

IMPIANTO AGRIVOLTAICO EG ORTENSIA SRL E OPERE CONNESSE

POTENZA IMPIANTO 24,94 MW_p - COMUNE DI VITERBO (VT)

Proponente

EG ORTENSIA S.R.L.

VIA DEI PELLEGRINI 22 – 20122 MILANO (MI) - P.IVA: 12084610968– PEC: egortensia@pec.it

Progettazione

Dott. Geol. Roberto Troncarelli

Via Monte Cervino 12 – 01100 Viterbo (VT) - P.IVA: 01416400560– PEC: geovitsas@pec.it
Tel.: +39 348 38 69 974 – email: info@geovitsas.it

Collaboratori

Dott. Geol. Matteo Laudato

Dott. Geol. Daniele Inciocchi

Via Monte Cervino 12 – 01100 Viterbo (VT) - P.IVA: 01416400560– PEC: geovitsas@pec.it
Tel.: +39 348 38 69 974 – email: info@geovitsas.it

Coordinamento progettuale

ARTELIA ITALIA S.P.A.

PIAZZA GUGLIELMO MARCONI 25 – 00144 ROMA (RM) - P.IVA: 06741281007 – PEC: artelia.italia@pec.it
Tel.: +39 06 591 933 1 – email: contact@it.arteliagroup.com

Titolo Elaborato

RELAZIONE GEOLOGICA – INQUADRAMENTO GENERALE E ANALISI DATI PROVE IN SITU

LIVELLO PROGETTAZIONE	CODICE ELABORATO	FILE NAME	DATA
DEFINITIVO	PD_REL21	IT-2021-0243_PD_REL21.00-Relazione geologica e prove.docx	13/10/2022

Revisioni

REV.	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
0	13/10/22	EMISSIONE PER PERMITTING	RTR	LCO	FTE



COMUNE DI VITERBO (VT)

REGIONE LAZIO



RELAZIONE GEOLOGICA – INQUADRAMENTO GENERALE E ANALISI DATI PROVE IN SITU

INDICE

1. Premessa e quadro normativo	3
2. Ubicazione e riferimenti cartografici	7
3. Geomorfologia ed idrografia	9
4. Geologia	11
4.1. Assetto geologico generale	11
4.2. Quadro geolitologico locale	12
5. Idrogeologia	15
6. Livello di pericolosità ai sensi della D.G.R. Lazio 189/21	17
7. Sismicità	20
7.1. Sismicità Regionale	20
7.2. Sismicità Locale	21
8. Indagini in situ	25
8.1.1. Sondaggi meccanici a carotaggio continuo	25
8.1.2. Prove penetrometriche dinamiche DPSH (Dynamic Probing Super Heavy)	30
8.2. Prove geofisiche	32
8.2.1. Prove sismiche MASW	32
8.1.2. Misure di microtremore	45
9. Strumentazione installata	53
9.1. Piezometro a tubo aperto	53
10. Liquefazione	55
11. Modello geologico e geotecnico	57
12. Azioni sismiche di progetto	61
11.1. Pericolosità sismica di base	61
11.2. Risposta Sismica Locale (RSL) e categoria di sottosuolo	63
13. Considerazioni conclusive	66

ALLEGATI

ALLEGATO 1 – STRATIGRAFIE DEI SONDAGGI GEOGNOSTICI

ALLEGATO 2 - TABULATI DELLE PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE DPSH

ALLEGATO 3 – SEZIONI GEOLITOGICHE

ALLEGATO 4 - DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

1. Premessa e quadro normativo

Il sottoscritto Dott. Geol. Roberto Troncarelli, iscritto all'Ordine dei Geologi del Lazio al n. 803, polizza Responsabilità Civile "Cattolica Assicurazioni" n. 00079712000060/206, in qualità di Legale Rappresentante e Direttore Tecnico della Società GEOVIT s.r.l., con sede in Viterbo, Via Monte Cervino n. 12, iscrizione al Registro delle Imprese e codice fiscale 01416400560 REA 85435, partita IVA 01416400560, su incarico della Soc. ARTELIA Italia S.p.A., con sede in Piazza G. Marconi, 25 – Comune di Roma Capitale, e su indicazioni del Dott. Geol. Lucio Costa, ha redatto la presente relazione di modellazione geologica e sismica, ai sensi del D.M. Il. 17.01.2018, nel seguito NTC18, e della Circolare C.S.LL.PP. 617/09, nel seguito Circolare.

La stessa è basata sulle risultanze delle indagini geologiche, geotecniche e sismiche eseguite per il progetto di realizzazione di un impianto fotovoltaico ubicato su differenti lotti di terreno in località "Colle Serpepe" nel Comune di Viterbo (VT).

Le indagini geologiche hanno avuto lo scopo di caratterizzare, dal punto di vista lito-stratigrafico, geotecnico e sismico, i terreni presenti al sedime delle opere oggetto d'intervento.

Le indagini sono state condotte ai sensi del D.M. LL.PP. 11.3.1988 "Norme tecniche per indagini su terreni e rocce...omissis", e della Circolare del Min. LL.PP. n° 30483/88, nonché sulla base di quanto riportato al capitolo 6 al quale si rimanda.

La presente relazione geologica, a corredo della documentazione progettuale, viene redatta inoltre per l'ottenimento dell'autorizzazione ai fini sismici, prevista dall'art. 94 del DPR 380/01, essendo il territorio dichiarato sismico dalla OPCM 3274/03 e s.m.i. e dalla

successiva norma regionale di recepimento, D.G.R. Lazio n. 387/09, che ha definito il Comune di Viterbo in zona sismica di 2^a categoria – sottozona "B".

Infine, il presente elaborato tecnico, viene prodotto nel rispetto delle specifiche competenze professionali così come definite dall'art. 41 del DPR 328/01.

Dal punto di vista normativo si richiamano finalità e contenuti che, ai sensi delle normative vigenti, sia nazionali che regionali, il presente elaborato deve presentare.

D.M. II.TT. 17.01.2018

§ 6.1.2 Prescrizioni generali

Le scelte progettuali devono tener conto delle prestazioni attese delle opere, dei caratteri geologici del sito e delle condizioni ambientali.

I risultati dello studio rivolto alla caratterizzazione e modellazione geologica, dedotti da specifiche indagini, devono essere esposti in una specifica relazione geologica di cui al § 6.2.1.

§ 6.2 Articolazione del progetto

Il progetto delle opere e degli interventi si articola nelle seguenti fasi:

1. caratterizzazione e modellazione geologica del sito;
2. scelta del tipo di opera o di intervento e programmazione delle indagini geotecniche;
3. caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni e delle rocce presenti nel volume significativo e definizione dei modelli geotecnici di sottosuolo (cfr. § 3.2.2);
4. ... omissis...
- 5.

§ 6.2.1 Caratterizzazione e modellazione geologica del sito

Il modello geologico di riferimento è la ricostruzione concettuale della storia evolutiva dell'area di studio, attraverso la descrizione delle peculiarità genetiche dei diversi terreni presenti, delle dinamiche dei diversi termini litologici, dei rapporti di giustapposizione reciproca, delle vicende tettoniche subite e dell'azione dei diversi agenti morfogenetici.

La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito deve comprendere la ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio, descritti e sintetizzati dal modello geologico di riferimento.

In funzione del tipo di opera, di intervento e della complessità del contesto geologico nel quale si inserisce l'opera, specifiche indagini saranno finalizzate alla documentata ricostruzione del modello geologico.

Il modello geologico deve essere sviluppato in modo da costituire elemento di riferimento per il progettista per inquadrare i problemi geotecnici e per definire il programma delle indagini geotecniche.

La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito devono essere esaurientemente esposte e commentate in una relazione geologica, che è parte integrante del progetto.

Tale relazione comprende, sulla base di specifici rilievi ed indagini, l'identificazione delle formazioni presenti nel sito, lo studio dei tipi litologici, della struttura del sottosuolo e dei caratteri fisici degli ammassi, definisce il modello geologico del sottosuolo, illustra e caratterizza gli aspetti stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici, nonché i conseguenti livelli delle pericolosità geologiche.

§ 6.2.2 Indagini, caratterizzazione e modellazione geotecnica

Le indagini geotecniche devono essere programmate in funzione del tipo di opera e/o di intervento, devono riguardare il volume significativo e, in presenza di azioni sismiche, devono essere conformi a quanto prescritto ai §§ 3.2.2 e 7.11.2.

Per volume significativo di terreno si intende la parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso. Le indagini devono permettere la definizione dei modelli geotecnici di sottosuolo necessari alla progettazione.

...omissis...

Regolamento Regionale n° 7 di cui alla D.G.R. Lazio 189/21

Nell'Allegato "C" del Regolamento viene definito il programma minimo delle indagini, in funzione del "livello di pericolosità dell'opera"; tale aspetto verrà commentato nel Capitolo 6 della presente relazione.

Lo studio si è svolto nel mese di Settembre 2022 ed è stato articolato nelle seguenti attività:

1. Sopralluogo preliminare per l'acquisizione dello stato dei luoghi e della logistica;
2. Individuazione delle caratteristiche morfologiche ed idrauliche del sito;
3. Rilevamento geologico ed idrogeologico;
4. Esecuzione di una campagna di indagini geognostiche, geotecniche e sismiche

consistente in:

- n. 4 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, attrezzati a piezometro, denominati S1, S2, S3 e S5 e spinti tutti a 15,0 metri di profondità, con esecuzione di prove SPT;

- n. 1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo denominato S4, spinto a 15,0 metri di profondità, con esecuzione di prove SPT;
- n. 3 prove penetrometriche dinamiche di tipo DPSH, spinte fino al rifiuto strumentale;
- n. 3 indagini di sismica attiva in *array* di tipo *Multichannel Analysis of Surface Waves* (MASW);
- n. 2 indagini di sismica passiva a stazione singola, con tecnica dei rapporti spettrali *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr).

5. Interpretazione delle risultanze delle indagini eseguite;

La presente relazione descrive e commenta i risultati dello studio eseguito.

2. Ubicazione e riferimenti cartografici

Per agevolare la lettura e la comprensione di quanto si riferisce e al fine di fornire una documentazione quanto più completa possibile, sono stati acclusi alcuni allegati grafici e cartografici:

- Stralcio della cartografia I.G.M., dal quale si nota come l'intervento ricada nella Tav. 132 II NE "Tuscania", in scala 1:25.000;
- Stralcio della cartografia C.T.R. (Carta Tecnica Regionale), Sezione n. 344120 "San Lorenzo", in scala 1:10.000;
- Stralcio della cartografia C.T.R. (Carta Tecnica Regionale), Sezione n. 344120 "San Lorenzo", Elementi nn. 344123 e 344124, in scala 1:5.000;
- Stralcio del P.T.P.R. – Tavola A - Sistemi ed ambiti del paesaggio, in scala 1:10.000;
- Stralcio del P.T.P.R. – Tavola B – Beni paesaggistici, in scala 1: 10.000;
- Stralcio Carta assetto Geomorfologico PAI dell'Autorità dei Bacini Regionali del Lazio – Tavola 2.03 Nord, in scala 1:10.000;
- Stralcio Carta del Vincolo Idrogeologico, in scala 1:25:000;
- Stralcio immagine Google Earth, con ubicazione delle indagini eseguite.

Le coordinate geografiche del sito, evidenziato nella sottostante figura 1, nel sistema WGS84 sono le seguenti:

Latitudine: ϕ_{WGS84}	42.474891
Longitudine: λ_{WGS84}	11.937626



Figura 1 – Ubicazione del sito da Google Earth

Nella sottostante figura 2 si riporta un'immagine da Google Earth, con l'ubicazione in dettaglio dei differenti lotti di terreno indagati.

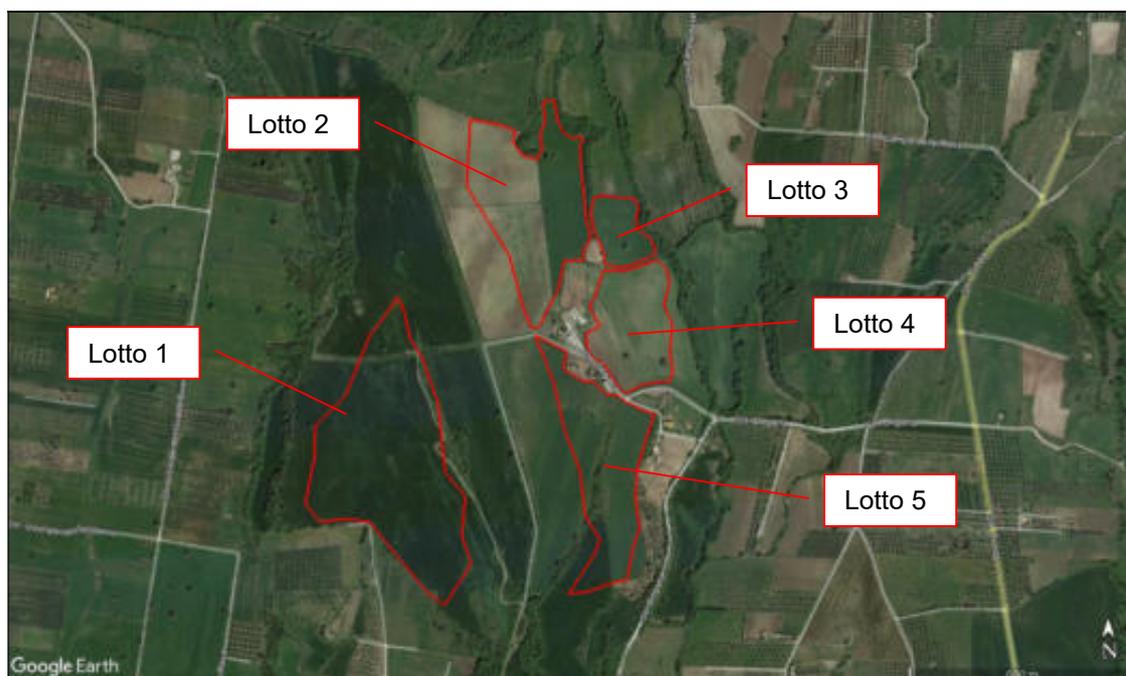


Figura 2 – Ubicazione dei lotti oggetto di studio da Google Earth

COMUNE di VITERBO (VT)

Località "Colle Serpepe"

Stralcio IGM - Tav. N. 132 II NE "Tuscania"
Scala 1:25.000

Legenda



Area di studio

N



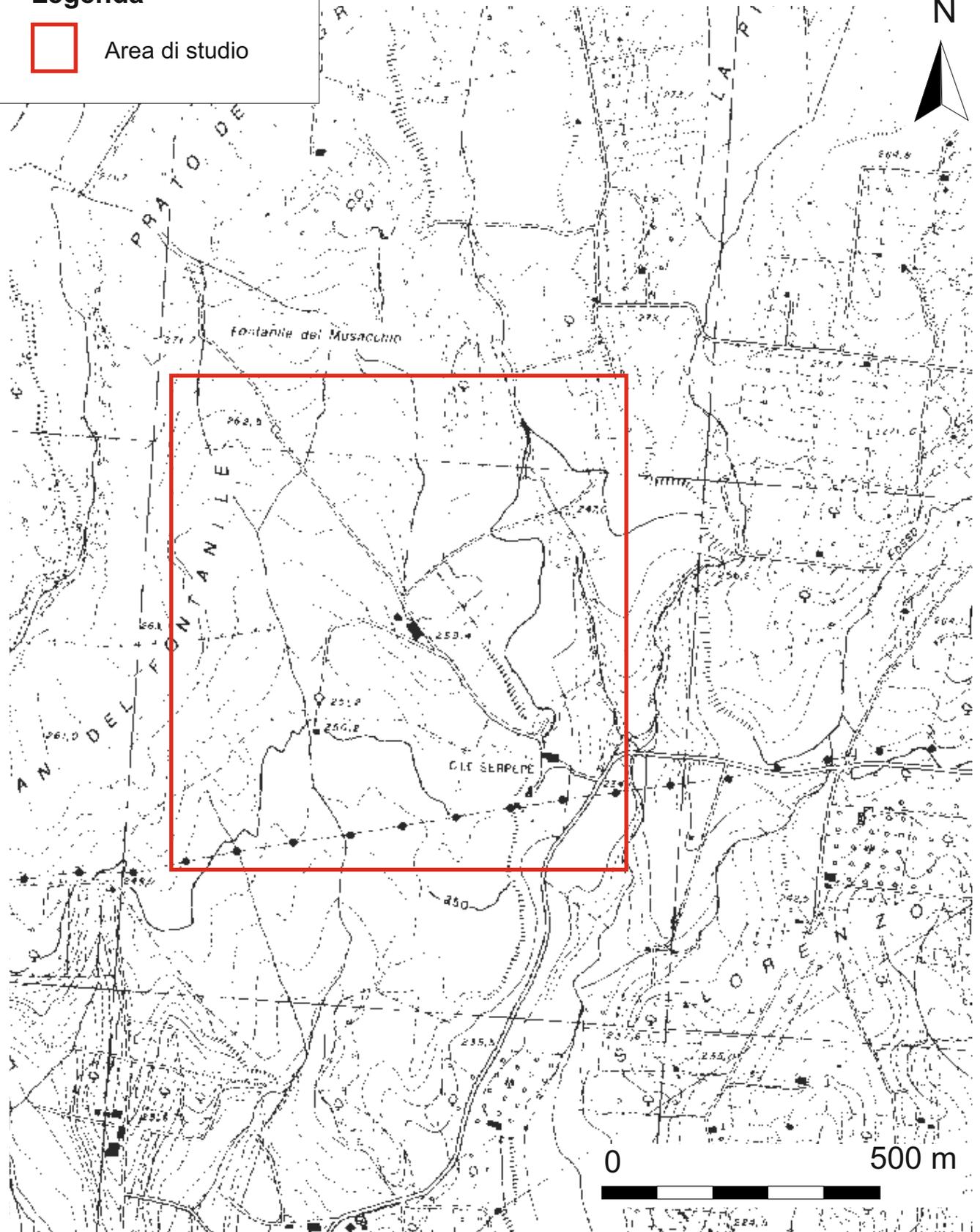
COMUNE di VITERBO (VT)
Località "Colle Serpepe"

