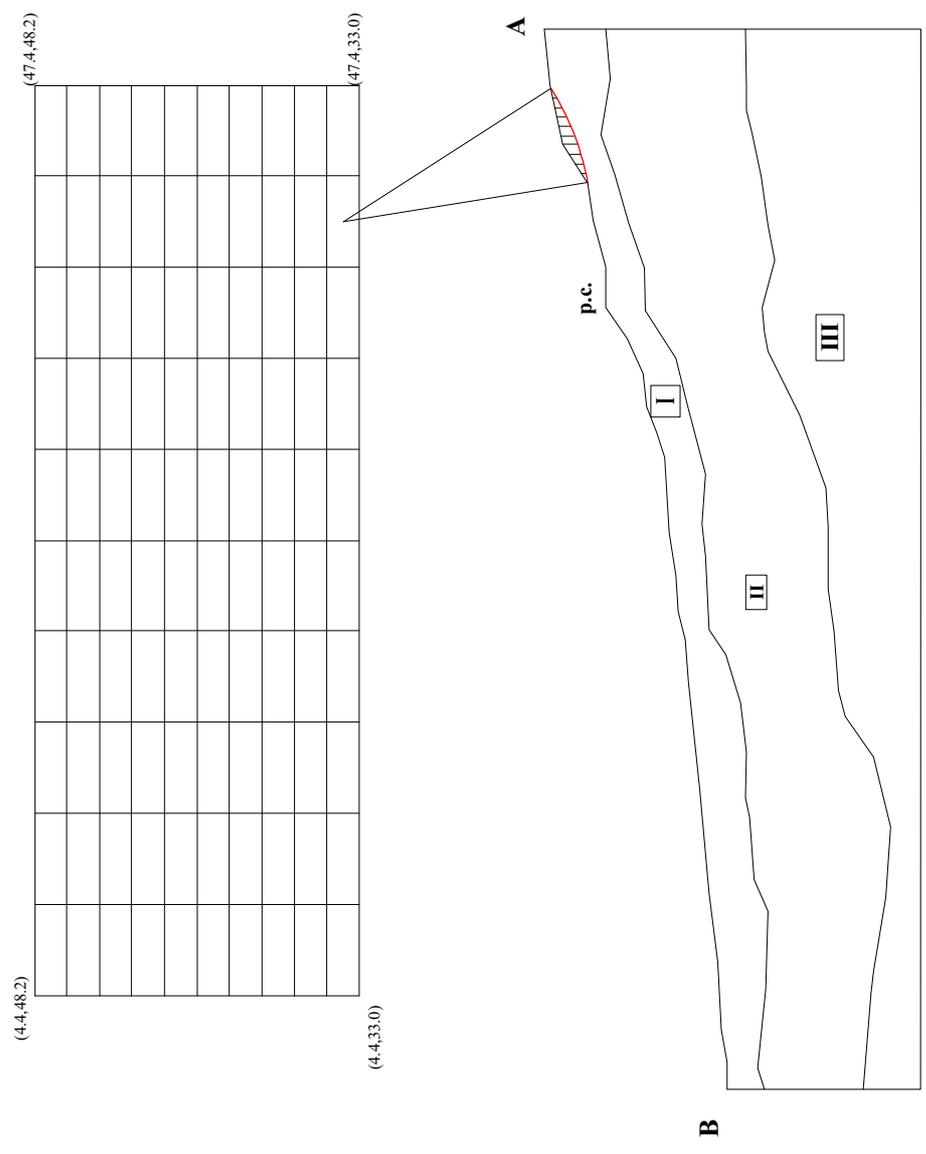
Località "Memmenano"  
Comune di Poppi (AR)

### Legenda

#### *Classi di permeabilità*

-  Permeabilità primaria medio-elevata
-  Permeabilità secondaria media
-  Permeabilità secondaria bassa
-  Ubicazione dell'area del Piano di Recupero

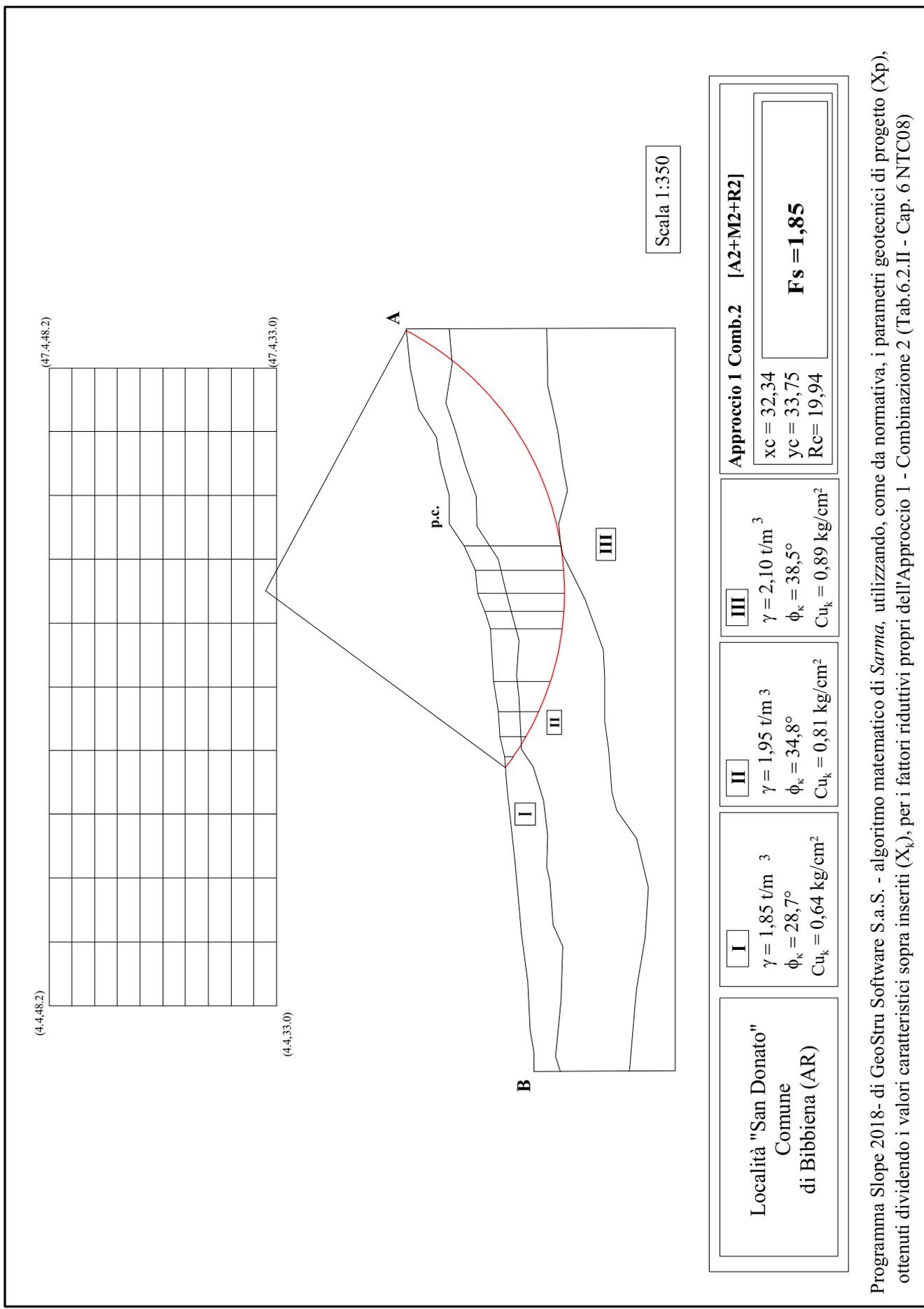
# Tav.15a - Analisi di stabilità del versante (STATO ATTUALE - condizioni drenate) - Sez. A-B