Stralcio CTR - Sezione n. 344120 "San Lorenzo"
Scala 1:10.000

Legenda



Area di studio



COMUNE di VITERBO (VT)

Località "Colle Serpepe"

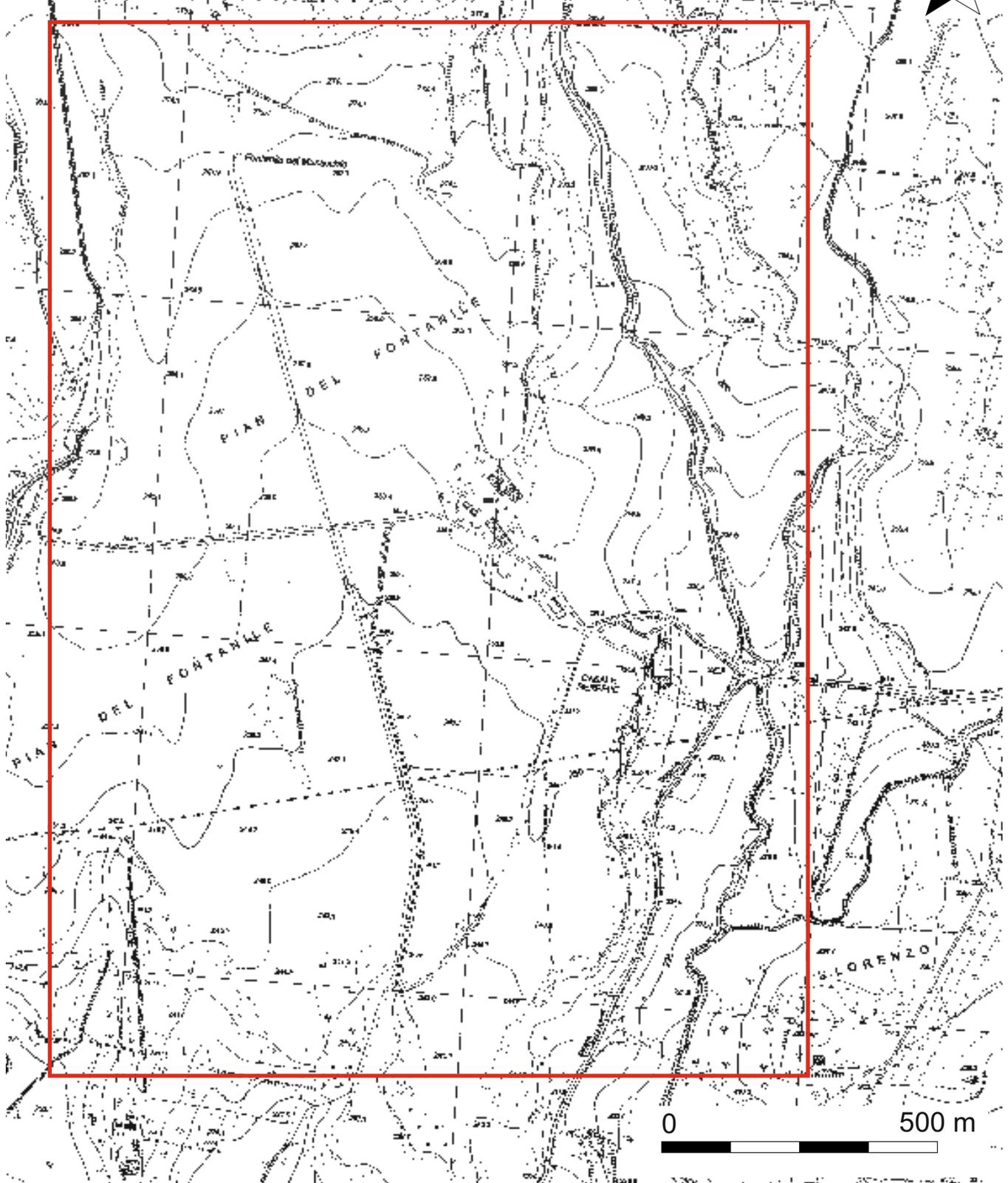
Stralcio CTR - Sezione n. 344120 "San Lorenzo", Elementi nn. 344123 e 344124
Scala 1:5.000

Legenda



Delimitazione dell'area di studio

N



0

500 m

COMUNE di VITERBO (VT)

Località "Colle Serpepe"

Stralcio PTPR - Tavola A - Sistemi ed ambiti del paesaggio
Scala 1:10.000

Sistemi ed Ambiti del Paesaggio

Sistema del Paesaggio Naturale

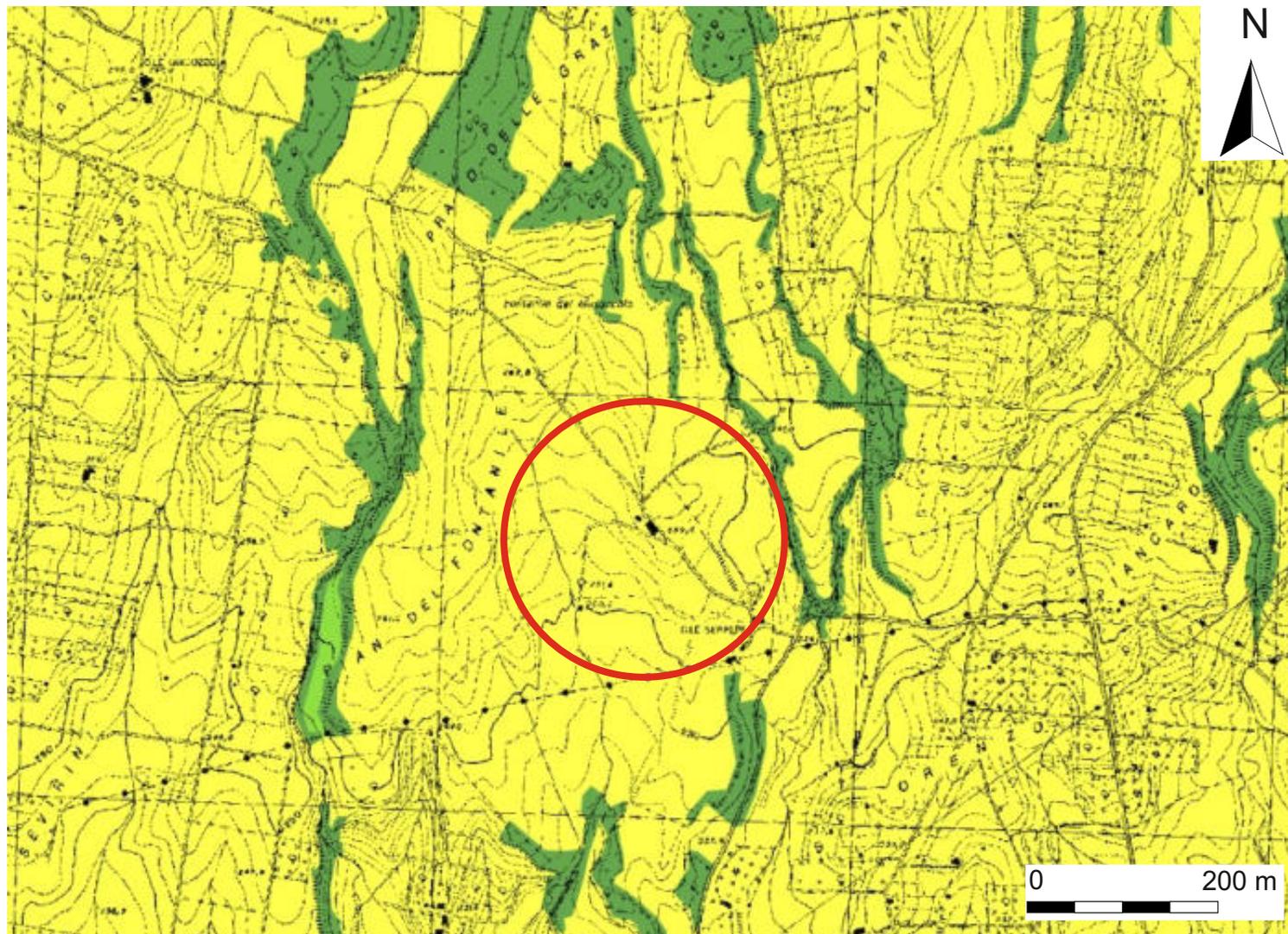
-  Paesaggio Naturale
-  Paesaggio Naturale di Continuità
-  Paesaggio Naturale Agrario
-  Coste marine, lacuali e corsi d'acqua

Sistema del Paesaggio Agrario

-  Paesaggio Agrario di Rilevante Valore
-  Paesaggio Agrario di Valore
-  Paesaggio Agrario di Continuità

Sistema del Paesaggio Insediativo

-  Paesaggio dei Centri e Nuclei Storici
-  Parchi, ville e giardini storici
-  Paesaggio degli Insediamenti Urbani
-  Paesaggio degli Insediamenti in Evoluzione
-  Paesaggio dell'Insediamento Storico Diffuso
-  Reti, Infrastrutture e Servizi
-  Ambiti di recupero e valorizzazione paesistica
-  Aree o Punti di Visuali
-  Proposte comunali di modifica dei PTP vigenti



COMUNE di VITERBO (VT)

Località "Colle Serpepe"

Stralcio P.T.P.R. - Tavola B - Beni Paesaggistici
Scala 1:10.000

Beni paesaggistici

Individuazione degli immobili e delle aree di notevole interesse pubblico
L.R. 27/03/07 art. 14, L.R. 20/05/07 art. 15(1) lett. 1) del 2/04/07 art. 13(1) del 02/04/07

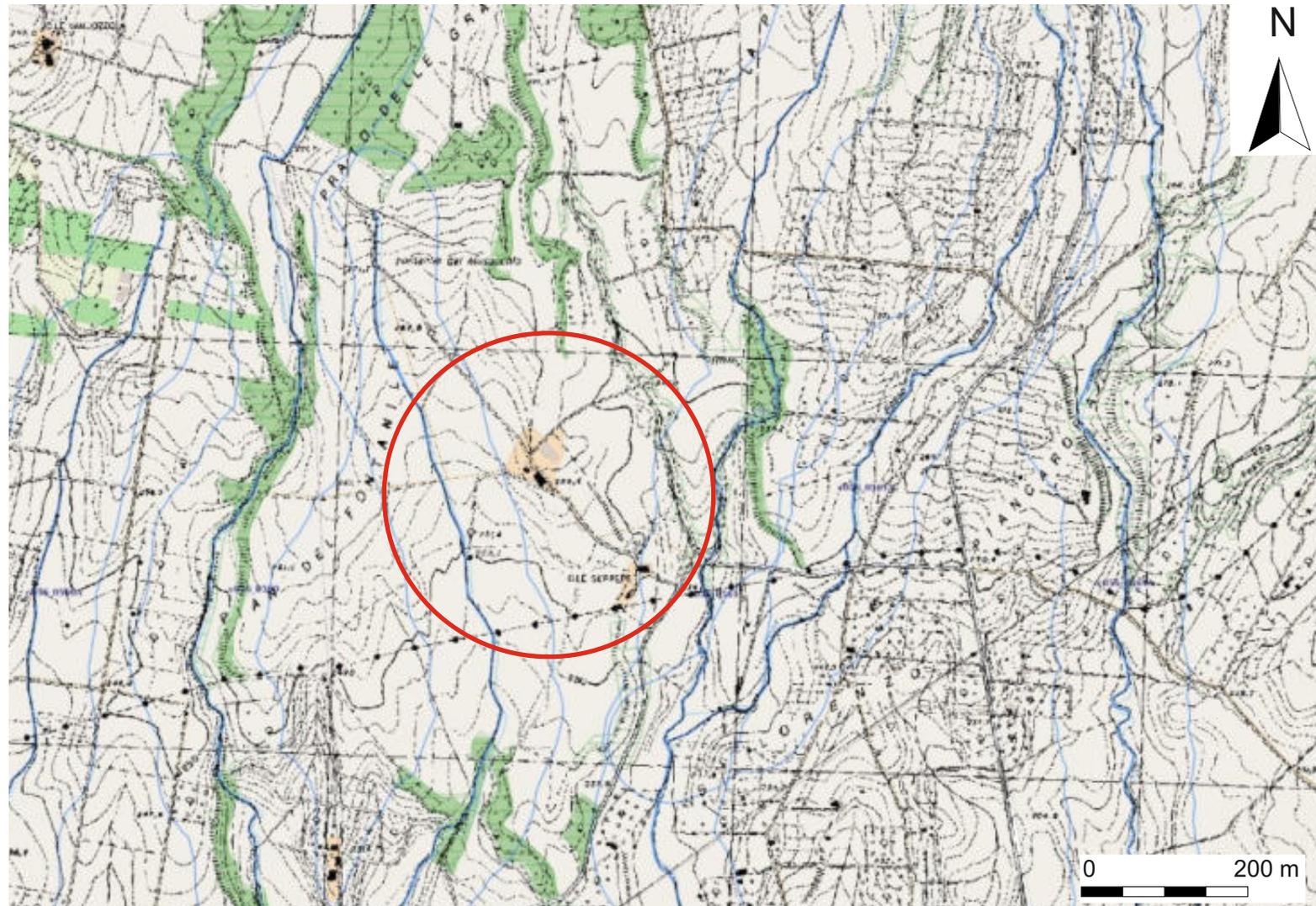
-  Mt. 1) e 2) beni singoli: naturali, geologici, ville, parchi e giardini
-  Mt. 3) e 4) beni d'insieme: vaste località con valore estetico tradizionale, bellezze panoramiche
-  Mt. 5) e 6) beni d'insieme: vaste località per zone di interesse archeologico

Ricognizione delle aree tutelate per legge
Art. 134 del T.U.R. n. 4/48/14/02/1/04/02/04

-  a) costa del mare
-  b) costa dei laghi
-  c) coste delle acque pubbliche
-  d) montagne sopra i 1200 metri
-  f) parchi e riserve naturali
-  g) aree forestali
-  h) università agrarie e sui civici
-  e) zone umide
-  k) aree di interesse archeologico già individuate
-  l) aree di interesse archeologico già individuate
-  m) aree di interesse archeologico già individuate - beni puntuali con fascia di rispetto
-  n) aree di interesse archeologico già individuate - beni lineari con fascia di rispetto

Individuazione degli immobili e delle aree tipizzati dal Piano Paesaggistico
Art. 134 del T.U.R. n. 4/48/14/02/1/04/02/04

-  aree agricole identitarie della campagna romana e delle bonifiche agrarie
-  insediamenti urbani storici e territori connessi compresi in una fascia della profondità di 150 metri
-  borghi identitari dell'agricoltura rurale
-  beni singoli identitari dell'agricoltura rurale e relativa fascia di rispetto di 50 metri
-  beni puntuali diffusi, testimonianza dei caratteri identitari archeologici e storici e relativa fascia di rispetto di 100 metri
-  beni lineari, testimonianza dei caratteri identitari archeologici storici e relativa fascia di rispetto di 100 metri
-  canali delle bonifiche agrarie e relative sponde e piede degli argini per una fascia di 150 metri ciascuno
-  beni puntuali e lineari diffusi, testimonianza dei caratteri identitari vegetazionali, geomorfologici e carsico-spegio con fascia di rispetto di 50 metri
-  aree urbanizzate dal P.T.P.R.



COMUNE di VITERBO (VT)

Località "Colle Serpepe"

Stralcio Carta assetto Geomorfológico PAI - Tav. 2.03 Nord

Autorità dei Bacini Regionali del Lazio

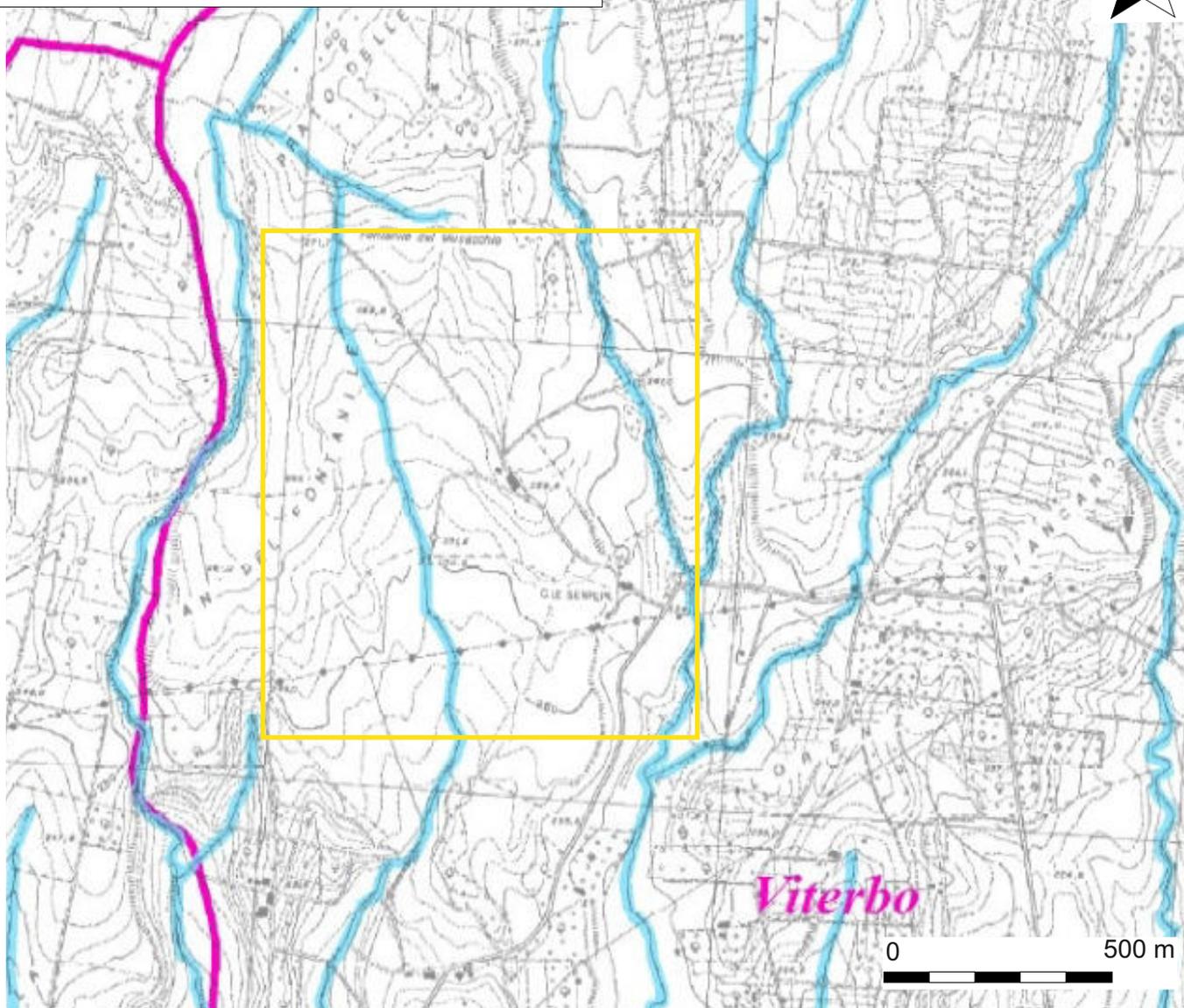
Scala 1:10.000

Legenda



Delimitazione dell'area di studio

N



AREE INTERESSATE A TUTELA PER PERICOLO DI FENOMENI PERICOLOSI PER IL TERRITORIO (art. 7, c. 1, lett. a, b, c, d)	
	Aree a Pericolo A (art. 2, lett. 1 e art. 10)
	Aree a Pericolo A2 (art. 2, lett. 1 e art. 10 bis)
	Aree a Pericolo B1 (art. 2, lett. 1 e art. 10)
	Aree a Pericolo B2 (art. 2, lett. 1 e art. 10)
	Aree a Pericolo C (art. 2, lett. 1 e art. 10)
	Aree non interessate, con una delle caratteristiche di cui all'art. 10, lett. a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m, n, o, p, q, r, s, t, u, v, w, x, y, z, aa, ab, ac, ad, ae, af, ag, ah, ai, aj, ak, al, am, an, ao, ap, aq, ar, as, at, au, av, aw, ax, ay, az, ba, bb, bc, bd, be, bf, bg, bh, bi, bj, bk, bl, bm, bn, bo, bp, bq, br, bs, bt, bu, bv, bw, bx, by, bz, ca, cb, cc, cd, ce, cf, cg, ch, ci, cj, ck, cl, cm, cn, co, cp, cq, cr, cs, ct, cu, cv, cw, cx, cy, cz, da, db, dc, dd, de, df, dg, dh, di, dj, dk, dl, dm, dn, do, dp, dq, dr, ds, dt, du, dv, dw, dx, dy, dz, ea, eb, ec, ed, ee, ef, eg, eh, ei, ej, ek, el, em, en, eo, ep, eq, er, es, et, eu, ev, ew, ex, ey, ez, fa, fb, fc, fd, fe, ff, fg, fh, fi, fj, fk, fl, fm, fn, fo, fp, fq, fr, fs, ft, fu, fv, fw, fx, fy, fz, ga, gb, gc, gd, ge, gf, gg, gh, gi, gj, gk, gl, gm, gn, go, gp, gq, gr, gs, gt, gu, gv, gw, gx, gy, gz, ha, hb, hc, hd, he, hf, hg, hh, hi, hj, hk, hl, hm, hn, ho, hp, hq, hr, hs, ht, hu, hv, hw, hx, hy, hz, ia, ib, ic, id, ie, if, ig, ih, ii, ij, ik, il, im, in, io, ip, iq, ir, is, it, iu, iv, iw, ix, iy, iz, ja, jb, jc, jd, je, jf, jg, jh, ji, jj, jk, jl, jm, jn, jo, jp, jq, jr, js, jt, ju, jv, jw, jx, jy, jz, ka, kb, kc, kd, ke, kf, kg, kh, ki, kj, kk, kl, km, kn, ko, kp, kq, kr, ks, kt, ku, kv, kw, kx, ky, kz, la, lb, lc, ld, le, lf, lg, lh, li, lj, lk, ll, lm, ln, lo, lp, lq, lr, ls, lt, lu, lv, lw, lx, ly, lz, ma, mb, mc, md, me, mf, mg, mh, mi, mj, mk, ml, mm, mn, mo, mp, mq, mr, ms, mt, mu, mv, mw, mx, my, mz, na, nb, nc, nd, ne, nf, ng, nh, ni, nj, nk, nl, nm, nn, no, np, nq, nr, ns, nt, nu, nv, nw, nx, ny, nz, oa, ob, oc, od, oe, of, og, oh, oi, oj, ok, ol, om, on, oo, op, oq, or, os, ot, ou, ov, ow, ox, oy, oz, pa, pb, pc, pd, pe, pf, pg, ph, pi, pj, pk, pl, pm, pn, po, pp, pq, pr, ps, pt, pu, pv, pw, px, py, pz, qa, qb, qc, qd, qe, qf, qg, qh, qi, qj, qk, ql, qm, qn, qo, qp, qq, qr, qs, qt, qu, qv, qw, qx, qy, qz, ra, rb, rc, rd, re, rf, rg, rh, ri, rj, rk, rl, rm, rn, ro, rp, rq, rr, rs, rt, ru, rv, rw, rx, ry, rz, sa, sb, sc, sd, se, sf, sg, sh, si, sj, sk, sl, sm, sn, so, sp, sq, sr, ss, st, su, sv, sw, sx, sy, sz, ta, tb, tc, td, te, tf, tg, th, ti, tj, tk, tl, tm, tn, to, tp, tq, tr, ts, tt, tu, tv, tw, tx, ty, tz, ua, ub, uc, ud, ue, uf, ug, uh, ui, uj, uk, ul, um, un, uo, up, uq, ur, us, ut, uu, uv, uw, ux, uy, uz, va, vb, vc, vd, ve, vf, vg, vh, vi, vj, vk, vl, vm, vn, vo, vp, vq, vr, vs, vt, vu, vv, vw, vx, vy, vz, wa, wb, wc, wd, we, wf, wg, wh, wi, wj, wk, wl, wm, wn, wo, wp, wq, wr, ws, wt, wu, wv, ww, wx, wy, wz, xa, xb, xc, xd, xe, xf, xg, xh, xi, xj, xk, xl, xm, xn, xo, xp, xq, xr, xs, xt, xu, xv, xw, xx, xy, xz, ya, yb, yc, yd, ye, yf, yg, yh, yi, yj, yk, yl, ym, yn, yo, yp, yq, yr, ys, yt, yu, yv, yw, yx, yy, yz, za, zb, zc, zd, ze, zf, zg, zh, zi, zj, zk, zl, zm, zn, zo, zp, zq, zr, zs, zt, zu, zv, zw, zx, zy, zz

AREE INTERESSATE A TUTELA PER PERICOLO DI FENOMENI PERICOLOSI PER IL TERRITORIO (art. 7, c. 1, lett. a, b, c, d)	
	Aree di Interesse Geomorfologico (art. 9 e 10)
	Aree di Interesse Microclimatico (art. 9 e 10)
	Aree di Interesse per presenza di centri storici o architettonici, oggetti o edifici
	Corse d'acqua pericoli classificati pubbliche con D.G.R. n° 462 del 01/08/99 (art. 9 e 10)
	Altri corsi d'acqua pericoli (art. 9 e 10)

CODICE DI BACINO DI FENOMENI DELLA LINEA QUALITÀ E DEL PERICOLO (art. 1, comma 2)		
ELEMENTI AREALI A Rischio	ELEMENTI LINEARI A Rischio	ELEMENTI PUNTUALI A Rischio
R1	R1	R1
R2	R2	R2
R3	R3	R3

AREE INTERESSATE A TUTELA PER PERICOLO DI FENOMENI PERICOLOSI PER IL TERRITORIO (art. 7, c. 1, lett. a, b, c, d)	
	Aree a Pericolo A (art. 2, lett. 1 e art. 10)
	Aree a Pericolo B (art. 2, lett. 1 e art. 10)
	Aree a Pericolo C (art. 2, lett. 1 e art. 10)
	Aree non interessate, con una delle caratteristiche di cui all'art. 10, lett. a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m, n, o, p, q, r, s, t, u, v, w, x, y, z, aa, ab, ac, ad, ae, af, ag, ah, ai, aj, ak, al, am, an, ao, ap, aq, ar, as, at, au, av, aw, ax, ay, az, ba, bb, bc, bd, be, bf, bg, bh, bi, bj, bk, bl, bm, bn, bo, bp, bq, br, bs, bt, bu, bv, bw, bx, by, bz, ca, cb, cc, cd, ce, cf, cg, ch, ci, cj, ck, cl, cm, cn, co, cp, cq, cr, cs, ct, cu, cv, cw, cx, cy, cz, da, db, dc, dd, de, df, dg, dh, di, dj, dk, dl, dm, dn, do, dp, dq, dr, ds, dt, du, dv, dw, dx, dy, dz, ea, eb, ec, ed, ee, ef, eg, eh, ei, ej, ek, el, em, en, eo, ep, eq, er, es, et, eu, ev, ew, ex, ey, ez, fa, fb, fc, fd, fe, ff, fg, fh, fi, fj, fk, fl, fm, fn, fo, fp, fq, fr, fs, ft, fu, fv, fw, fx, fy, fz, ga, gb, gc, gd, ge, gf, gg, gh, gi, gj, gk, gl, gm, gn, go, gp, gq, gr, gs, gt, gu, gv, gw, gx, gy, gz, ha, hb, hc, hd, he, hf, hg, hh, hi, hj, hk, hl, hm, hn, ho, hp, hq, hr, hs, ht, hu, hv, hw, hx, hy, hz, ia, ib, ic, id, ie, if, ig, ih, ii, ij, ik, il, im, in, io, ip, iq, ir, is, it, iu, iv, iw, ix, iy, iz, ja, jb, jc, jd, je, jf, jg, jh, ji, jj, jk, jl, jm, jn, jo, jp, jq, jr, js, jt, ju, jv, jw, jx, jy, jz, ka, kb, kc, kd, ke, kf, kg, kh, ki, kj, kk, kl, km, kn, ko, kp, kq, kr, ks, kt, ku, kv, kw, kx, ky, kz, la, lb, lc, ld, le, lf, lg, lh, li, lj, lk, ll, lm, ln, lo, lp, lq, lr, ls, lt, lu, lv, lw, lx, ly, lz, ma, mb, mc, md, me, mf, mg, mh, mi, mj, mk, ml, mm, mn, mo, mp, mq, mr, ms, mt, mu, mv, mw, mx, my, mz, na, nb, nc, nd, ne, nf, ng, nh, ni, nj, nk, nl, nm, nn, no, np, nq, nr, ns, nt, nu, nv, nw, nx, ny, nz, oa, ob, oc, od, oe, of, og, oh, oi, oj, ok, ol, om, on, oo, op, oq, or, os, ot, ou, ov, ow, ox, oy, oz, pa, pb, pc, pd, pe, pf, pg, ph, pi, pj, pk, pl, pm, pn, po, pp, pq, pr, ps, pt, pu, pv, pw, px, py, pz, qa, qb, qc, qd, qe, qf, qg, qh, qi, qj, qk, ql, qm, qn, qo, qp, qq, qr, qs, qt, qu, qv, qw, qx, qy, qz, ra, rb, rc, rd, re, rf, rg, rh, ri, rj, rk, rl, rm, rn, ro, rp, rq, rr, rs, rt, ru, rv, rw, rx, ry, rz, sa, sb, sc, sd, se, sf, sg, sh, si, sj, sk, sl, sm, sn, so, sp, sq, sr, ss, st, su, sv, sw, sx, sy, sz, ta, tb, tc, td, te, tf, tg, th, ti, tj, tk, tl, tm, tn, to, tp, tq, tr, ts, tt, tu, tv, tw, tx, ty, tz, ua, ub, uc, ud, ue, uf, ug, uh, ui, uj, uk, ul, um, un, uo, up, uq, ur, us, ut, uu, uv, uw, ux, uy, uz, va, vb, vc, vd, ve, vf, vg, vh, vi, vj, vk, vl, vm, vn, vo, vp, vq, vr, vs, vt, vu, vv, vw, vx, vy, vz, wa, wb, wc, wd, we, wf, wg, wh, wi, wj, wk, wl, wm, wn, wo, wp, wq, wr, ws, wt, wu, wv, ww, wx, wy, wz, xa, xb, xc, xd, xe, xf, xg, xh, xi, xj, xk, xl, xm, xn, xo, xp, xq, xr, xs, xt, xu, xv, xw, xx, xy, xz, ya, yb, yc, yd, ye, yf, yg, yh, yi, yj, yk, yl, ym, yn, yo, yp, yq, yr, ys, yt, yu, yv, yw, yx, yy, yz, za, zb, zc, zd, ze, zf, zg, zh, zi, zj, zk, zl, zm, zn, zo, zp, zq, zr, zs, zt, zu, zv, zw, zx, zy, zz

LIMITI AMBITO REGIONALI	
	Limite Ambientale del Bacino Regionale
	Limite Comunale
	Limite Regionale

COMUNE di VITERBO (VT)

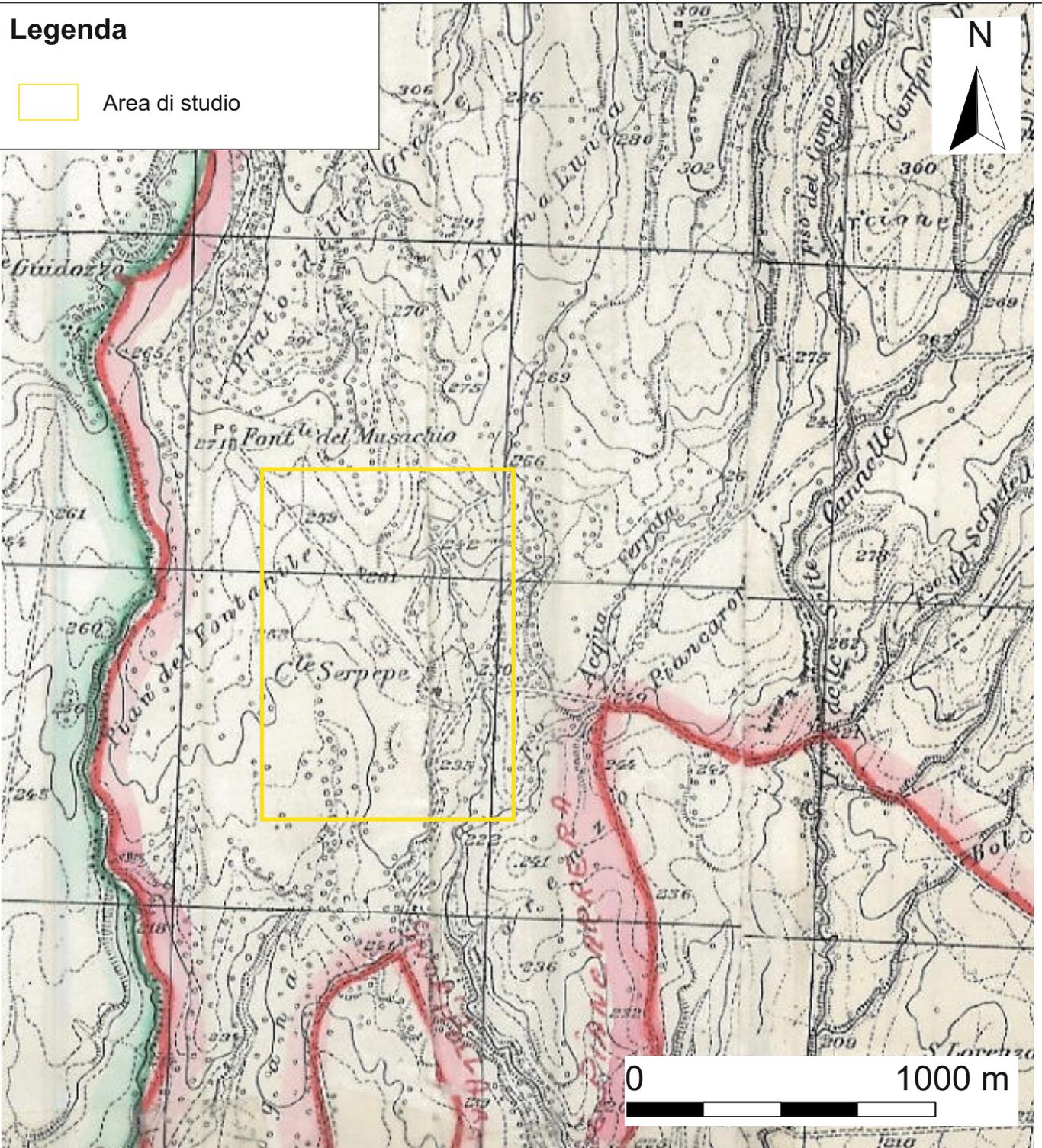
Località "Colle Serpepe"