Località "San Donato" Comune di Bibbiena (AR)			
<b>I</b>	$\gamma = 1,85 \text{ t/m}^3$ $\phi_k = 28,7^\circ$ $c'_k = 0,01 \text{ kg/cm}^2$	<b>II</b>	$\gamma = 1,95 \text{ t/m}^3$ $\phi_k = 34,8^\circ$ $c'_k = 0,02 \text{ kg/cm}^2$
<b>III</b>	$\gamma = 2,10 \text{ t/m}^3$ $\phi_k = 38,5^\circ$ $c'_k = 0,03 \text{ kg/cm}^2$	<b>Approccio 1 Comb.2 [A2+M2+R2]</b> $x_c = 40,93$ $y_c = 33,75$ $R_c = 11,53$ <b>Fs = 1,16</b>	

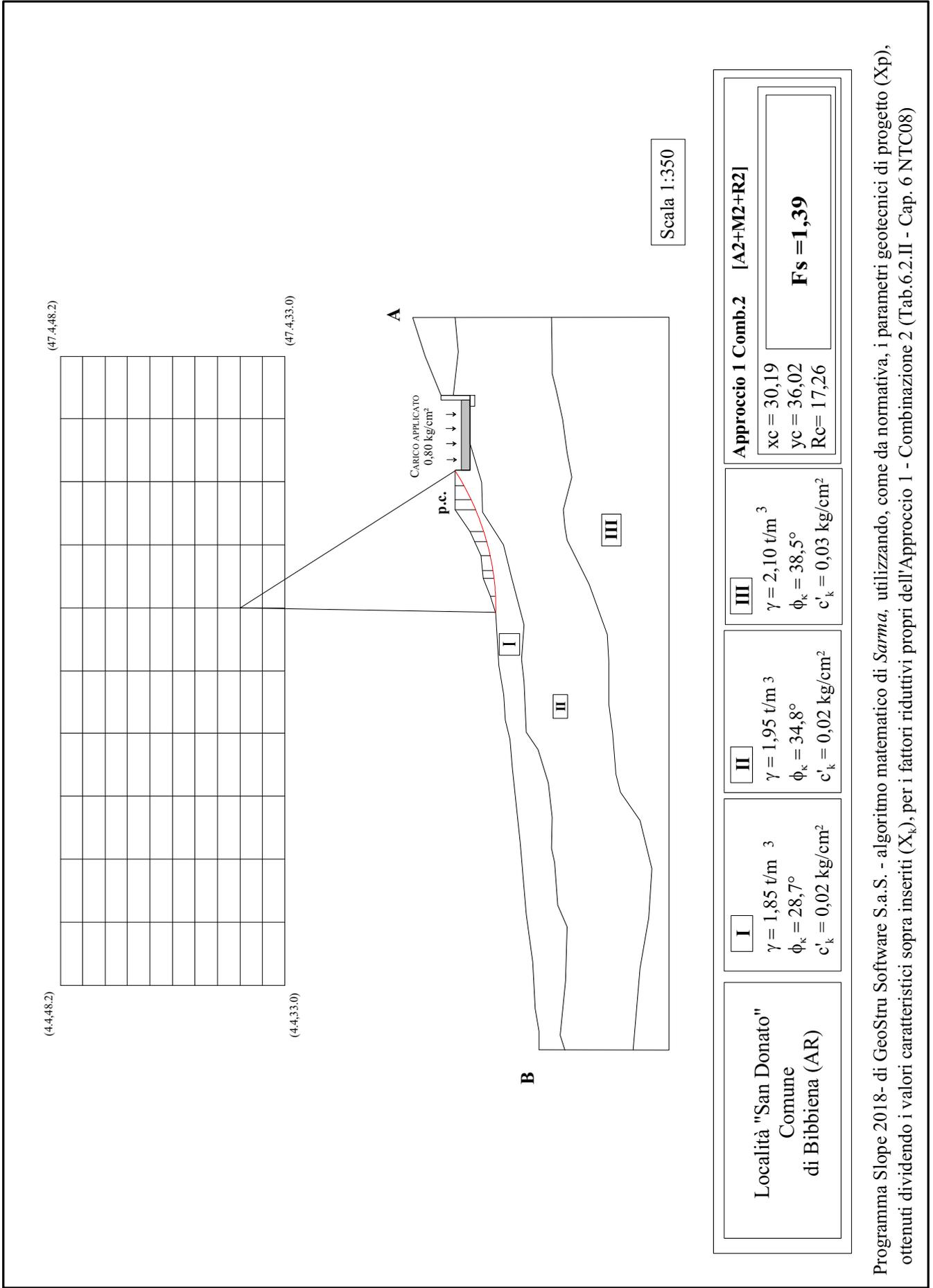
Programma Slope 2018- di GeoStru Software S.a.S. - algoritmo matematico di *Sarma*, utilizzando, come da normativa, i parametri geotecnici di progetto (Xp), ottenuti dividendo i valori caratteristici sopra inseriti (Xk), per i fattori riduttivi propri dell'Approccio 1 - Combinazione 2 (Tab.6.2.II - Cap. 6 NTC08)

**Tav.15b - Analisi di stabilità del versante (STATO ATTUALE - condizioni non drenate) - Sez. A-B**

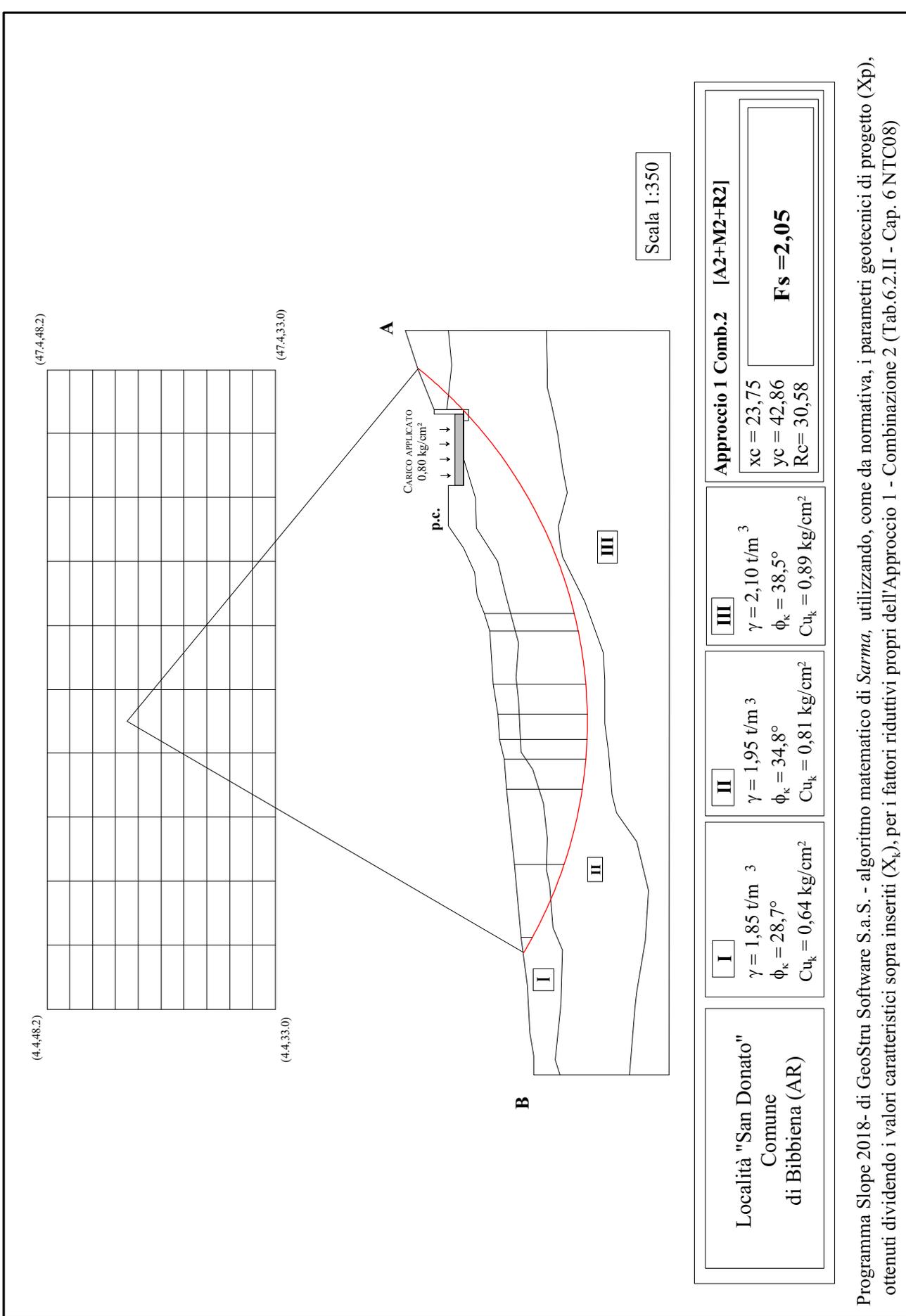


Programma Slope 2018- di GeoStru Software S.a.S. - algoritmo matematico di *Sarma*, utilizzando, come da normativa, i parametri geotecnici di progetto (Xp), ottenuti dividendo i valori caratteristici sopra inseriti (X<sub>k</sub>), per i fattori riduttivi propri dell'Approccio 1 - Combinazione 2 (Tab.6.2.II - Cap. 6 NTC08)

# Tav.15c - Analisi di stabilità del versante (STATO PROGETTO - condizioni drenate) - Sez. A-B

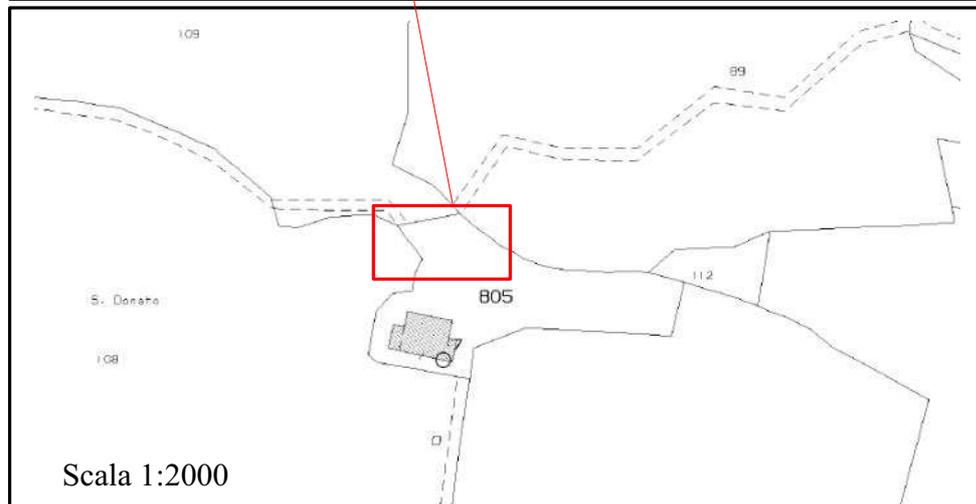
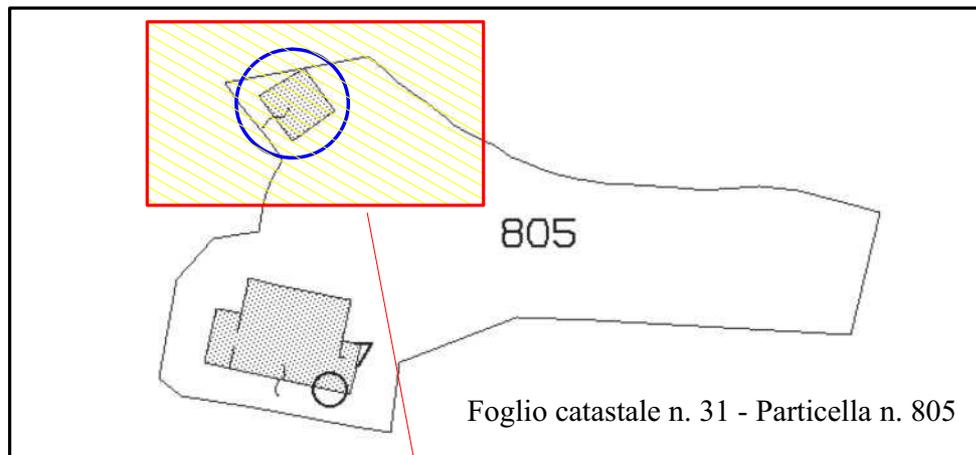
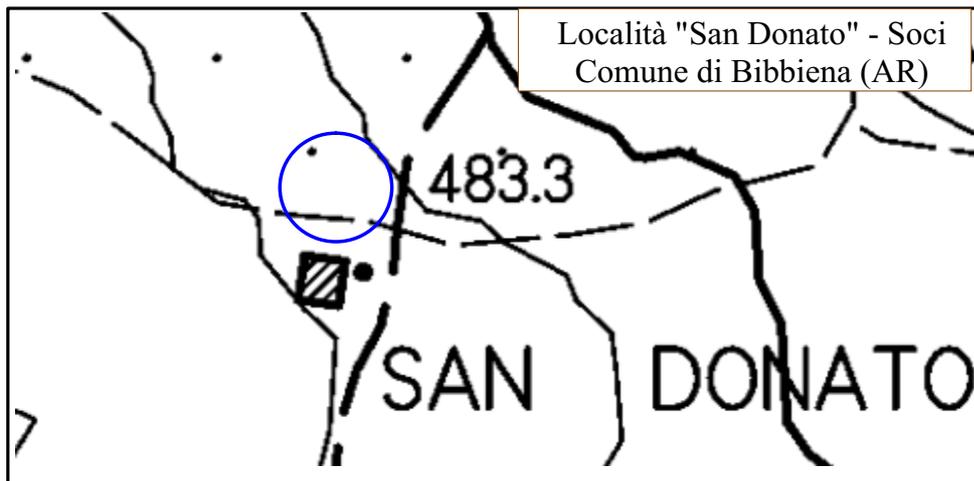


# Tav.15d - Analisi di stabilità del versante (STATO PROGETTO - condizioni non drenate) - Sez. A-B

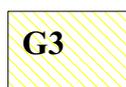


Programma Slope 2018- di GeoStru Software S.a.S. - algoritmo matematico di *Sarma*, utilizzando, come da normativa, i parametri geotecnici di progetto (Xp), ottenuti dividendo i valori caratteristici sopra inseriti (Xk), per i fattori riduttivi propri dell'Approccio 1 - Combinazione 2 (Tab.6.2.II - Cap. 6 NTC08)

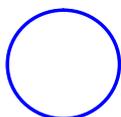
Tav.16a - Carta della pericolosità geologica