Stralcio Vincolo Idrogeologico

Scala 1:25.000

Legenda

 Area di studio

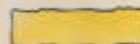


LEGGENDA

 Confine del Territorio del Comune

 Limite delle zone sottoposte al vincolo idrogeologico

 Numeri che distinguono le zone di vincolo

 Terreni esclusi dal vincolo (Sottozone)

1 - 2 Numeri che distinguono le Sottozone

COMUNE di VITERBO (VT)

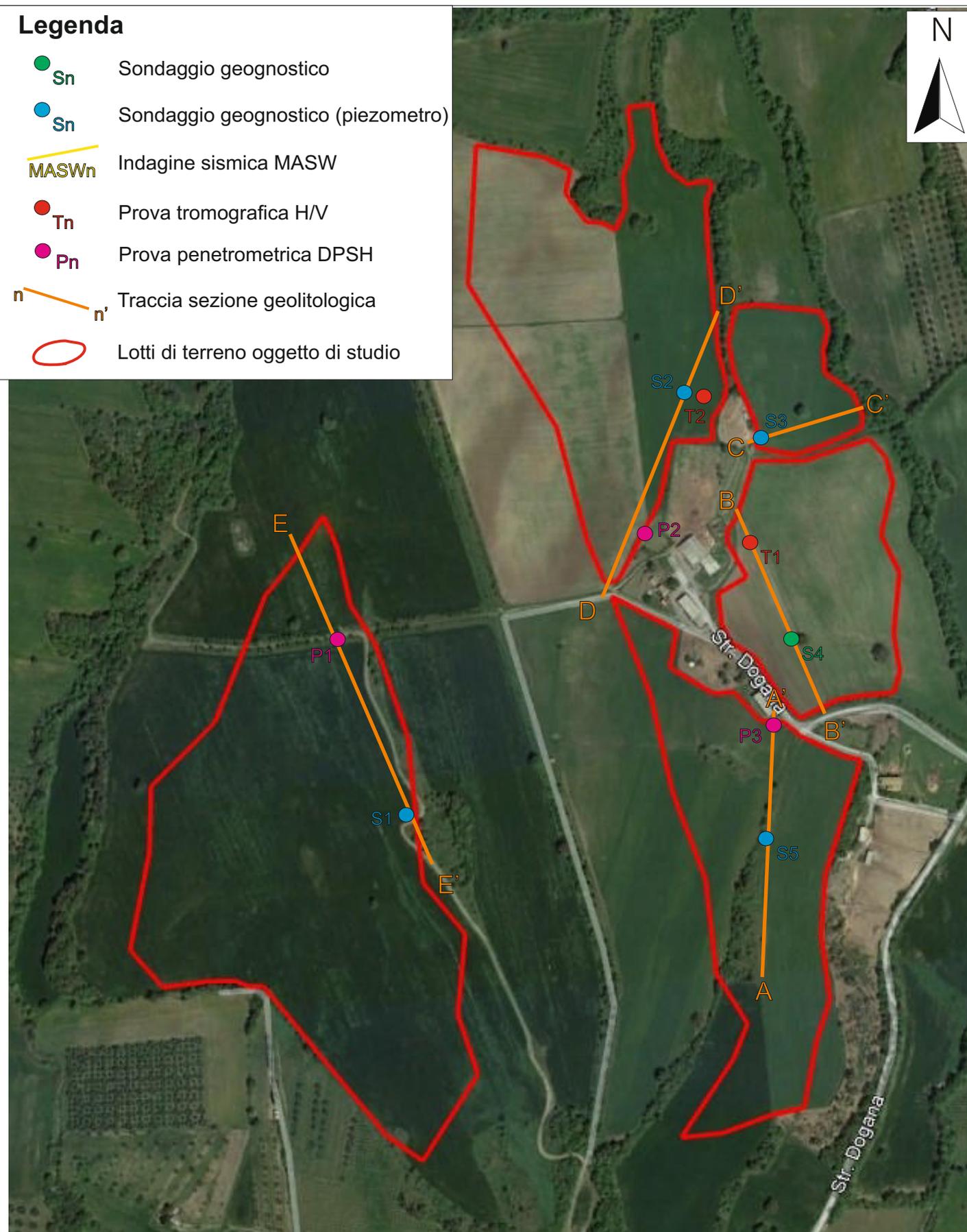
Località "Colle Serpepe"

UBICAZIONE DELLE INDAGINI ESEGUITE

Stralcio immagine Google Earth

Legenda

- S_n Sondaggio geognostico
- S_n Sondaggio geognostico (piezometro)
- $MASW_n$ Indagine sismica MASW
- T_n Prova tromografica H/V
- P_n Prova penetrometrica DPSH
- n n' Traccia sezione geolitologica
- Lotti di terreno oggetto di studio



3. Geomorfologia ed idrografia

L'area interessata dal presente progetto è ubicata in località "Colle Serpepe", a circa 14 km a Nord/Ovest del centro storico di Viterbo (VT), e si sviluppa su un settore, che da Nord a Sud, è caratterizzato da pendenze variabili da circa 275 a circa 220 metri s.l.m..

Morfologicamente l'area è posta lungo le propaggini Nord - Occidentali dell'esteso plateau tufaceo originato dalla messa in posto di prodotti vulcanici ascrivibili all'attività pleistocenica dell'apparato Vulsino.

Le forme del paesaggio sono da attribuire all'azione morfogenica operata dai corsi d'acqua temporanei o perenni, che ha determinato il modellamento del plateau vulcanico, e alle trasformazioni antropiche legate all'urbanizzazione dell'area.

Dall'analisi delle condizioni morfo-topografiche dell'area è possibile affermare che fa parte di un ampio settore a morfologia collinare, caratterizzato da un assetto pressoché tabulare, con pendenze che raggiungono valori maggiori dell'ordine di 5-10% in corrispondenza della valli di origine fluviale.

Per quanto riguarda l'idrografia superficiale, l'area è caratterizzata dalla presenza di una serie di corsi d'acqua ad andamento circa Nord-Sud che rientrano nel bacino idrografico del Fiume Marta.

In particolare nel settore occidentale dell'area è presente il Fosso Pantacciano, mentre in quello orientale il Fosso Cipollara.

Entrambi i fossi scorrono in direzione circa Sud, raccogliendo le acque di canali e fossi minori.

Il rilevamento geomorfologico eseguito, ha mostrato che nell'area d'intervento non sono presenti elementi d'interesse tali da far presupporre fenomeni gravitativi di instabilità,

in atto o prevedibili; ciò risulta inoltre confermato dall'analisi della cartografia Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia – Progetto IFFI, dell'Istituto Superiore per la Ricerca e la Protezione Ambientale (I.S.P.R.A.) e dalla cartografia geomorfologica del P.A.I. dell'Autorità dei Bacini Regionali del Lazio.

Inoltre, l'area di intervento risulta essere sottoposta a vincolo idrogeologico come mostrato dalla "Carta del Vincolo Idrogeologico", allegata.

Relativamente all'area d'intervento non sono presenti elementi idrografici ne sono stati rilevati fenomeni di ruscellamento diffuso, sorgentizi o di ristagno delle acque, che risultano sufficientemente drenate dai terreni di copertura superficiali o convogliate verso il sistema idrografico locale o convogliate verso le reti infrastrutturali presenti.

In riferimento a quanto sopra esposto, si ritiene l'area d'intervento stabile ed esente da fenomeni gravitativi di instabilità in atto o prevedibili ed inoltre si ritiene che non esistano interferenze con le acque di scorrimento superficiali; si formula pertanto un giudizio favorevole di fattibilità delle opere in progetto, in riferimento alla stabilità morfologica del versante ed alle acque di scorrimento superficiali.

Per quanto riguarda gli aspetti di carattere geomorfologico, dalle valutazioni in precedenza esposte è possibile affermare una sostanziale stabilizzazione delle forme, senza evidenze di fenomenologie evolutive in atto.

Ciò consente di esprimere, per quanto di competenza, parere favorevole per le finalità di cui all'art. 61 del D.P.R. 380/01, che s'intendono ottemperate con il rilascio dell'autorizzazione sismica ex art. 94 del D.P.R. 380/01, come previsto dall'art. 21 della D.G.R. 724/20, modificata dalla D.G.R. 189/21.

Quanto in precedenza descritto può essere osservato sull'allegata "Carta Geomorfologica", in scala 1:5.000.

COMUNE di VITERBO (VT)

Località "Colle Serpepe"

CARTA GEOMORFOLOGICA

Stralcio CTR - Sezione n. 344120 "San Lorenzo", Elementi nn. 344123 e 344124

Scala 1:5.000

Legenda



Delimitazione area di studio



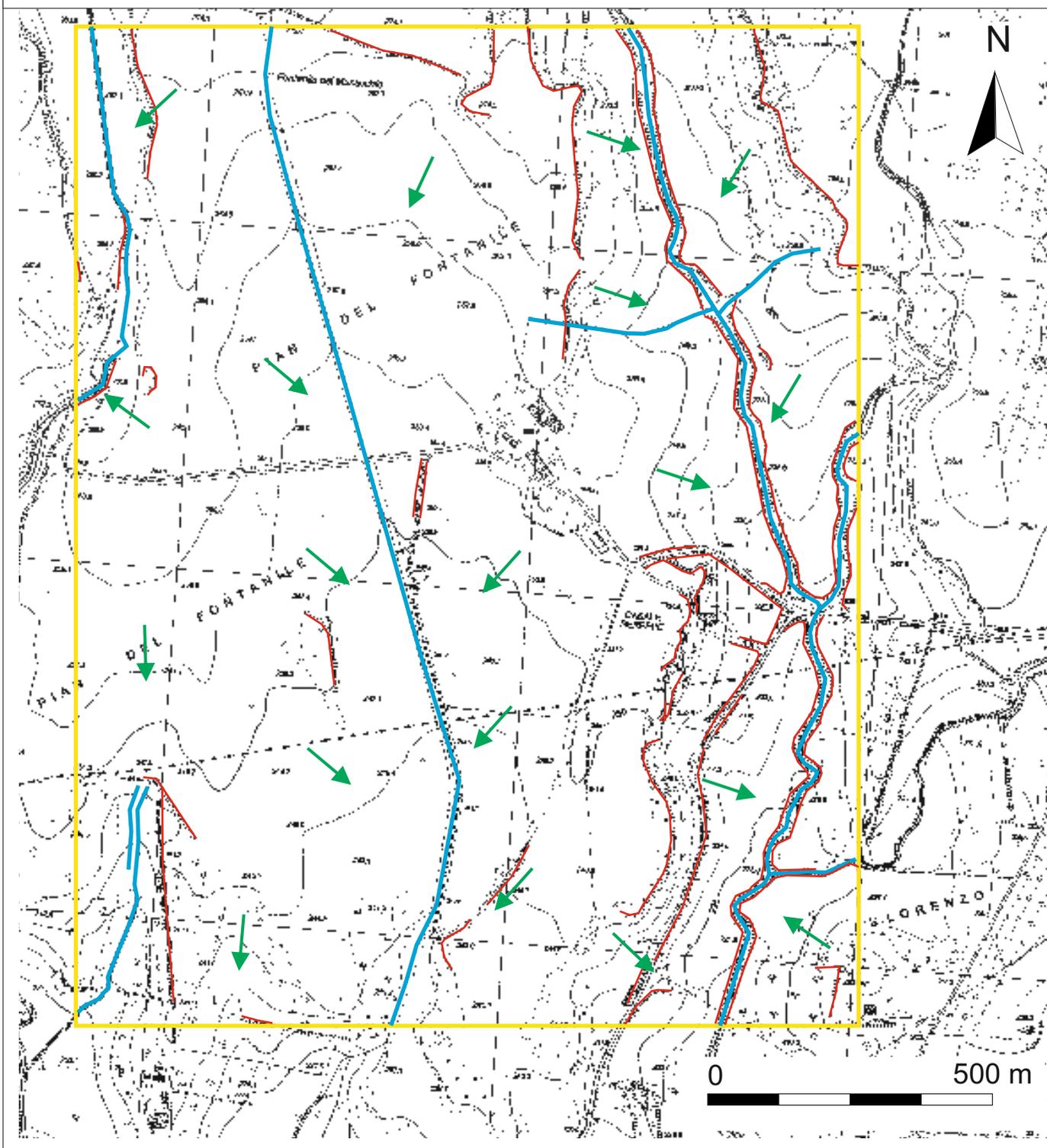
Reticolo idrografico



Direzione preferenziale
del drenaggio superficiale



Orlo di scarpata



4. Geologia

4.1. Assetto geologico generale

L'area in esame ricade all'interno della cosiddetta "Provincia Vulcanica Tosco-Laziale"; questa è interessata, a partire dal Pleistocene superiore, da un'intensa attività magmatica, che s'impone lungo la fascia strutturalmente depressa, nota come "Graben principale" e che ricopre i termini sedimentari di origine marina pre-esistenti.

In particolare la provincia di Viterbo è stata interessata dall'attività eruttiva di 4 apparati: in ordine cronologico il Cimino, il Vulsino, il Sabatino ed il Vicano.

Il primo è stato caratterizzato da un vulcanismo acido, con emissione di lave ed ignimbriti ed edificazione di duomi e cupole di ristagno (Monti Cimini), mentre gli altri tre con attività da alcali-potassica ad ultra-potassica, con messa in posto soprattutto di "tufi" ed ignimbriti, con successiva formazione di depressioni vulcano-tettoniche (apparati Vulsino e Sabatino) o sprofondamenti calderici (apparato Vicano), infine colmati da bacini lacustri (Bolsena, Bracciano, Vico).

La sopra descritta successione di eventi ha portato all'attuale configurazione geostratigrafica della provincia di Viterbo, sulla base della quale il territorio può essere schematizzato in tre fasce:

- occidentale, la Maremma, in cui si rinvengono in larga maggioranza formazioni di tipo sedimentario, con argille, sabbie, conglomerati, depositate in corrispondenza dei grandi cicli marini del Pliocene e del Pleistocene (tra 5 e 0,6 milioni di anni fa);

- orientale, sulla sponda destra del Tevere, caratterizzata da argille e sabbie marine in successione verticale, di età Pliocenica, in parte ricoperte da conglomerati e travertini di origine continentale e di età Pleistocenica;

- centrale, notevolmente più ampia delle precedenti, in cui si manifestano le formazioni vulcaniche, ignimbriti, lave, tufi e piroclastici, dalle quali emergono, in corrispondenza degli altri morfologici e/o strutturali (Monterazzano e Ferento nei pressi di Viterbo), i depositi flyschoidi meso-cenozoici in facies di calcareo-marnoso-argillosa.

Nel territorio si possono distinguere suoli di origine piroclastica, prodotti prevalentemente coerenti costituiti da rocce vulcaniche e sedimentarie di dimensioni variabili, di limitata estensione in affioramento, colate piroclastiche a matrice cineritico-pomicea e piroclastiti di lancio, costituite da livelli lapilloso-sabbiosi e cineritici.

4.2. Quadro geolitologico locale

In riferimento all'assetto generale richiamato nel paragrafo precedente, si può affermare che l'area in esame è interessata dall'affioramento di termini prodotti dall'attività dell'apparato Vulsino, nonché da depositi di origine sedimentaria.

In particolare nell'area oggetto d'intervento si riconoscono in successione stratigrafica:

Depositi alluvionali

Si tratta di sabbie, limi e argille con intercalazioni ghiaiose e occasionali orizzonti torbosi (sigla AU_b – Carta Geologica D'Italia, F° 344 "Tuscania", in scala 1:50.000).

Lave di Fontana Murata

Si tratta di lave fonotefritiche di colore grigio piombo, compatte, a luoghi vacuolari, caratterizzata da un livello scoriaceo basale, altamente porfiriche.

Gli spessori variano da 2 a 10 m (sigla LMU – Carta Geologica D'Italia, F° 344 "Tuscania", in scala 1:50.000).

Lave di Colle Serpepe

Si tratta di lave di colore grigio scure, compatte e di composizione trachitica, con spessori massimi stimati di 20 m (sigla LRP – Carta Geologica D'Italia, F° 344 "Tuscania", in scala 1:50.000).

Unità di Monte Cardone

Si tratta di banchi di lapilli, bombe e blocchi scoriacei, con inclusi lavici da caduta stromboliana, alternati a livelli cineritici, da massivi a laminati, con frustoli vegetali e lapilli accrezionari, da *surge* idromagmatico relativi a più centri eruttivi locali.

Gli spessori massimi raggiungono i 6 m (sigla MKA_a – Carta Geologica D'Italia, F° 344 "Tuscania", in scala 1:50.000).

Lave di Casale Quarticciolo

Si tratta di lave di colore grigio scure, a composizione fonotefritica al limite con la tefrifonolitica, compatte, tendenzialmente afritiche e caratterizzate alla base da una facies scoriacea brecciata.

Gli spessori massimi sono di 15-20 m (sigla LCQ – Carta Geologica D'Italia, F° 344 "Tuscania", in scala 1:50.000).

Inoltre nel settore occidentale rispetto all'area di diretto interesse progettuale, affiorano depositi riferibili ai travertini massivi fitotermali o microermali, più raramente

fitoclastici, con spessori stimabili fino a 100m, riferibili ai *Travertini della Doganella* (sigla DGN – Carta Geologica D'Italia, F° 344 "Tuscania", in scala 1:50.000).

Quanto in precedenza descritto può essere osservato sull'allegata "Carta Geologica", in scala 1:5.000.