Legenda

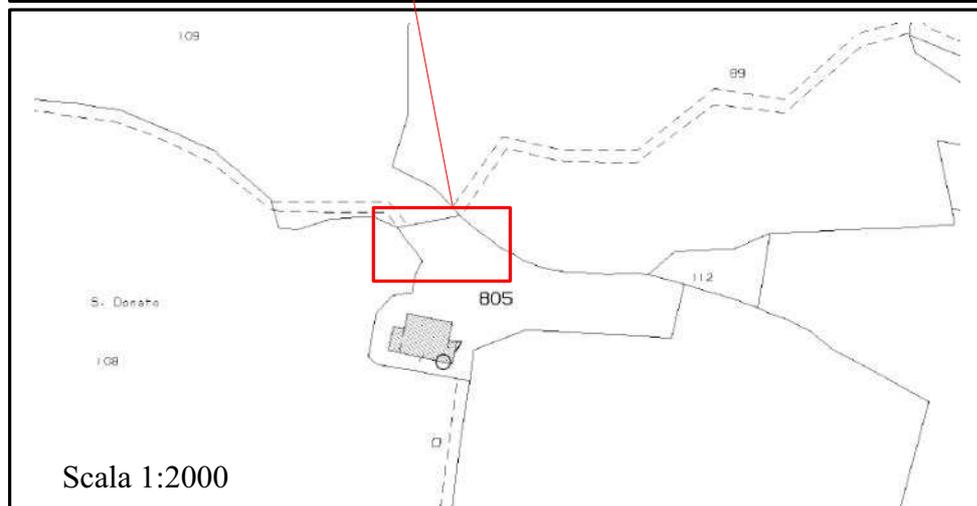
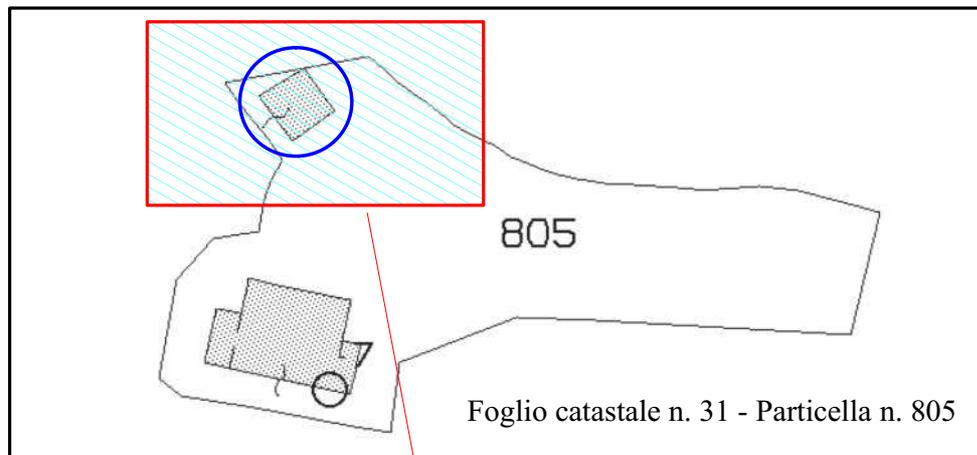
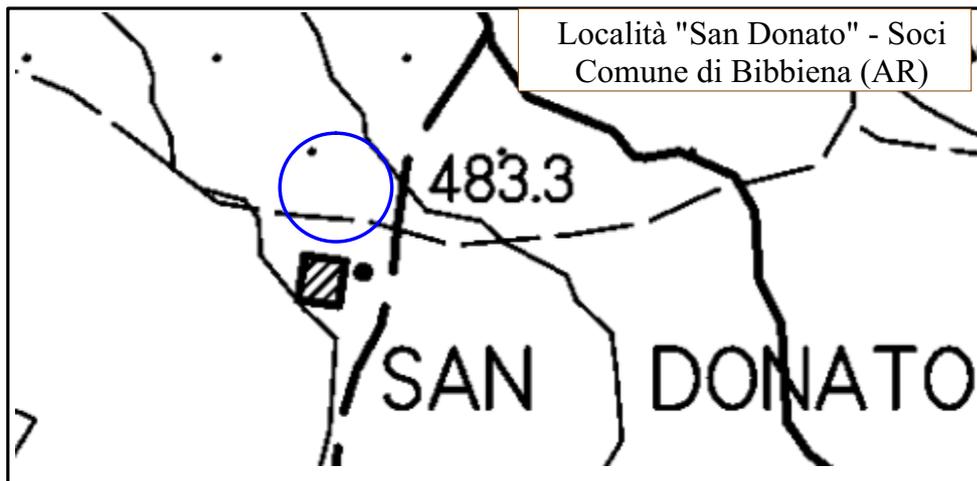


*Pericolosità geologica elevata (G.3)*



Ubicazione dell'area del Piano di Recupero

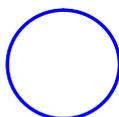
**Tav.16b - Carta della pericolosità da alluvioni**



**Legenda**



*Area a Pericolosità da alluvioni rare o di estrema intensità (P1)*



Ubicazione dell'area del Piano di Recupero

**Prova penetrometrica dinamica  
DPSH1**

(eseguiti in data 26/08/2020)

Ditta "Galileo Geofisica" - località Ponte alla Chiassa 294 - Arezzo

*Località "San Donato", Soci - Comune di Bibbiena (AR)*

<b>PROVA PENETROMETRICA DINAMICA</b> <b>LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI</b>	<b>DIN</b>	<b>1</b>
	Riferimento	<b>180-2020</b>

Committente	<b>Dott. Geologo Nicola Giovannini</b>	U.M.:	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>	Data esec.	<b>26/08/2020</b>
Cantiere	<b>Marciano</b>	Pagina	<b>1</b>	Falda	<b>Non rilevata</b>
Località	<b>Soci, Bibbiena (AR)</b>	Elaborato			

H m	note n°	L1 n°	L2 n°	qcd kg/cm <sup>2</sup>	H m	note n°	L1 n°	L2 n°	qcd kg/cm <sup>2</sup>
0,20	1	8		59,6					
0,40	1	6		44,7					
0,60	2	10		74,5					
0,80	2	9		67,0					
<b>1,00</b>	2	10		69,0					
1,20	2	25		172,6					
1,40	2	45		310,7					

H = profondità  
L1 = quota  
L2 = Contatto

qcd = Collaborazioni  
note = spec.tec.

note: FON050

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA**  
**DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA**

**DIN**

**1**

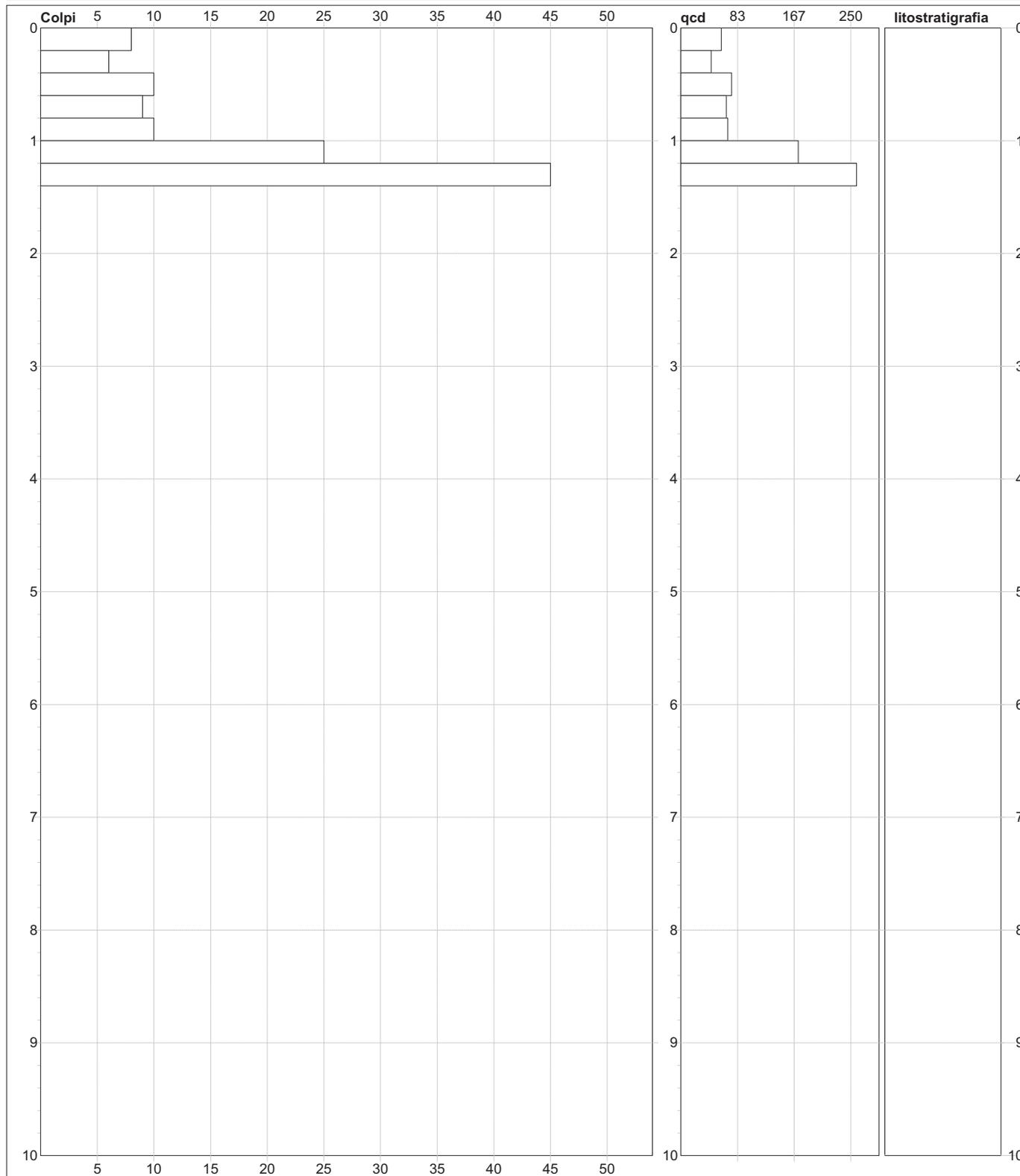
Riferimento

**180-2020**

Committente **Dott. Geologo Nicola Giovannini**  
 Cantiere **Marciano**  
 Località **Soci, Bibbiena (AR)**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**  
 Scala: **1:50**  
 Pagina **1**  
 Elaborato

Data esec. **26/08/2020**  
 Quota inizio: : **Piano Campagna**  
 Falda **Non rilevata**



**Penetrometro:** DPSH (S. Heavy)  
 63,50 kg  
 0,75 m  
 0,20 m

sist.litologico: **Begemann [qc + qc/fs] 4 Zone**  
 Responsabile:  
 Assistente::

preforo **m**  
 Corr.astine: : **kg/ml**  
 Cod.ISTAT: **0**

note:

FON050

<b>PROVA PENETROMETRICA DINAMICA</b> <b>SUDDIVISIONE GEOTECNICA</b>	<b>DIN</b>	<b>1</b>
	Riferimento	<b>180-2020</b>

Committente	<b>Dott. Geologo Nicola Giovannini</b>	U.M.:	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>	Data esec.	26/08/2020
Cantiere	<b>Marciano</b>	Pagina	1	Falda	Non rilevata
Località	<b>Soci, Bibbiena (AR)</b>	Elaborato			

**PARAMETRI GENERALI**

n°	profondità m	statistica	VCA colpi	β -	Nspt colpi	rp kg/cm <sup>2</sup>	qc kg/cm <sup>2</sup>	Vs m/sec	G kg/cm <sup>2</sup>	Q kg/cm <sup>2</sup>	natura	descrizione
1	0,00 : 1,00	Media	9	1,52	13	63,0	57,7	102	93	3,15	Coes./Gran.	
2	1,00 : 1,40	Media	35	1,52	53	241,7	217,5	168	287	12,08	Coes./Gran.	

**NATURA COESIVA**

**NATURA GRANULARE**

n°	profondità m	Nspt colpi	Cu kg/cm <sup>2</sup>	Ysat t/m <sup>3</sup>	W %	e -	Mo kg/cm <sup>2</sup>	Dr %	ø °	E' kg/cm <sup>2</sup>	Ysat t/m <sup>3</sup>	Yd t/m <sup>3</sup>	Mo kg/cm <sup>2</sup>	Liq. -
1	0,00 : 1,00	13	0,81	1,93	30,31	0,82	55	40	31	291	1,95	1,53	218	---
2	1,00 : 1,40	53	3,31	2,10	20,20	0,55	136	86	41	600	2,16	1,86	574	---

nota:

FON050

**HVSR** (Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio)

(eseguiti in data 18/08/2020)

*Località "S. Donato", Soci, Comune di Bibbiena (AR)*

## winMASW & HoliSurface - Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio

---

Dataset: MT\_20200818\_093638.SAF

### DATA ACQUISITION

Date and time: 2020 08 18 09 36 38.000

### DATA PROCESSING

Date: 2 9 2020

Time: 9 47

Sampling frequency (Hz): 300

Window length (sec): 10

Length of analysed dataset (min): 16.1

Tapering (%): 8

Smoothing (%): 20

---

**In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range**

Peak frequency (Hz): 18.8 (q4.5)

Peak HVSR value: 3.0 (q0.6)

### ==== Criteria for a reliable H/V curve =====

- #1. [ $f_0 > 10/L_w$ ]:  $18.832 > 1$  (OK)
- #2. [ $n_c > 200$ ]:  $32580 > 200$  (OK)
- #3. [ $f_0 > 0.5\text{Hz}$ ;  $\sigma_A(f) < 2$  for  $0.5f_0 < f < 2f_0$ ] (OK)

### ==== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

- #1. [exists  $f^-$  in the range  $[f_0/4, f_0]$  |  $AH/V(f^-) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 4.8Hz (OK)
- #2. [exists  $f^+$  in the range  $[f_0, 4f_0]$  |  $AH/V(f^+) < A_0/2$ ]: (NO)
- #3. [ $A_0 > 2$ ]:  $3.0 > 2$  (OK)
- #4. [ $f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \text{ \& } \sigma_A(f)] = f_0 \text{ \& } 5\%$ ]: (OK)
- #5. [ $\sigma_{\text{mf}} < \epsilon(f_0)$ ]:  $4.469 > 0.942$  (NO)
- #6. [ $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ ]:  $0.601 < 1.58$  (OK)

Please, be aware of possible industrial/man-induced peaks or spurious peaks due to meaningless numerical instabilities.

Remember that SESAME criteria should be considered in a flexible perspective and that if you modify the processing parameters they can change.

**step#1 (optional) - decimate**  
128 Hz

**step#2 - H/V computation**  
 both Rad. & Tr.   
10 window length (s)  
8 tapering (%)  
9 outlier tolerance threshold  
20% spectral smoothing (triangular window)  
 show particle motion (raw data)  
 full output

**step#3a (optional) - directivity analysis**  
 max freq: 32 Hz

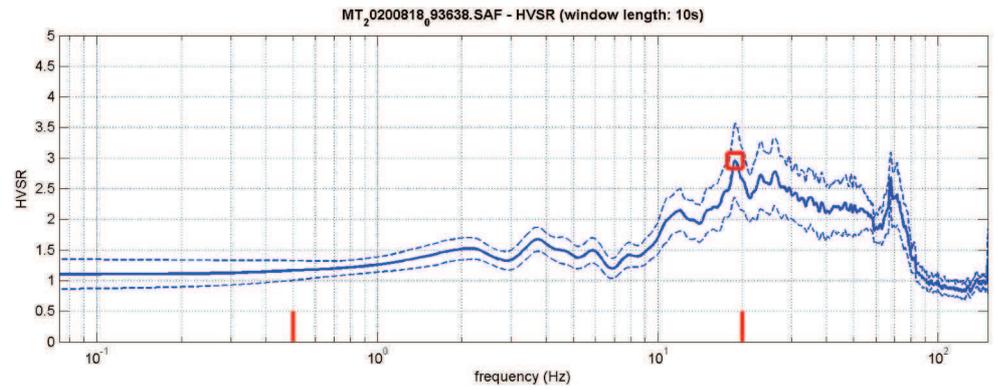
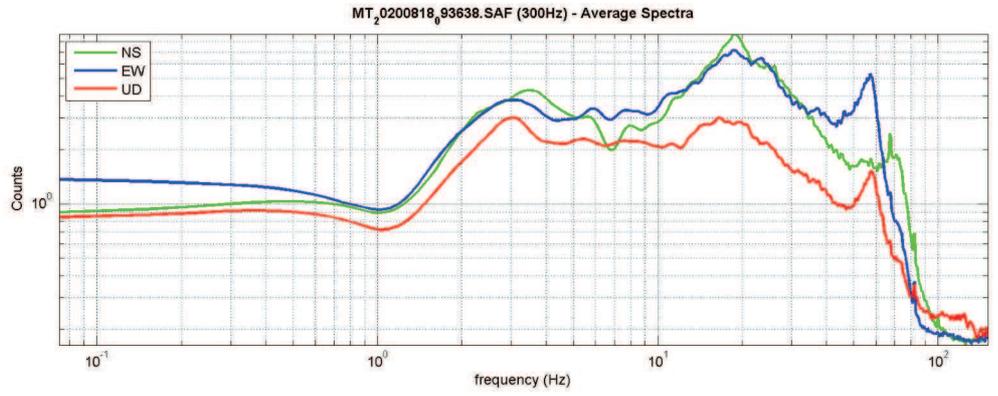
**step#3b (optional) - directivity over time**  
 time step: 60 s