COMUNE di VITERBO (VT)

Località "Colle Serpepe"

CARTA GEOLOGICA

Stralcio CTR - Sezione n. 344120 "San Lorenzo", Elementi nn. 344123 e 344124

Scala 1:5.000

Legenda



Delimitazione area in studio



Depositi alluvionali



Travertini della Doganella



Lave di Fontana Murata



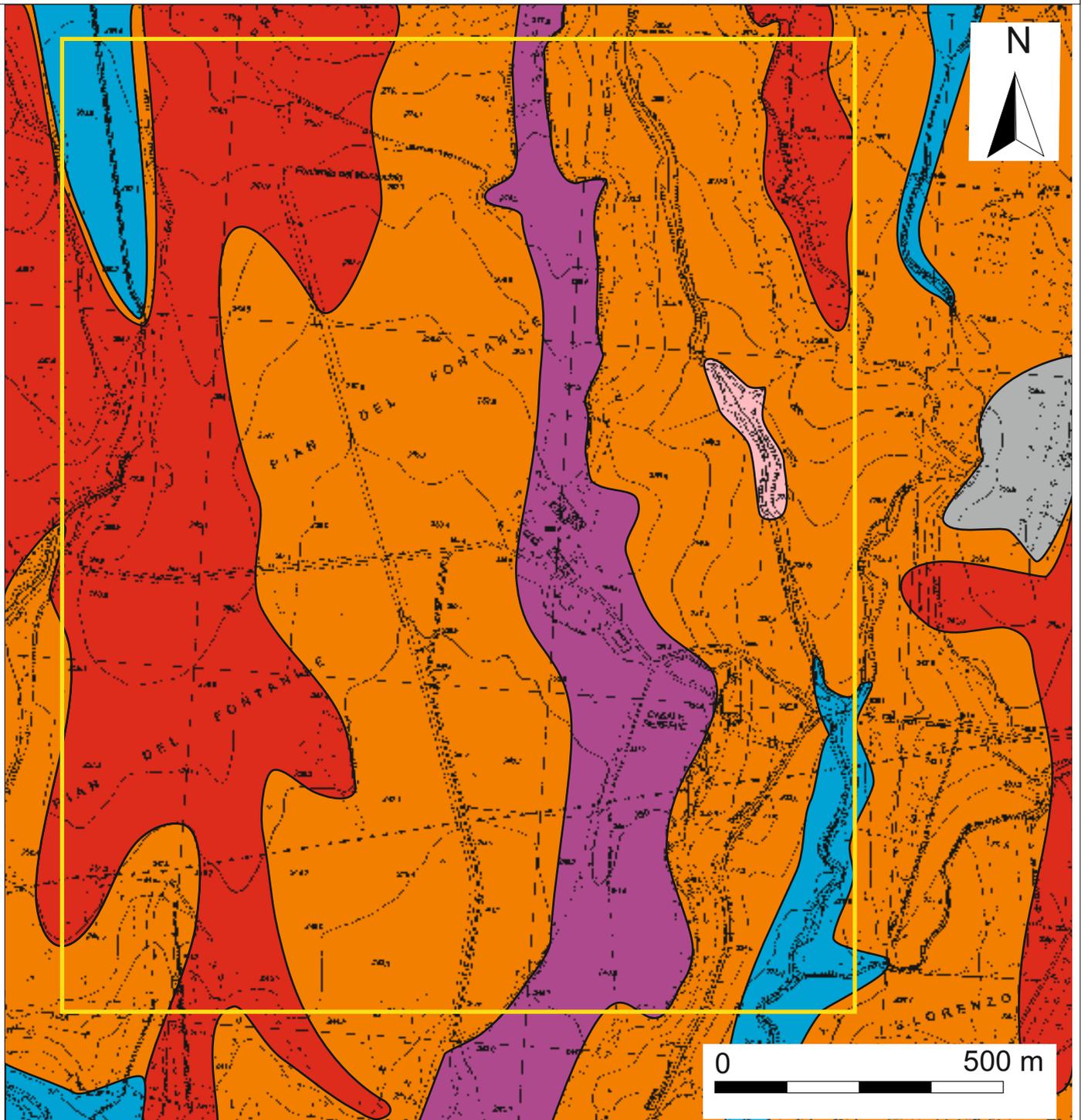
Lave di Colle Serpepe



Unità di Monte Cardone



Lave di Casale Quarticciolo



5. Idrogeologia

Dal punto di vista idrogeologico i terreni sopra descritti appartengono al:

- *"Complesso dei depositi alluvionali recenti"*: è costituito alluvioni ghiaiose, sabbiose, argillose attuali e recenti e coperture eluviali e colluviali, con spessori da poche decine a centinaia di metri. Dove il complesso è costituito da depositi alluvionali dei corsi d'acqua perenni, presenta gli spessori maggiori ed contiene falde multistrato di importanza regionale, mentre con spessori da pochi metri a decine di metri è sede di falde locali di limitata estensione;
- *"Complesso dei travertini"*: travertini antichi, recenti ed attuali, concrezioni travertinose intercalate a depositi alluvionali e lacustri. Spessore variabile fino ad un massimo di un centinaio di metri. Dove affiora in estese placche isolate è sede di una circolazione idrica significativa che da luogo a falde locali di buona produttività; dove si trova in continuità idraulica con gli acquiferi alluvionali e/o carbonatici regionali, la produttività della falda aumenta perché ben alimentata. La potenzialità acquifera è medio – alta;
- *"Complesso idrogeologico delle pozzolane"*: è costituito da depositi da colata piroclastica di ignimbriti e tufi, genericamente massivi e caotici, prevalentemente litoidi con spessore da poco ad un migliaio di metri; è sede di un'estesa ed articolata circolazione idrica sotterranea, che alimenta la falda di base dei grandi acquiferi vulcanici regionali;
- *"Complesso idrogeologico dei tufi stratificati e delle facies freatomagmatiche"*: è costituito da tufi stratificati, tufi terrosi, brecce piroclastiche, pomici, lapilli e blocchi

lavici in matrice cineritica; i terreni del complesso, si presentano interdigitali tra gli altri complessi vulcanici, per cui risulta difficile definirne lo spessore totale.

Dall'esame di alcune carte idrogeologiche consultate (Boni et. 1986) e dallo studio idrogeologico effettuato in loco, è possibile ricostruire l'andamento delle isopieze il quale risulta essere diretto verso Sud-Sud/Ovest.

Dal punto di vista idrogeologico, da un'anamnesi dei punti d'acqua censiti in zona e/o in possesso dello scrivente, integrata dall'analisi dello schema idrogeologico dell'Italia centrale, risulta che nell'area in studio la falda basale giace ad una profondità dal piano di campagna compresa tra i 15 ei 30 metri.

In considerazione della morfologia del sito, delle litologie affioranti e del sistema idrogeologico rilevato in zona si può affermare che non esistono evidenze che possano far ipotizzare un'interferenza tra le opere in progetto ed il regime ipogeo.

Quanto sopra descritto trova illustrazione nell'allegata "carta idrogeologica" in scala 1:5.000.

COMUNE di VITERBO (VT)

Località "Colle Serpepe"

CARTA IDROGEOLOGICA

Stralcio CTR - Sezione n. 344120 "San Lorenzo", Elementi nn. 344123 e 344124
Scala 1:5.000

Legenda



Delimitazione area in studio



Isopieze espresse in metri s.l.m.



Direzione principale del flusso



Complesso idrogeologico dei depositi alluvionali recenti



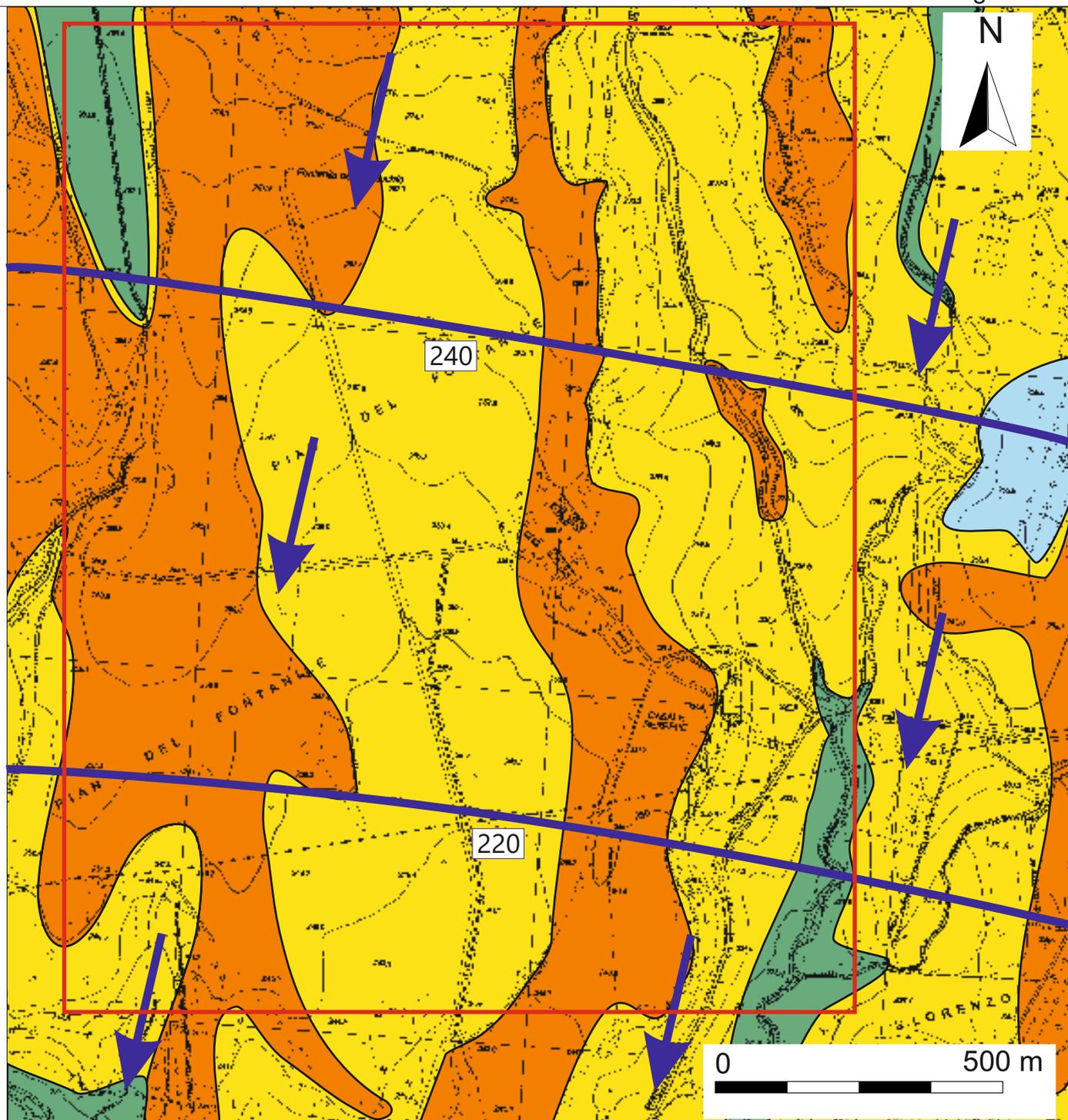
Complesso idrogeologico dei travertini



Complesso idrogeologico delle lave, laccoliti e coni di scorie



Complesso idrogeologico dei tuffi stratificati e delle facies freatomagmatiche



6. Livello di pericolosità ai sensi della D.G.R. Lazio 189/21

Il Regolamento Regionale 21 aprile 2021 "Modifiche al Regolamento regionale 26 ottobre 2020, n. 26. di cui alla D.G.R. Lazio n. 724/20, Regolamento regionale per la semplificazione e l'aggiornamento delle procedure per l'esercizio delle funzioni regionali in materia di prevenzione del rischio sismico - Abrogazione del Regolamento regionale 13 luglio 2016, n. 14, prescrive, all'Allegato "C", le indagini e le prove minime di tipo geologico, geofisico e geognostico, per i diversi livelli di pericolosità dell'opera, a loro volta derivanti dalla combinazione di classe d'uso dell'intervento e classificazione sismica del territorio comunale, necessarie per l'ottenimento dell'autorizzazione sismica ex art. 94 del DPR 380/01.

Nella fattispecie la riclassificazione sismica della Regione Lazio, di cui al D.G.R. Lazio 387/09 in recepimento della O.P.C.M. 3274/03 e s.m.i., ha catalogato il territorio del Comune di Viterbo in categoria 2B.

Per quanto attiene la classe d'uso dell'opera interessata, la stessa ricade in classe d'uso II "Costruzioni il cui uso prevede normali affollamenti...", ai sensi del § 2.4.2. delle NTC18.

La stima di eventuali altri fattori condizionanti dal punto di vista geologico, sulla base di quanto in precedenza descritto, porta alle seguenti conclusioni:

- La zona non presenta rischi di liquefazione (§ 7.11.3.4 delle NTC18);
- La zona non manifesta fenomeni di subsidenza, cedimenti differenziali, dovuti alla presenza di terreni compressibili;
- La zona non appare in condizioni di dissesto e/o di frana;

- La zona risulta stabile suscettibile per fenomeni di amplificazione sismica locali, come si evince dallo studio di Microzonazione Sismica di Livello 1 condotto, validato dall'Ufficio Geologico e Sismico Regionale ai sensi della D.G.R. Lazio 545/10;
- La zona non è compresa in aree R3 o R4 dei Piani della Autorità di Bacino competente (ABR);
- La zona non si trova entro 50 metri da faglie attive e capaci segnalate dall'INGV.

Sulla base di quanto sopra descritto, dallo schema riportato nell'Allegato "C" della DGR 7189/21, è possibile affermare che l'intervento ricada nel livello di pericolosità dell'opera "**medio**".

PERICOLOSITA'					
Zona Sismica					
PROGETTI	1	2a	2b	3a	3b
classi d'uso I e II	MEDIO	MEDIO	MEDIO	BASSO	BASSO
classe d'uso III	ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
classe d'uso IV	ALTO	ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO

Per quanto sopra precisato, si ritiene che il programma delle indagini, così come descritte precedentemente, si possa ritenere conforme alle previsioni regolamentari e

correttamente dimensionato in relazione all'impegno delle opere da realizzare, essendo
dovuto a definire, in maniera puntuale, i valori caratteristici delle proprietà fisiche,
meccaniche e geofisiche dei terreni presenti nel sedime locale.

7. Sismicità

7.1. Sismicità Regionale

L'area in studio è collocata in prossimità di importanti aree sismogenetiche quali l'Appennino Umbro Marchigiano.

In particolare, nell'Alto Lazio, la sismicità si manifesta con caratteri tipici delle aree vulcaniche: bassa profondità ipocentrale ed intensità non molto elevata.

L'origine della sismicità è piuttosto incerta, ma certamente in correlazione con il vulcanismo che ha interessato la Regione fino a poche decine di migliaia di anni fa.

Le aree più attive sono quelle dei Vulsini, ed in particolare i settori Nord ed Est del Lago di Bolsena, mentre la fascia costiera può sporadicamente risentire di terremoti profondi legati alla subduzione litosferica sotto il Mar Tirreno.

Le massime magnitudo dei terremoti inquadrati nel primo tipo non superano generalmente il valore di 4, anche se il loro effetto può essere incrementato in ragione della bassa profondità ipocentrale, quasi mai superiore a 7 - 8 km.

Da menzionare per il Viterbese il terremoto di Bagnoregio del 1695 (IX° grado Mercalli), quello di Castelgiorgio del 1957 (VIII° grado MCS) e Tuscania del 1971 (VIII° MCS).

In generale, dall'analisi del Catalogo parametrico dei terremoti italiani (Boschi et al., 1995; Boschi et al., 2000), si nota che in prossimità dell'area in esame non si riconoscono eventi sismici con magnitudo maggiore di 6.

7.2. Sismicità Locale

Studi recenti riguardanti la distribuzione delle Massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani (Stucchi et al. 2007 – disponibile on-line <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI15/>) indicano, per la zona in oggetto, dei valori intorno al sesto-settimo grado della scala macrosismica MCS.

I più importanti eventi sismici avvenuti nella zona e che hanno avuto un grande risentimento nell'area in studio sono cinquantasette e vengono riportati nella tabella sottostante.