**save - option#1: save HVSR as it is**  
save HV from 0.05 to 64 Hz

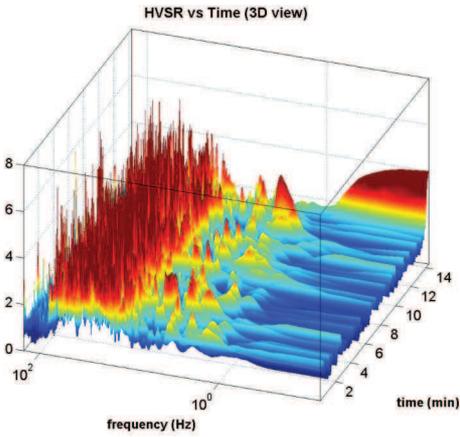
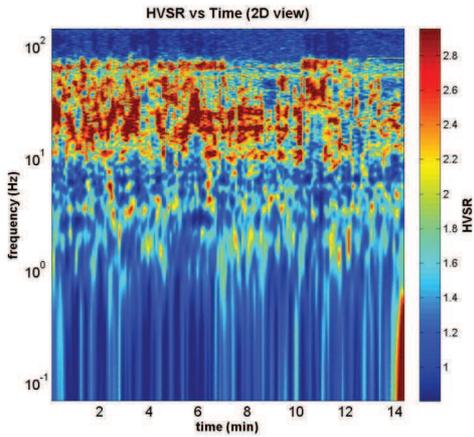
**save - option#2: picking H/V curve**

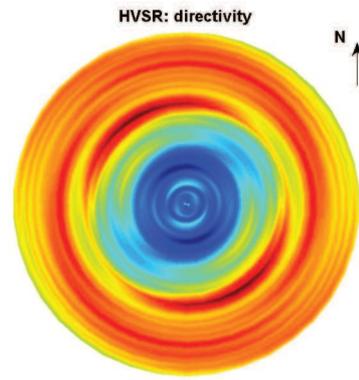
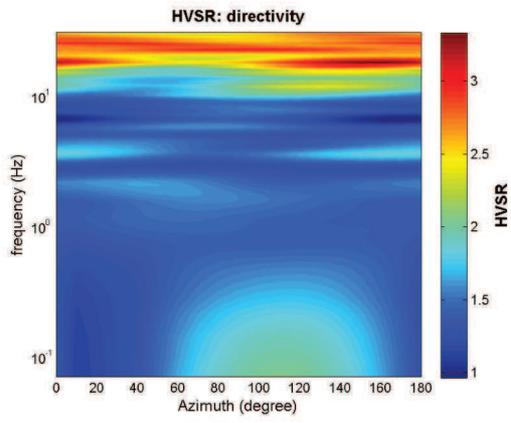
**quick analysis (f-Vs/H)**  
180 average Vs (m/s) (from surface to bedrock)  
20 depth of the bedrock (m)  
1000 Vs of the bedrock

www.winmasw.com



To model the HVSR (also jointly with MASW or ReMi/ESAC data), save the HV curve, go to the "Velocity Spectrum/s, Modeling & Picking" panels and upload the saved HV curve





winMASW & HoliSurface - Surface Waves and Beyond

[www.winmasw.com](http://www.winmasw.com)

## **Analisi di stabilità del versante**

*Località “San Donato”, Soci, nel Comune di Bibbiena (AR)*

## RELAZIONE DI CALCOLO

### Definizione

Per pendio s'intende una porzione di versante naturale il cui profilo originario è stato modificato da interventi artificiali rilevanti rispetto alla stabilità. Per frana s'intende una situazione di instabilità che interessa versanti naturali e coinvolgono volumi considerevoli di terreno.

### Introduzione all'analisi di stabilità

La risoluzione di un problema di stabilità richiede la presa in conto delle equazioni di campo e dei legami costitutivi. Le prime sono di equilibrio, le seconde descrivono il comportamento del terreno. Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.

Nella maggior parte dei casi ci si trova a dover trattare un materiale che se saturo è per lo meno bifase, ciò rende la trattazione delle equazioni di equilibrio notevolmente complicata. Inoltre è praticamente impossibile definire una legge costitutiva di validità generale, in quanto i terreni presentano un comportamento non-lineare già a piccole deformazioni, sono anisotropi ed inoltre il loro comportamento dipende non solo dallo sforzo deviatorico ma anche da quello normale. A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:

(a) Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione ( $c$ ) e angolo di resistenza al taglio ( $\phi$ ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.

(b) In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

### Metodo equilibrio limite (LEM)

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio ( $\tau$ ) e confrontate con la resistenza disponibile ( $\tau_f$ ), valutata secondo il criterio di rottura di *Coulomb*, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza  $F = \tau_f / \tau$ .

Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (*Culman*), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (*Fellenius, Bishop, Janbu ecc.*). Di seguito vengono discussi i metodi dell'equilibrio limite dei conci.

### Metodo dei conci

La massa interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di conci. Se il numero dei conci è pari a  $n$ , il problema presenta le seguenti incognite:

$n$  valori delle forze normali  $N_i$  agenti sulla base di ciascun concio;

$n$  valori delle forze di taglio alla base del concio  $T_i$

$(n-1)$  forze normali  $E_i$  agenti sull'interfaccia dei conci;

$(n-1)$  forze tangenziali  $X_i$  agenti sull'interfaccia dei conci;

$n$  valori della coordinata  $a$  che individua il punto di applicazione delle  $E_i$ ;

$(n-1)$  valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle  $X_i$ ;

una incognita costituita dal fattore di sicurezza  $F$ .

### Complessivamente le incognite sono $(6n-2)$ .

mentre le equazioni a disposizione sono:

Equazioni di equilibrio dei momenti  $n$

Equazioni di equilibrio alla traslazione verticale  $n$

Equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale  $n$

Equazioni relative al criterio di rottura  $n$

Totale numero di equazioni  $4n$

Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a

$$i = (6n-2)-(4n) = 2n-2.$$

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a  $(n-2)$  in quando si fa l'assunzione che  $N_i$  sia applicato nel punto medio della striscia, ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite.

I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le  $(n-2)$  indeterminazioni.

### Metodo di Sarma (1973)

Il metodo di Sarma è un semplice, ma accurato metodo per l'analisi di stabilità dei pendii, che permette di determinare l'accelerazione sismica orizzontale richiesta affinché l'ammasso di terreno, delimitato dalla superficie di scivolamento e dal profilo topografico, raggiunga lo stato di equilibrio limite (accelerazione critica  $K_c$ ) e, nello stesso tempo, consente di ricavare l'usuale fattore di sicurezza ottenuto come per gli altri metodi più comuni della geotecnica.

Si tratta di un metodo basato sul principio dell'equilibrio limite e delle strisce, pertanto viene considerato l'equilibrio di una potenziale massa di terreno in scivolamento suddivisa in  $n$  strisce verticali di spessore sufficientemente piccolo da ritenere ammissibile l'assunzione che lo sforzo normale  $N_i$  agisca nel punto medio della base della striscia.

Le equazioni da prendere in considerazione sono:

- L'equazione di equilibrio alla traslazione orizzontale del singolo concio;
- L'equazione di equilibrio alla traslazione verticale del singolo concio;
- L'equazione di equilibrio dei momenti.

Condizioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale:

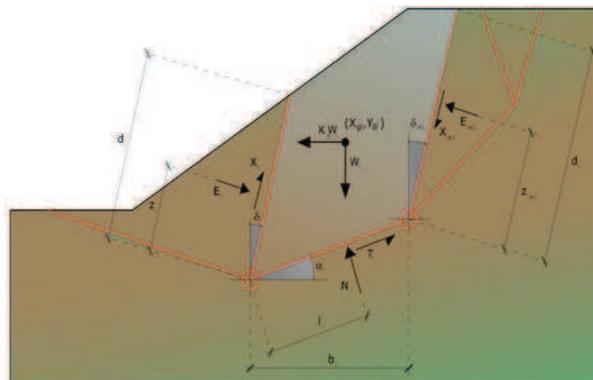
$$\begin{aligned} N_i \cos \alpha_i + T_i \sin \alpha_i &= W_i - \Delta X_i \\ T_i \cos \alpha_i - N_i \sin \alpha_i &= K W_i + \Delta E_i \end{aligned}$$

Viene, inoltre, assunto che in assenza di forze esterne sulla superficie libera dell'ammasso si ha:

$$\begin{aligned} \sum \Delta E_i &= 0 \\ \sum \Delta X_i &= 0 \end{aligned}$$

dove  $E_i$  e  $X_i$  rappresentano, rispettivamente, le forze orizzontale e verticale sulla faccia  $i$ -esima del concio generico  $i$ .

L'equazione di equilibrio dei momenti viene scritta scegliendo come punto di riferimento il baricentro dell'intero ammasso; sicché, dopo aver eseguito una serie di posizioni e trasformazioni trigonometriche ed algebriche, nel **metodo di Sarma** la soluzione del problema passa attraverso la risoluzione di due equazioni:



*Azioni sull'iesimo concio, metodo di Sarma*

$$\sum \Delta X_i \cdot \operatorname{tg}(\psi'_i - \alpha_i) + \sum \Delta E_i = \sum \Delta_i - K \cdot \sum W_i$$

$$\sum \Delta X_i \cdot [(y_{mi} - y_G) \cdot \operatorname{tg}(\psi'_i - \alpha'_i) + (x'_i - x_G)] = \sum W_i \cdot (x_{mi} - x_G) + \sum \Delta_i \cdot (y_{mi} - y_G)$$

Ma l'approccio risolutivo, in questo caso, è completamente capovolto: il problema infatti impone di trovare un valore di **K** (accelerazione sismica) corrispondente ad un determinato fattore di sicurezza; ed in particolare, trovare il valore dell'accelerazione **K** corrispondente al fattore di sicurezza **F = 1**, ossia l'accelerazione critica.

Si ha pertanto:

K=Kc	<b>Accelerazione critica se F=1</b>
F=Fs	<b>Fattore di sicurezza in condizioni statiche se K=0</b>

La seconda parte del problema del Metodo di Sarma è quella di trovare una distribuzione di forze interne  $X_i$  ed  $E_i$  tale da verificare l'equilibrio del concio e quello globale dell'intero ammasso, senza violazione del criterio di rottura. E' stato trovato che una soluzione accettabile del problema si può ottenere assumendo la seguente distribuzione per le forze  $X_i$ :

$$\Delta X_i = \lambda \cdot \Delta Q_i = \lambda \cdot (Q_{i+1} - Q_i)$$

dove  $Q_i$  è una funzione nota, in cui vengono presi in considerazione i parametri geotecnici medi sulla  $i$ -esima faccia del concio  $i$ , e  $\lambda$  rappresenta un'incognita.

La soluzione completa del problema si ottiene pertanto, dopo alcune iterazioni, con i valori di  $K_c$ ,  $\lambda$  e  $F$ , che permettono di ottenere anche la distribuzione delle forze di interstriscia.

### Valutazione dell'azione sismica

La stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene verificata con il metodo pseudo-statico. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica vengono considerate le seguenti forze:

$$F_H = K_x W$$

$$F_V = K_y W$$

Essendo:

- $F_H$  e  $F_V$  rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;
- $W$  peso concio;
- $K_x$  coefficiente sismico orizzontale;
- $K_y$  coefficiente sismico verticale.

### Ricerca della superficie di scorrimento critica

In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminarne un numero elevato di potenziali superfici.

Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da  $m$  righe e  $n$  colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia  $m \times n$  e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

### Analisi di stabilità dei pendii con: SARMA (1973)

Lat./Long.	43.742259/11.827718
Normativa	NTC 2018
Numero di strati	3.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.0
Coefficiente parziale resistenza	1.1
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione: drenata/ non drenata
Superficie di forma circolare	

**Maglia dei Centri**

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	4.43 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	32.99 m
Ascissa vertice destro superiore xs	47.37 m
Ordinata vertice destro superiore ys	48.17 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

**Coefficienti sismici [N.T.C.]****Dati generali**

Tipo opera: 2 - Opere ordinarie Classe d'uso: Classe II

Vita nominale: 50.0 anni Vita di riferimento:50.0 anni

**Parametri sismici su sito di riferimento**      Categoria sottosuolo: B      Categoria topografica: T2

S.L. - Stato limite	TR Tempo ritorno[anni]	Ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0.61	2.46	0.26
S.L.D.	50,0	0.78	2.43	0.27
S.L.V.	475,0	1.92	2.38	0.29
S.L.C.	975,0	2.43	2.39	0.3

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**      Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. - Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.8784	0.2	0.0179	0.009
S.L.D.	1.1232	0.2	0.0229	0.0115
S.L.V.	2.7648	0.24	0.0677	0.0338
S.L.C.	3.3916	0.28	0.0968	0.0484

Coefficiente azione sismica orizzontale 0.068

Coefficiente azione sismica verticale 0.034

**Vertici profilo**

N	X m	y m
1	0.0	15.8
2	1.25	15.8
3	2.8	16.1
4	6.0	16.25
5	9.25	16.65
6	14.15	17.1
7	19.2	17.65
8	21.2	17.8
9	22.55	18.1
10	24.25	18.2
11	26.25	18.55
12	29.8	18.75
13	31.0	19.1
14	32.2	19.6
15	33.75	19.75
16	35.4	20.5
17	36.9	21.5
18	38.8	21.5
19	40.95	22.1
20	42.75	22.35
21	44.6	23.5
22	47.35	24.1
23	50.0	24.35

**Vertici strato 1**

N	X m	y m
1	0.0	14.1
2	1.0	14.4
3	4.7	14.0
4	8.4	13.9
5	9.9	14.55
6	12.8	14.75
7	13.75	15.0
8	15.9	14.9
9	18.2	15.2
10	20.5	15.9
11	21.7	16.65
12	25.14	16.85
13	26.7	17.0
14	29.0	16.85
15	32.25	17.7
16	34.5	18.2
17	36.7	19.65
18	38.75	19.7
19	40.85	20.45
20	43.15	21.05
21	45.0	21.7
22	47.65	21.3
23	50.0	21.5

**Vertici strato 2**

N	X m	y m
1	0.0	9.45
2	4.5	9.1
3	5.6	9.0
4	9.05	8.4
5	12.4	8.2
6	15.65	9.0
7	17.6	10.3
8	18.8	10.64
9	21.65	10.85
10	23.6	11.1
11	26.5	11.1
12	28.4	11.2
13	31.8	12.45
14	34.8	13.9
15	35.7	14.1
16	36.9	14.2
17	39.1	13.6
18	40.75	13.9
19	43.05	14.25
20	45.05	14.65
21	46.2	14.9
22	47.3	14.95
23	50.0	15.0

**Coefficienti parziali azioni**

Sfavorevoli: Permanenti, variabili 1,0 1,0

Favorevoli: Permanenti, variabili 1,0 1,0

**Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Tangente angolo di resistenza al taglio 1.25

Coesione efficace 1.25

Coesione non drenata 1.4

Riduzione parametri geotecnici terreno **Si**

**Stratigrafia**

$c'$ : coesione d.;  $\phi$ : Angolo di attrito;  $\gamma$ : Peso Specifico;  $\gamma_s$ : Peso Specifico Saturo;

Strato	$c'_k$ g/cm <sup>2</sup> *		$\phi_k$ (°)*	$\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	$\gamma_s$ (t/m <sup>3</sup> )
1	0.01	0.64	28.7	1850	1900
2	0.02	0.81	34.8	1950	2000
3	0.03	0.89	38.5	2100	2200

\*(X)<sub>k</sub> valore caratteristico

**STATO ATTUALE****A - STATO ATTUALE (CONDIZIONI DRENATE) (Tav.15a)**

Risultati analisi pendio [NTC 2018]

**Fs minimo individuato****1.16**

Ascissa centro superficie

40.93 m

Ordinata centro superficie

33.75 m

Raggio superficie

11.53 m

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio ; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento;  $\phi$ : Angolo di attrito; c: coesione.