Storia sismica di Viterbo (VT)

[42.416, 12.107

Osservazioni disponibili: 57

Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	Io	Mw
8-9	1349 09 09 08 15	Viterbese	9	
5	1695 06 11 02 30	Lazio settentrionale	50	5.80
F	1699 05 07	Viterbese	2	3.70
F	1699 05 09	Viterbese	4	4.40
6-7	1703 01 14 18	Valnerina	197	6.92
F	1740 06	Valle Umbra	2	3.93
5	1743 01 21 21 55	Lazio settentrionale	22	5.01
4	1781 04 04 21 20	Faentino	96	6.12
4-5	1861 05 09 01 53	Val di Chiana	28	5.02
5	1873 03 12 20 04	Appennino marchigiano	196	5.85
2-3	1874 12 06 15 50	Val Comino	43	5.48
5	1877 12 23 05 03	Viterbese	19	4.72
2	1879 02 23 18 30	Valnerina	15	5.59
2	1885 02 26 20 48	Pianura Padana	78	5.01
2	1885 04 10 01 44	Appennino laziale-abruzzese	44	4.57
3	1887 02 23 05 21 50	Liguria occidentale	1511	6.27
NF	1892 01 22	Colli Albani	81	5.14
3	1895 11 01	Campagna romana	94	4.83
5	1898 06 27 23 38	Reatino	186	5.50
3	1903 06 21 13 29	Lazio settentrionale	8	4.40
NF	1905 02 12 08 28	Monte Amiata	61	4.55

Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	Io	Mw
NF	1909 01 13 00 45	Emilia Romagna orientale	867	5.36
NF	1911 04 10 09 43	Colli Albani	79	4.74
6	1915 01 13 06 52 43	Marsica	1041	7.08
2	1915 11 11 03 41	Ternano	16	4.53
3-4	1917 10 14 17 05	Montefiascone	17	4.20
3	1919 10 22 06 10	Anzio	142	5.22
4	1922 03 27 00 10	Monti Volsini	9	4.39
2-3	1922 12 29 12 22 06	Val Roveto	119	5.24
3	1927 10 11 14 45 08	Marsica	81	5.20
NF	1930 10 30 07 13	Senigallia	268	5.83
3	1931 05 13 00 26	Alto Viterbese	10	4.25
3	1940 10 16 13 17	Val di Paglia	106	5.29
4-5	1950 09 05 04 08	Gran Sasso	386	5.69
F	1951 08 08 19 56	Gran Sasso	94	5.25
4	1957 12 06 04 54	Orvietano	63	4.97
4	1963 09 02 00 24 05	Monti Cimini	27	4.47
4	1969 07 02 07 55	Monti della Tolfa	72	4.77
4	1971 02 06 18 09	Tuscania	89	4.83
3	1971 04 02 01 43 54	Valnerina	68	4.50
4	1978 07 30 05 19 23	Ternano	25	4.32
5	1979 09 19 21 35 37	Valnerina	694	5.83
NF	1980 09 08 19 41 1	Costa Grossetana	55	4.44
3-4	1980 11 23 18 34 52	Irpinia-Basilicata	1394	6.81
4	1984 04 29 05 02 59	Umbria settentrionale	709	5.62
NF	1993 06 05 19 16 1	Valle del Topino	326	4.72
4-5	1997 09 26 00 33 1	Appennino umbro-marchigiano	760	5.66
4-5	1997 09 26 09 40 0	Appennino umbro-marchigiano	869	5.97
3	1997 10 03 08 55 2	Appennino umbro-marchigiano	490	5.22
3	1997 10 06 23 24 5	Appennino umbro-marchigiano	437	5.47
4	1997 10 14 15 23 1	Valnerina	786	5.62
4-5	1998 04 05 15 52 2	Appennino umbro-marchigiano	395	4.78
NF	2000 12 16 07 31 0	Ternano	129	4.29
3	2005 08 22 12 02 7	Costa laziale	57	4.78
NF	2005 12 15 13 28 3	Val Nerina	350	4.14

Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	Io	Mw
4	2016 10 30 06 40 1	Valnerina	379	6.61
4	2017 01 18 10 14 9	Aquilano	280	5.7

Tabella 1 – Elenco degli eventi sismici sia storici che strumentali che hanno interessato direttamente o indirettamente l'area in studio. Is - intensità al sito (MCS); Io - Intensità epicentrale (MCS); Mw - magnitudo momento.

Dall'analisi dei recenti inventari di faglie attive, nello specifico è stato consultato il Diss 3.1 (nello specifico il Diss 3.2: DissWorking Group, 2015 - consultabile on-line: <http://www.ingv.it/DISS/>), non si riscontra la presenza di strutture sismogenetiche site in prossimità dell'area analizzata.

Con l'Ordinanza PCM 3274/03 e il successivo D.M. 14.01.2008 e D.M. 17.01.2018 si sono andati chiarendo e semplificando i rapporti fra esigenze normative e formati secondo i quali la pericolosità sismica deve essere valutata.

I dati di pericolosità sismica prodotti da INGV (MPS04 e successive integrazioni prodotte nell'ambito del progetto INGV-DPC S1, disponibili sui siti web <http://zonesismiche.mi.ingv.it/> e <http://esse1.mi.ingv.it/>) hanno fornito una prima risposta, che ha avuto un riconoscimento ufficiale nell' Ordinanza PCM 3519/06 "Criteri per l'individuazione delle zone sismiche e la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone".

Pertanto il territorio comunale di Viterbo è stato classificato appartenente alla categoria 2B.

Si fornisce inoltre la cartografia dei valori di pericolosità sismica del territorio nazionale espressi in termini di accelerazione massima del suolo (vedi Carta Classificazione Sismica e Carta dei Valori di Pericolosità Sismica del Territorio Nazionale).

Dalla Carta dei Valori di Pericolosità Sismica del Territorio Nazionale si osserva che la pericolosità sismica è stimata con una maggiore precisione; di fatto le variazioni sono continue e graduali, pertanto l'accelerazione orizzontale massima del suolo, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita ai suoli rigidi è a **0,125-0,150 g**, vale a dire lo scuotimento atteso del terreno in termini di accelerazione.

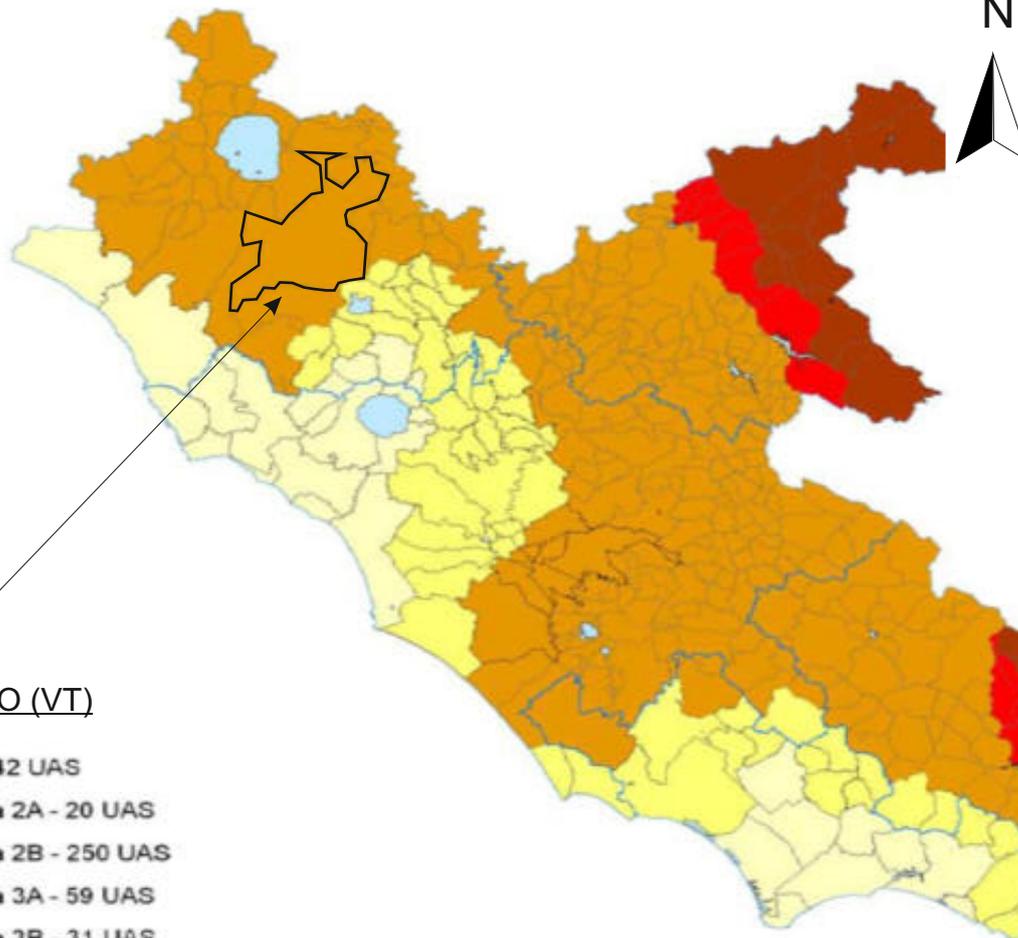
Si tratta di valori di accelerazione orizzontale attesa medio - bassi.

Dall'analisi dello Studio di Microzonazione Sismica di Livello 1 condotto ai sensi della DGR Lazio 545/10 e validato da parte della struttura regionale competente, risulta che l'area in esame è stabile suscettibile ai fenomeni di amplificazione sismica locale.

Di seguito si riporta uno stralcio della Cartografia delle MOPS (Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica), in scala 1:10.000.

COMUNE di VITERBO (VT)
Località "Colle Serpepe"

CARTA CLASSIFICAZIONE SISMICA
Ordinanza P.C.M. 3519 del 28/04/06 e con recepimento
delle variazioni operate dalla D.G.R. 387 del 22/05/2009



Comune di VITERBO (VT)

- Zona Sismica 1 - 42 UAS
- Sottozona Sismica 2A - 20 UAS
- Sottozona Sismica 2B - 250 UAS
- Sottozona Sismica 3A - 59 UAS
- Sottozona Sismica 3B - 31 UAS
- laghi

 Limiti comunali dell'area di studio

0 15 30 60 90 120 Km

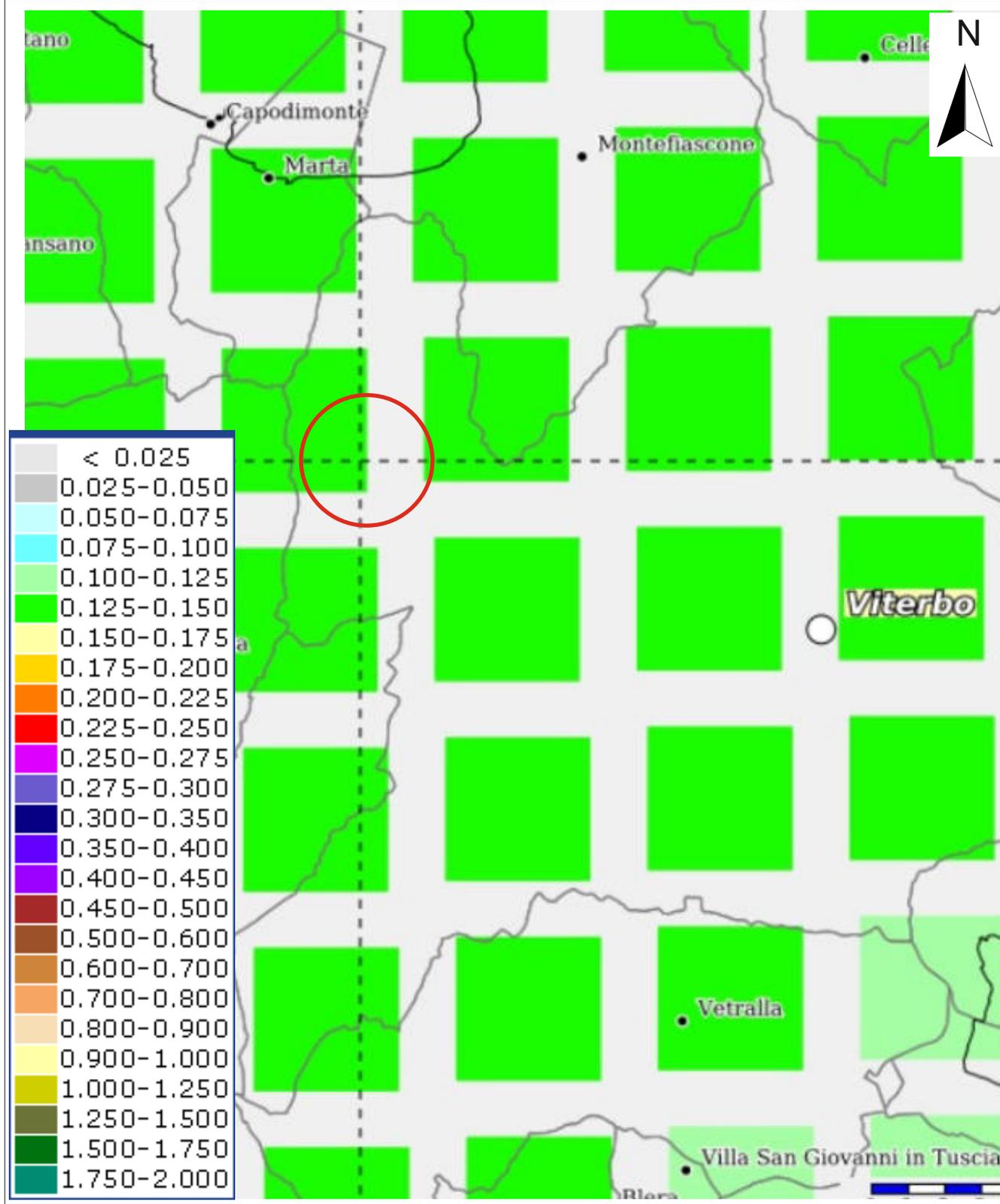
COMUNE di VITERBO (VT)

Località "Colle Serpepe"

CARTA DEI VALORI DI PERICOLOSITA' SISMICA DEL TERRITORIO

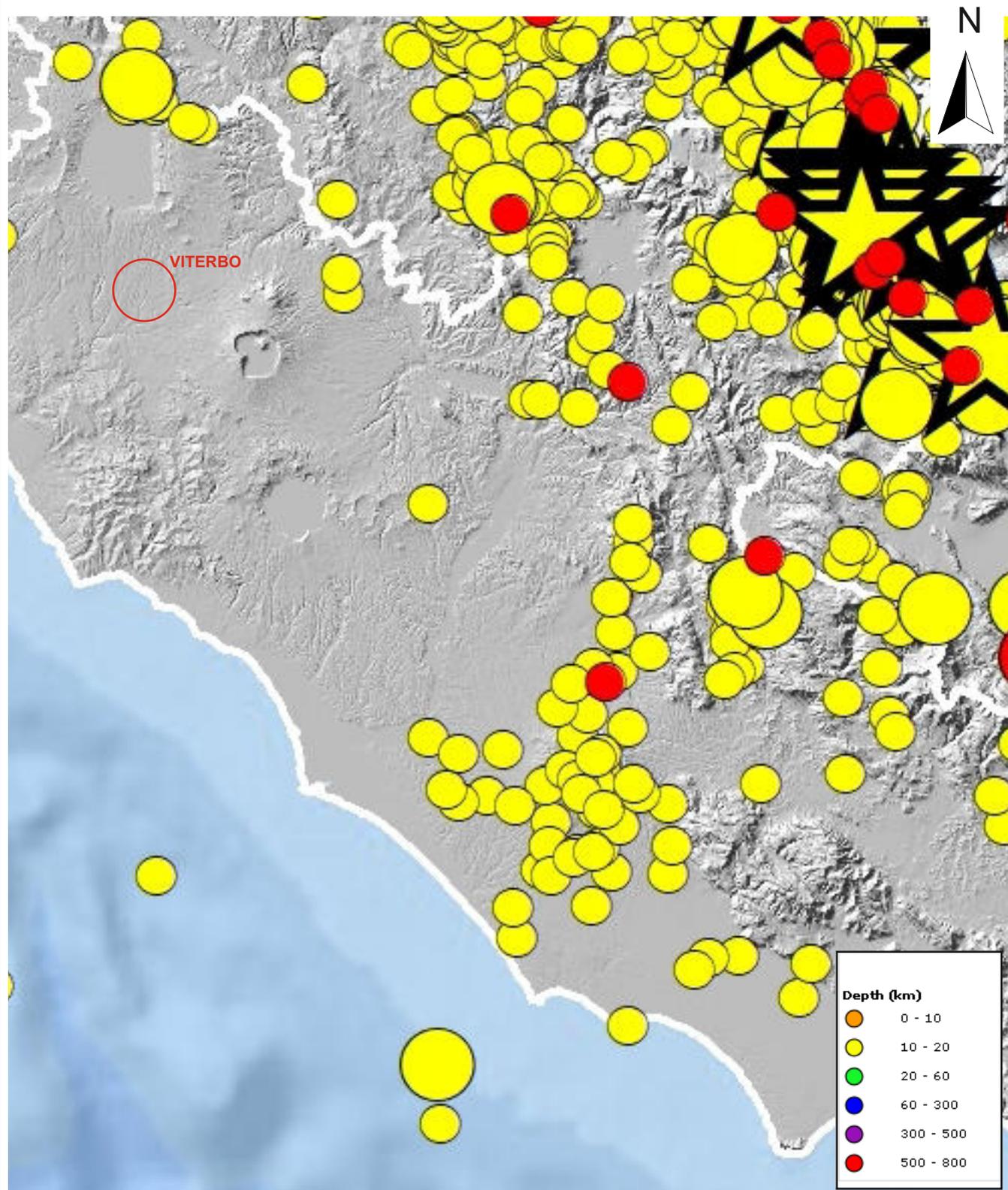
(rif. Ordinanza PCM 3519 del 28/04/06)

Espressi in termini di accelerazione massima del suolo
con probabilità di eccedenza > 10% in 50 anni riferita ai suoli rigidi ($V_s > 800\text{m/s}$)



COMUNE di VITERBO (VT)
Località "Colle Serpepe"

CARTA DELLA SISMICITA' STRUMENTALE
(Sismicità registrata nel periodo 2000-2018)
Fonte dei dati: Progetto ISIDE <http://iside.rm.ingv.it/>