$x_c = 40.928$   $y_c = 33.747$   $R_c = 11.53$   $F_s = 1.164$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)
1	0.44	10.34	0.45	80.9
2	0.44	12.58	0.45	231.75
3	0.44	14.83	0.46	367.79
4	0.5	17.27	0.52	562.29
5	0.38	19.58	0.41	465.36
6	0.44	21.77	0.48	483.59
7	0.44	24.15	0.48	409.67
8	0.44	26.58	0.49	317.6
9	0.44	29.05	0.5	206.25
10	0.44	31.6	0.52	74.25

**Sforzi sui conci**

Nr.	Xi (Kg)	Ei (Kg)	Xi-1 (Kg)	Ei-1 (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)	Ui (Kg)
1	-4.82	34.36	0.0	0.0	77.2	54.45	0.0
2	-19.0	73.15	-4.82	34.36	228.25	106.35	0.0
3	-36.47	103.22	-19.0	73.15	358.49	151.19	0.0
4	-55.77	113.49	-36.47	103.22	541.29	217.95	0.0
5	-60.22	101.09	-55.77	113.49	436.5	174.72	0.0
6	-48.25	73.55	-60.22	101.09	436.36	179.0	0.0
7	-35.14	38.68	-48.25	73.55	365.05	155.13	0.0
8	-22.6	5.95	-35.14	38.68	278.08	125.98	0.0
9	-11.56	-12.36	-22.6	5.95	172.91	90.71	0.0
10	0.0	0.0	-11.56	-12.36	44.35	47.55	0.0

**B - STATO ATTUALE****Superfici co Fs compreso tra 1,05 e 1,20 (CONDIZIONI NON DRENATE) (Tav.15b)****Risultati analisi pendio [NTC 2018]****Fs minimo individuato****1.85**

Ascissa centro superficie

32.34 m

Ordinata centro superficie

33.75 m

Raggio superficie

19.94 m

**xc = 32.34 yc = 33.747 Rc = 19.939 Fs=1.855**

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)
1	0.75	-35.29	0.92	431.11
2	1.35	-31.69	1.59	3013.16
3	1.7	-26.67	1.9	7327.49
4	2.0	-20.86	2.14	12751.47
5	3.55	-12.55	3.64	30404.75
6	1.2	-5.59	1.21	11847.87
7	1.2	-2.13	1.2	13048.57
8	1.55	1.83	1.55	17873.99
9	1.65	6.44	1.66	20120.63
10	14.52	35.34	17.8	162038.7

**Sforzi sui conci**

Nr.	Xi (Kg)	Ei (Kg)	Xi-1 (Kg)	Ei-1 (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)	Ui (Kg)
1	-450.7	3128.52	0.0	0.0	2543.78	2067.52	0.0
2	-1757.2	9772.36	-450.7	3128.52	7270.79	3555.13	0.0
3	-3328.55	19793.0	-1757.2	9772.36	12668.71	5395.53	0.0
4	-4881.81	30891.84	-3328.55	19793.0	17621.28	6070.16	0.0
5	-6535.59	46573.72	-4881.81	30891.84	35139.66	10314.76	0.0
6	-7512.19	50475.69	-6535.59	46573.72	13220.04	3419.6	0.0
7	-8268.85	53528.61	-7512.19	50475.69	13941.26	3405.71	0.0
8	-8760.39	56154.27	-8268.85	53528.61	18234.54	4398.25	0.0
9	-9260.64	57226.76	-8760.39	56154.27	20220.16	4709.37	0.0
10	0.0	0.0	-9260.64	57226.76	151490.8	50488.98	0.0

## **STATO DI PROGETTO**

### **Vertici profilo (Stao modificato)**

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	15.8
2	1.25	15.8
3	2.8	16.1
4	6.0	16.25
5	9.25	16.65
6	14.15	17.1
7	19.2	17.65
8	21.2	17.8
9	22.55	18.1
10	24.25	18.2
11	26.25	18.55
12	29.8	18.75
13	31.0	19.1
14	32.2	19.6
15	33.75	19.75
16	35.4	20.5
17	36.9	21.5
18	39.6	21.5
19	39.6	20.5
20	44.6	20.5
21	44.6	22.5
22	47.35	23.5
23	50.0	24.35

### **Muri di sostegno - Caratteristiche geometriche**

N°	x (m)	y (m)	Base mensola a valle (m)	Base mensola a monte (m)	Altezza muro (m)	Spessore testa (m)	Spessore base (m)	Peso specifico (Kg/m <sup>3</sup> )
1	44.67	20.47	0.4	0	2	0.3	0.3	2300

### **Carichi distribuiti**

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kg/cm <sup>2</sup> )
1	39.6	20.5	44.6	20.5	0.8

## **C - STATO MODIFICATOI PROGETTO (CONDIZIONI DRENATE) (Tav.15c)**

### **Risultati analisi pendio [NTC 2018]**

#### **Fs minimo individuato**

Ascissa centro superficie	30.19 m
Ordinata centro superficie	36.02 m
Raggio superficie	17.26 m

**1.39**

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

**xc = 30.193 yc = 36.025 Rc = 17.263 Fs=1.391**

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)
1	1.15	0.77	1.15	360.58
2	1.2	4.68	1.2	1179.47
3	0.55	7.6	0.56	729.0
4	1.0	10.21	1.01	1232.13
5	0.94	13.49	0.96	1257.46
6	0.71	16.32	0.74	1162.83
7	1.5	20.21	1.6	3269.67
8	0.69	24.11	0.75	1570.41
9	0.97	27.17	1.09	1495.27
10	0.97	30.85	1.13	536.06

**Sforzi sui conci**

Nr.	Xi (Kg)	Ei (Kg)	Xi-1 (Kg)	Ei-1 (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)	Ui (Kg)
1	-26.53	201.26	0.0	0.0	384.04	230.19	0.0
2	-123.94	502.09	-26.53	201.26	1241.75	481.38	0.0
3	-184.2	626.87	-123.94	502.09	759.47	275.66	0.0
4	-153.1	769.48	-184.2	626.87	1142.36	433.06	0.0
5	-160.07	838.49	-153.1	769.48	1194.13	442.57	0.0
6	-204.72	829.33	-160.07	838.49	1139.87	404.04	0.0
7	-303.85	525.73	-204.72	829.33	3191.91	1080.89	0.0
8	-295.98	275.46	-303.85	525.73	1486.19	504.33	0.0
9	-139.04	23.52	-295.98	275.46	1260.74	474.61	0.0
10	0.0	0.0	-139.04	23.52	334.83	213.67	0.0

**D - STATO MODIFICATOI PROGETTO (CONDIZIONI NON DRENATE) (Tav.15c)**

**Risultati analisi pendio [NTC 2018]**

<b>Fs minimo individuato</b>	<b>2.05</b>
Ascissa centro superficie	23.75 m
Ordinata centro superficie	42.86 m
Raggio superficie	30.58 m

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

**xc = 23.751 yc = 42.857 Rc = 30.58 Fs=2.045**

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)
1	1.04	-29.43	1.2	721.74
2	4.9	-23.3	5.34	19765.87
3	5.05	-13.43	5.19	41906.87
4	2.0	-6.67	2.01	20580.68
5	1.35	-3.52	1.35	14987.11
6	1.7	-0.66	1.7	19722.79
7	2.0	2.81	2.0	23941.69
8	3.55	8.05	3.59	42500.27
9	1.2	12.56	1.23	13994.17
10	16.45	32.26	19.45	204261.6

**Sforzi sui conci**

Nr.	Xi (Kg)	Ei (Kg)	Xi-1 (Kg)	Ei-1 (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)	Ui (Kg)
1	-1746.71	4133.72	0.0	0.0	4205.01	2430.05	0.0
2	-10169.68	26740.42	-1746.71	4133.72	35361.9	10839.86	0.0
3	-20443.46	50088.65	-10169.68	26740.42	56835.27	13350.76	0.0
4	-25104.65	56861.53	-20443.46	50088.65	26019.76	5177.93	0.0
5	-26897.54	60363.21	-25104.65	56861.53	17025.54	3477.98	0.0
6	-28121.87	63640.74	-26897.54	60363.21	20998.75	4371.72	0.0
7	-29033.26	65954.93	-28121.87	63640.74	24630.21	5149.05	0.0
8	-29088.98	66371.65	-29033.26	65954.93	41675.72	9219.37	0.0
9	-28339.66	65712.17	-29088.98	66371.65	12865.26	3161.38	0.0
10	0.0	-0.01	-28339.66	65712.17	176459.5	50024.85	0.0