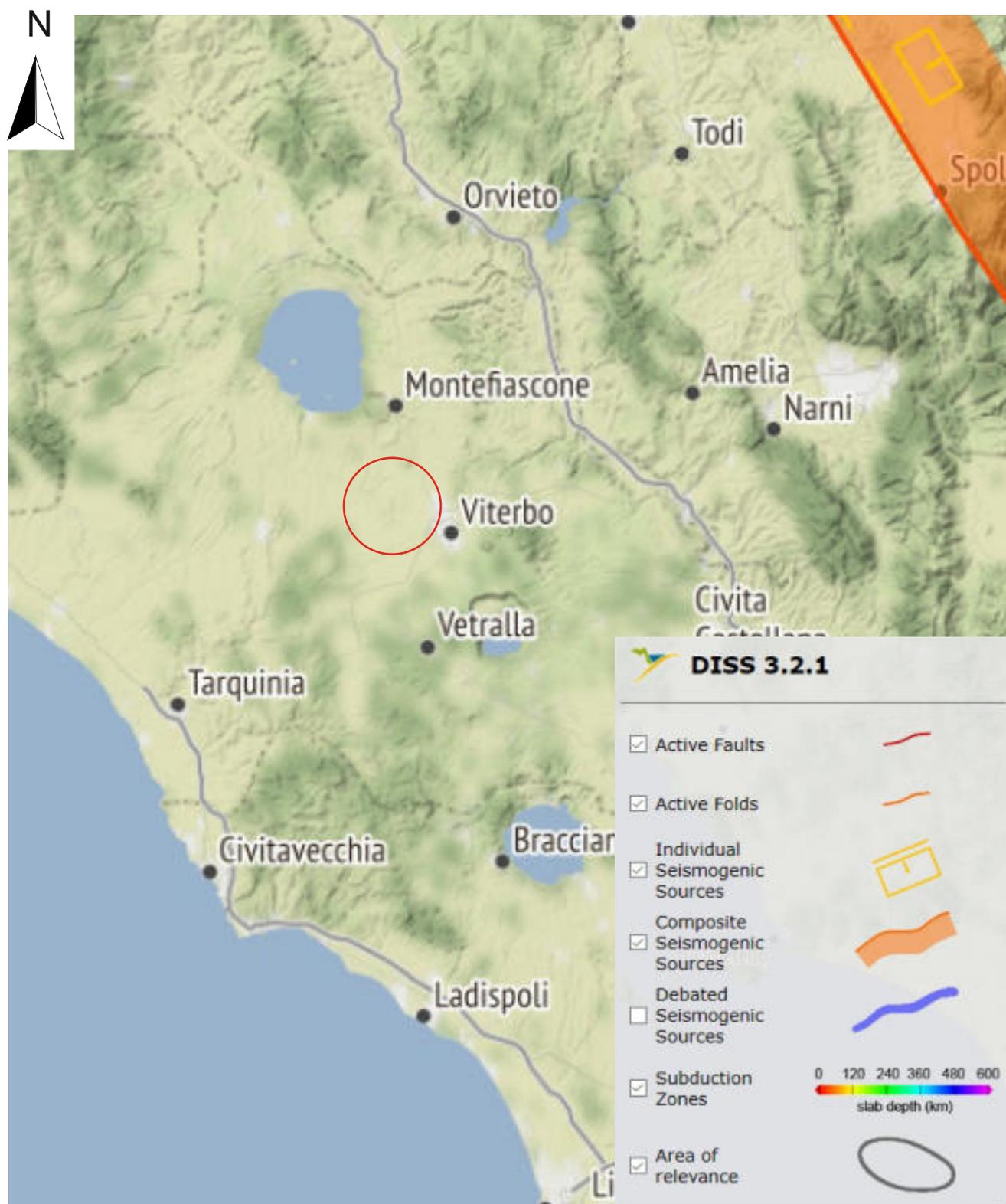


COMUNE di VITERBO (VT)

Località "Colle Serpepe"

CARTA DELLA SISMICITA' STORICA, STRUMENTALE E DELLE STRUTTURE SISMOGENETICHE

Dati disponibili on-line: http://diss.rm.ingv.it/GFMaplet3_INGV/GFMaplet/Default



8. Indagini in situ

8.1.1. Sondaggi meccanici a carotaggio continuo

Modalità esecutive

Nell'ambito dei lavori di cui in oggetto sono stati eseguiti n. 5 sondaggi geognostici, con sistema di perforazione a rotazione, con carotaggio continuo, al fine di ricostruire con dettaglio la successione stratigrafica dei terreni al sedime delle opere da realizzare.

Di seguito si riporta una tabella riepilogativa delle caratteristiche dei sondaggi geognostici.

Sondaggio	Profondità (m)	Installazione attrezzature
S1	15	Piezometro
S2	15	Piezometro
S3	15	Piezometro
S4	15	-
S5	15	Piezometro

Tabella 2. Riepilogo dei sondaggi geognostici eseguiti.

E' stata utilizzata una sonda a testa idraulica, adatta in presenza di terreni misti, caratteristici della zona.

I sondaggi geognostici sono stati eseguiti con la sonda cingolata Marca CMV, modello 600, con carotiere $\varnothing=101$ mm e rivestimento $\varnothing=127$ mm.

Le perforazioni sono avvenute con acqua di circolazione solo laddove i litotipi si presentavano particolarmente consistenti o lapidei.

Le carote di materiale estratto sono state allocate in maniera ordinata e continua all'interno di cassette catalogatrici in PVC di dimensioni 1.00 x 0.60 m, provviste di setti separatori.

Lungo di esse si sono disposti dei contrassegni indelebili in corrispondenza delle quote progressive dei sondaggi (riferite al p.c.).

Ogni cassetta è stata contraddistinta con la sigla dei sondaggi, da un numero progressivo, dalle quote di prelievo e dal nome del cantiere.

Laddove i fori di sondaggio presentavano problemi di stabilità si è provveduto ad introdurre opportuni tubi metallici di rivestimento provvisorio con diametro \emptyset est pari a 127 mm e lunghezza degli spezzoni pari a 150 cm e spessore di 8 mm.

Nell'infissione del rivestimento, così come nella perforazione, quando eseguita con fluido di circolazione, si sono adottati tutti gli accorgimenti atti ad evitare ogni disturbo del terreno naturale.

Le modalità di esecuzione sono state condotte in modo tale da minimizzare le variazioni di stato dei terreni attraversati ed al fondo foro.

La velocità e pressione del fluido, ove utilizzato, sono stati controllati.

Per quanto possibile si è cercato di evitare gli effetti "pistone" e/o "pompa" dovuti a bruschi movimenti assiali della batteria di aste.

In materiali più teneri la perforazione è avvenuta in assenza di circolazione di fluido.

La stabilità del fondo foro è stata garantita mediante manovre di estrazione che sono state eseguite con velocità molto basse, nel tratto iniziale, per minimizzare "l'effetto pistone".

Le singole cassette catalogatrici sono state fotografate entro pochi minuti dal loro completamento e comunque prima che i campioni estratti potessero alterare il colore per la perdita di umidità.

Le fotografie inoltre sono state eseguite con punto di ripresa verticale, assicurando la completa leggibilità di tutte le annotazioni riportate sulla cassetta ed una visione chiara

delle carote contenute, facendo attenzione a non presentare aberrazioni prospettiche o ombre riflesse.

Prove in foro S.P.T. (Standard Penetration Test)

Nel corso dei sondaggi geognostici sono state eseguite, alle profondità indicate nelle allegate stratigrafie, n. 13 prove penetrometriche standard S.P.T..

La prova consiste nella infissione a percussione, secondo una procedura standardizzata, di un campionatore a pareti grosse di dimensioni standard nel fondo di un foro di sondaggio e nella registrazione dei colpi necessari per una penetrazione di 45 cm (NSPT).

Il tubo campionatore in acciaio, apribile longitudinalmente, ha le seguenti dimensioni:

- diametro esterno 51 ± 1 mm,
- diametro interno di 35 ± 1 mm,
- lunghezza (esclusa la scarpa tagliente terminale) di 457 mm.

La scarpa terminale, rastremata a tagliente negli ultimi 19 mm per favorire la penetrazione, presenta una lunghezza di 76 ± 1 mm e diametri (interno ed esterno) identici a quelli del campionatore.

La prova si esegue infiggendo a fondo foro il campionatore per due tratti consecutivi, il primo da 150 mm e il secondo da 300 mm, annotando il numero di colpi necessario per la penetrazione.

Per l'esecuzione di tale prova ci si è attenuti alle norme A.G.I. (1977) - Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche.

I risultati delle prove sono riepilogati nelle allegate "Stratigrafie dei sondaggi geognostici".

Rilievo della falda

Nel corso delle perforazioni è stata rilevata la presenza di acqua di falda solamente nel foro del sondaggio S3, rispettivamente ad una quota di 14,5 metri dal locale p.c..

Descrizione stratigrafica

La descrizione stratigrafica dei sondaggi è stata redatta direttamente in cantiere, specificando per ogni strato individuato:

- 1. tipo di terreno (granulometria e grado di arrotondamento dei clasti);
- 2. compattezza (consistenza o addensamento);
- 3. alterazione;
- 4. colore;
- 5. struttura;
- 6. particolarità.

Nella stesura della descrizione è stato elencato per primo il nome del costituente principale seguito dal costituente secondario nella seguente forma, in accordo alle Raccomandazioni AGI (1977):

- tipo di terreno (granulometria e grado di arrotondamento dei clasti);
- preceduto dalla congiunzione "con" se rappresenta una percentuale compresa tra il 25 ed il 50%;
- seguito dal suffisso "oso" se rappresenta una percentuale compresa tra il 10 ed il 25%;
- preceduto da "debolmente" e seguito dal suffisso "oso" se rappresenta una percentuale compresa tra il 5 ed il 10%.

I sondaggi eseguiti hanno permesso di caratterizzare i terreni al sedime nei differenti lotti indagati.

In particolare la sequenza stratigrafica è caratterizzata da uno strato superficiale di terreno vegetale in matrice sabbioso-limosa, poco addensato e/o consistente.

Al di sotto si rinvengono depositi di lave fratturate in matrice sabbioso-limosa, che si presentano da mediamente a molto addensate e/consistenti.

Seguono depositi di lave litoidi di colore grigio, che si presentano fratturate.

La successione termina con depositi piroclastici con scorie e litici lavici immersi in matrice sabbioso-limosa, che si presentano da mediamente a molto addensati e/o consistenti.

Per la descrizione litostratigrafica di dettaglio dei depositi riscontrati, si rimanda al relativo documento allegato in calce alla presente relazione ("Stratigrafie dei sondaggi geognostici").

8.1.2. Prove penetrometriche dinamiche DPSH (Dynamic Probing Super Heavy)

Al fine di caratterizzare a livello geotecnico i terreni al sedime delle aree indagate, sono state interpretate le risultanze di una campagna di indagini geognostiche che ha previsto l'esecuzione di n. 3 prove penetrometriche dinamiche di tipo DPSH, denominate P1, P2 e P3, e ubicate come da stralcio cartografico precedentemente allegato.

Il penetrometro dinamico cingolato utilizzato, Modello Pagani TG-63-200 ISM.C, secondo la classificazione ISSMFE del 1988 appartiene al tipo Superpesante (DPSH), ovvero con massa battente di massa $M > 60$ kg.

Si allega il certificato di conformità dello strumento alle direttive europee.

Il modello consente l'infissione di aste di acciaio di diametro $\varnothing = 3,60$ cm, lunghezza 100 cm e peso 6.00 Kg cadauna; il maglio di battuta, del peso di 63,50 Kg, prevede un'altezza di caduta fissa di 75 cm; al termine dell'ultima asta è montata una punta conica, avente area $A = 20,43$ cmq ed angolo di apertura $\beta = 90^\circ$.

Tale penetrometro sviluppa un'energia specifica / colpo $Q = 11,66$ kg/cmq (per riferimento, una prova SPT sviluppa una $QSPT = 7.83$ kg/cmq); il coefficiente teorico di energia $\beta_t = Q / QSPT = 1.521$ (in teoria quindi $NSPT = \beta_t \times N$).

Sui tabulati allegati si riportano il numero dei colpi N per ogni 20 cm di avanzamento della batteria di aste, sia in veste analitica che grafica, ed i valori delle resistenze dinamiche di rottura alla punta con la profondità in Kg/cm², calcolate ricorrendo alla formula olandese ricordata sul prospetto riepilogativo iniziale.

Sono infine stati correlati i dati ottenuti elaborando sia un prospetto statistico che un'interpretazione geomeccanica; ciò ha permesso di ricostruire la serie litotecnica, con le rispettive caratteristiche e le indicazioni dei valori di resistenza dinamica corrispondenti ad una prova SPT.

Le colonne litotecniche dei test consentono un'interpretazione ed una definizione abbastanza affidabile della sequenza litologica e geomeccanica locale.

Durante l'esecuzione della campagna geognostica sono state scattate alcune fotografie, riportate nella apposita sezione in allegato (rif. Documentazione fotografica).

Le prove eseguite sono state spinte fino ad una profondità tale da permettere la caratterizzazione geotecnica del volume significativo delle opere da realizzare.

8.2. Prove geofisiche

8.2.1. Prove sismiche MASW

Descrizione del metodo

Il metodo MASW è una tecnica di indagine non invasiva che consente la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo.

Ogni singolo geofono è collegato mediante un cavo bipolare che trasmette il segnale al sismografo, il segnale sismico viene così registrato, opportunamente amplificato, visualizzato sullo strumento e memorizzato per le successive elaborazioni ed interpretazioni.

Questa tipologia di prospezione è stata realizzata con n. 3 stendimenti sismici, denominati MASW1, MASW2 e MASW3, a 24 geofoni allineati ad una distanza intergeofonica di 1 metro, che hanno registrato le onde sismiche generate in corrispondenza di 2 punti di energizzazione, posti ad una distanza (offset) di 4 e 5 metri dal primo geofono all'esterno dello stendimento ed in allineamento con i geofoni.

La distanza intergeofonica indicativamente rappresenta lo spessore minimo della discontinuità rilevabile.

La profondità massima di penetrazione, diversamente dalla sismica a rifrazione tradizionale, è determinata dalla relazione fra velocità di propagazione dell'onda e le sue frequenze, quindi non dipende dalla geometria dello stendimento, ma dalle caratteristiche della successione litostratigrafia del terreno investigato.

Le acquisizioni sono state eseguite con diversi tempi di campionamento pari a 2.000 ms, 0.500 ms e 0.125 ms ed una durata di acquisizione di 2048 ms.

La strumentazione utilizzata è costituita da un sismografo multicanale della PASI modello 16S24-U, avente le seguenti caratteristiche tecniche:

- capacità di campionamento dei segnali tra 125 μ s e 2 ms;
- filtri in post-acquisizione (50-60 Notch, 250LP)
- antialiasing: attivi, LPF, 8°ordine Butterworth;
- attenuazione -48dB/oct (-160dB/dec);
- $f_0=5/8f_{nyq}$; accuratezza $\pm 1\%$ freq.di taglio
- 24 bit con algoritmo proprietario
- 12 geofoni verticali (P) con periodo proprio di 4.5 Hz;
- massa battente pesante di 8 Kg.

Per l'elaborazione del profilo verticale della Vs (velocità delle onde di taglio), è stato utilizzato il software *winMASW della ELIOSOFT srl*.

Elaborazione dei dati MASW1

Il passo di campionamento con il quale sono stati registrati i sismogrammi è stato pari a 2.0 ms 0.5 ms e 0.125 ms; il sismogramma analizzato (figura 3) in queste pagine è quello con passo di campionamento pari a 0.125 ms e offset pari a 4 metri di distanza dal primo geofono.

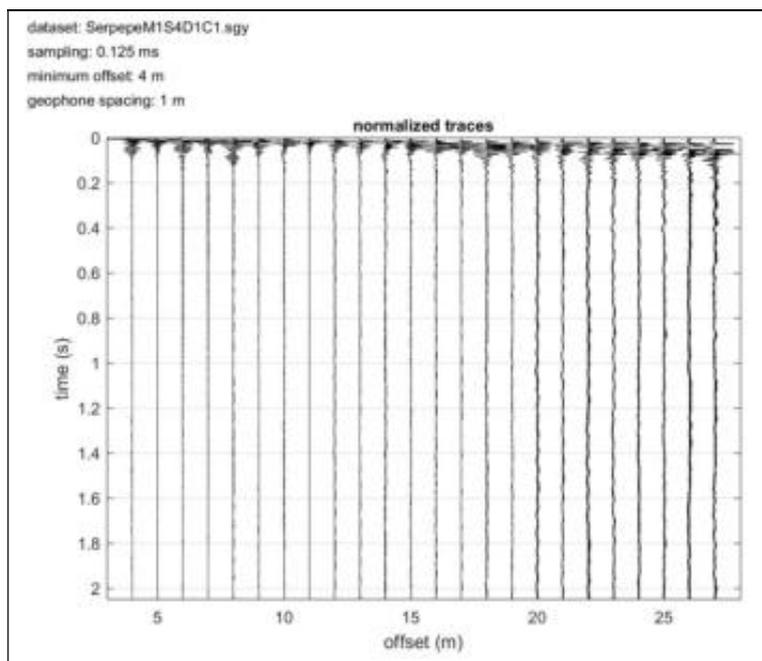


Figura 3 – Sismogramma della MASW1.

Dal sismogramma così ottenuto si è ricavato lo spettro delle velocità (diagramma velocità-frequenza) sul quale si individua la curva di dispersione (Figura 4).

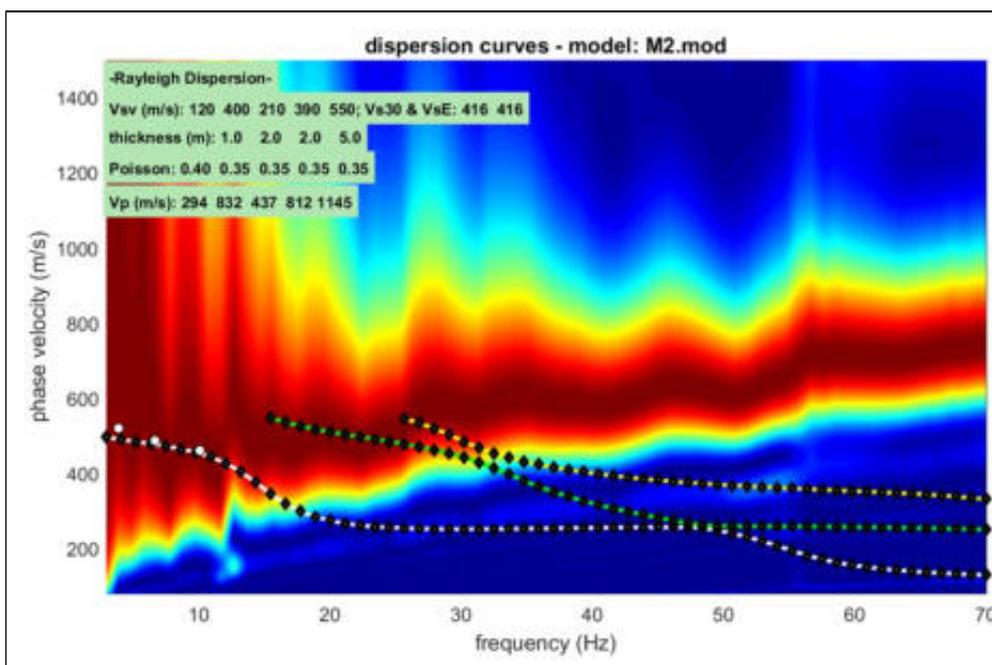


Figura 4 – Spettro di velocità della MASW1.

Nel paragrafo successivo si riportano i modelli sismo-stratigrafici calcolati evidenziando il modello "medio" e "migliore" con colori differenti (Figura 5).

Risultati della MASW1

Gli spettri di velocità ottenuti dalle varie acquisizioni si presentano tutti molto netti mostrando chiaramente il modo fondamentale (Figura 4).

Integrando e piccando i dataset acquisiti si osserva che la velocità di fase risulta dispersa nel piano velocità (m/s)-frequenza (Hz) in un intervallo di compreso tra 2 Hz e 10 Hz.

La corrispondente velocità di fase apparente è compresa, rispettivamente, tra 400 m/s e 600 m/s (Figura 4).

Per tale indagine si è proceduto sia con la modellazione diretta e sia con l'inversione della curva piccata.

I risultati esposti sono il frutto di una ricerca del modello migliore e coerente tra la distribuzione di energia nello spettro di velocità (dato sperimentale) e la curva di dispersione teorica del modello ipotizzato sulla base delle conoscenze geologico - geotecniche acquisite durante questo studio (Figura 5).

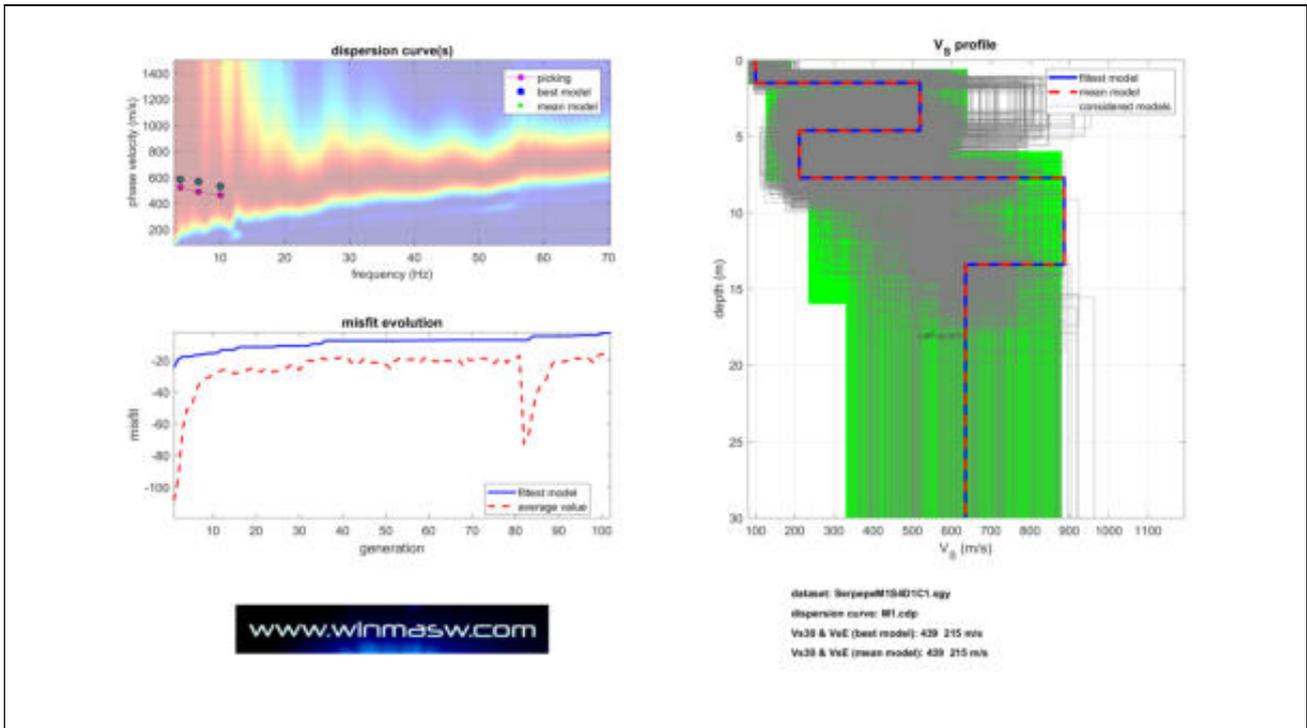


Figura 5 – Modelli di velocità calcolati per la MASW1.

La curva che meglio approssima i dati sperimentali, come già indicato nella figura n. 5, deriva da un profilo verticale delle onde S costituito da 5 sismo-strati, le cui caratteristiche geometriche e sismiche sono indicate nella figura successiva.

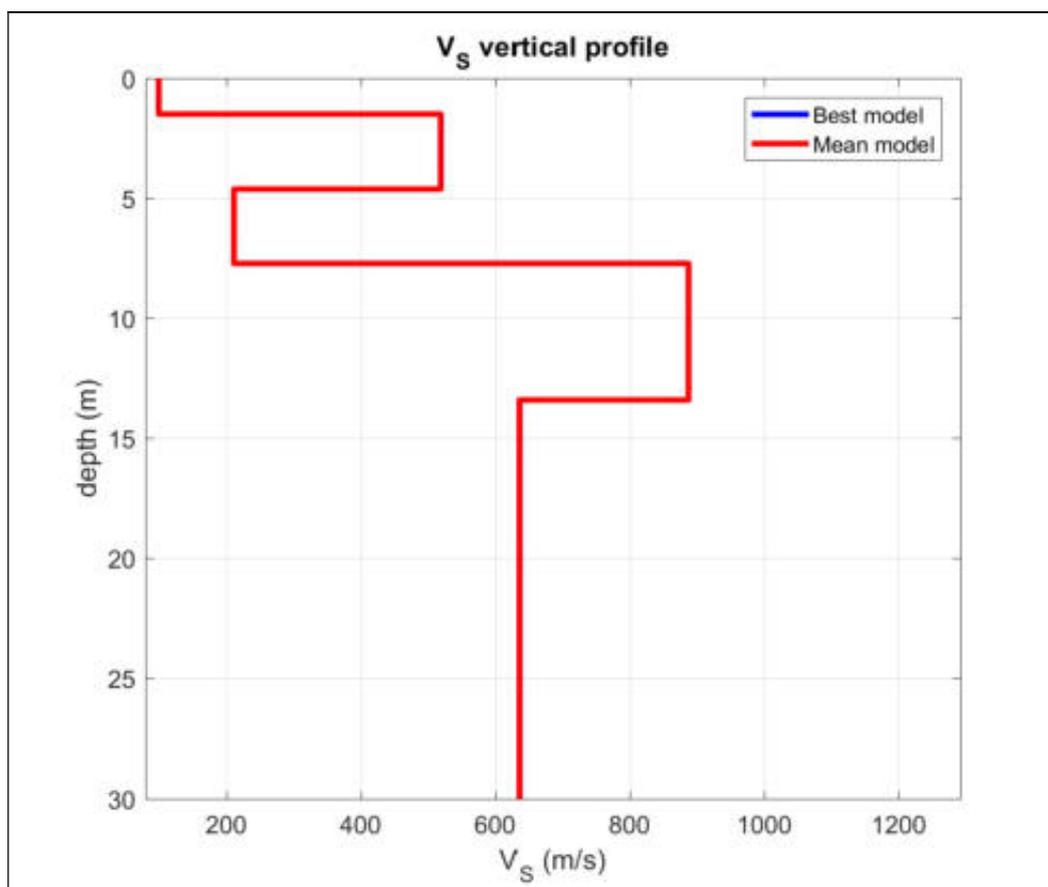


Figura 6 – Sismostratigrafia della MASW1.

La classificazione del suolo è stata eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio entro 30 m di profondità:

Per il caso in esame, utilizzando i valori del modello di velocità relative alle onde di taglio ed estendendo il semispazio fino alla profondità di 30 metri, risulta che la velocità media è di 439 m/sec.

Elaborazione dei dati MASW2

Il passo di campionamento con il quale sono stati registrati i sismogrammi è stato pari a 2.0 ms 0.5 ms e 0.125 ms; il sismogramma analizzato (figura 7) in queste pagine è quello con passo di campionamento pari a 0.125 ms e offset pari a 4 metri di distanza dal primo geofono.

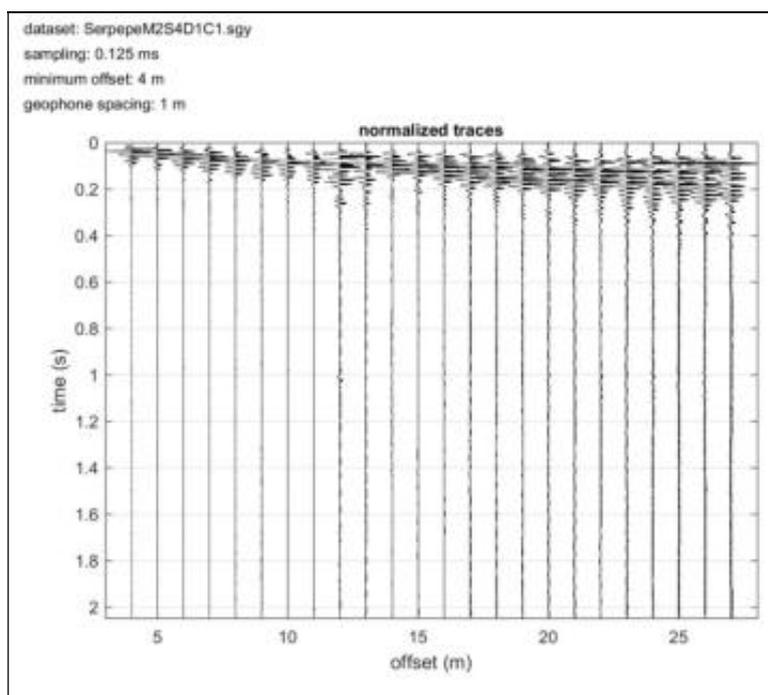


Figura 7 – Sismogramma della MASW2.

Dal sismogramma così ottenuto si è ricavato lo spettro delle velocità (diagramma velocità-frequenza) sul quale si individua la curva di dispersione (Figura 8).

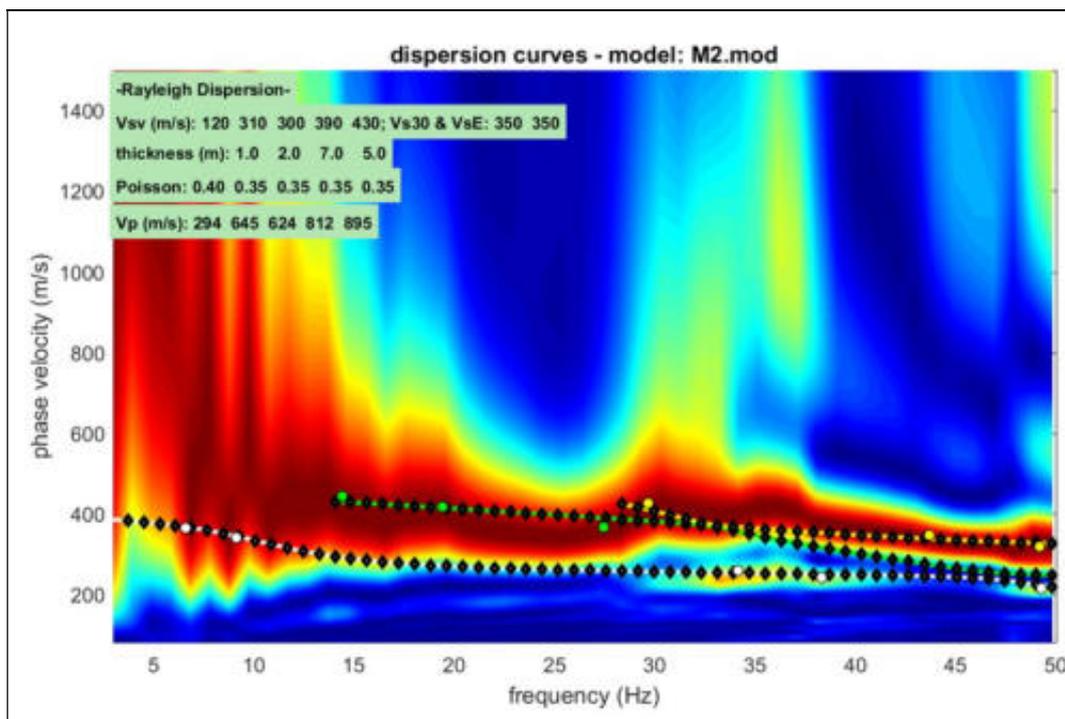


Figura 8 – Spettro di velocità della MASW2.

Nel paragrafo successivo si riportano i modelli sismo-stratigrafici calcolati evidenziando il modello "medio" e "migliore" con colori differenti (Figura 9).

Risultati della MASW2

Gli spettri di velocità ottenuti dalle varie acquisizioni si presentano tutti molto netti mostrando chiaramente il modo fondamentale (Figura 8).

Integrando e piccando i dataset acquisiti si osserva che la velocità di fase risulta dispersa nel piano velocità (m/s)-frequenza (Hz) in un intervallo di compreso tra 5 Hz e 50 Hz.

La corrispondente velocità di fase apparente è compresa, rispettivamente, tra 200 m/s e 400 m/s (Figura 8).

Per tale indagine si è proceduto sia con la modellazione diretta e sia con l'inversione della curva piccata.

I risultati esposti sono il frutto di una ricerca del modello migliore e coerente tra la distribuzione di energia nello spettro di velocità (dato sperimentale) e la curva di dispersione teorica del modello ipotizzato sulla base delle conoscenze geologico - geotecniche acquisite durante questo studio (Figura 9).

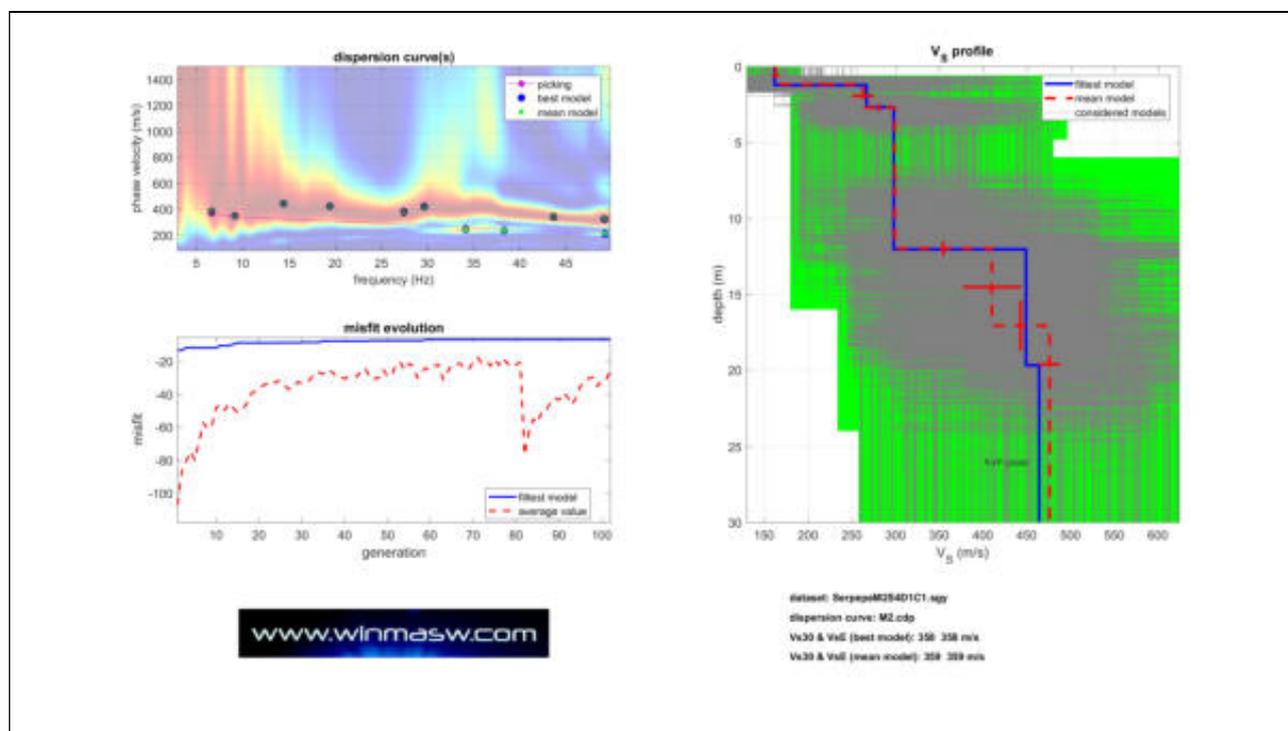


Figura 9 – Modelli di velocità calcolati per la MASW2.

La curva che meglio approssima i dati sperimentali, come già indicato nella figura n. 9, deriva da un profilo verticale delle onde S costituito da 5 sismo-strati, le cui caratteristiche geometriche e sismiche sono indicate nella figura successiva.

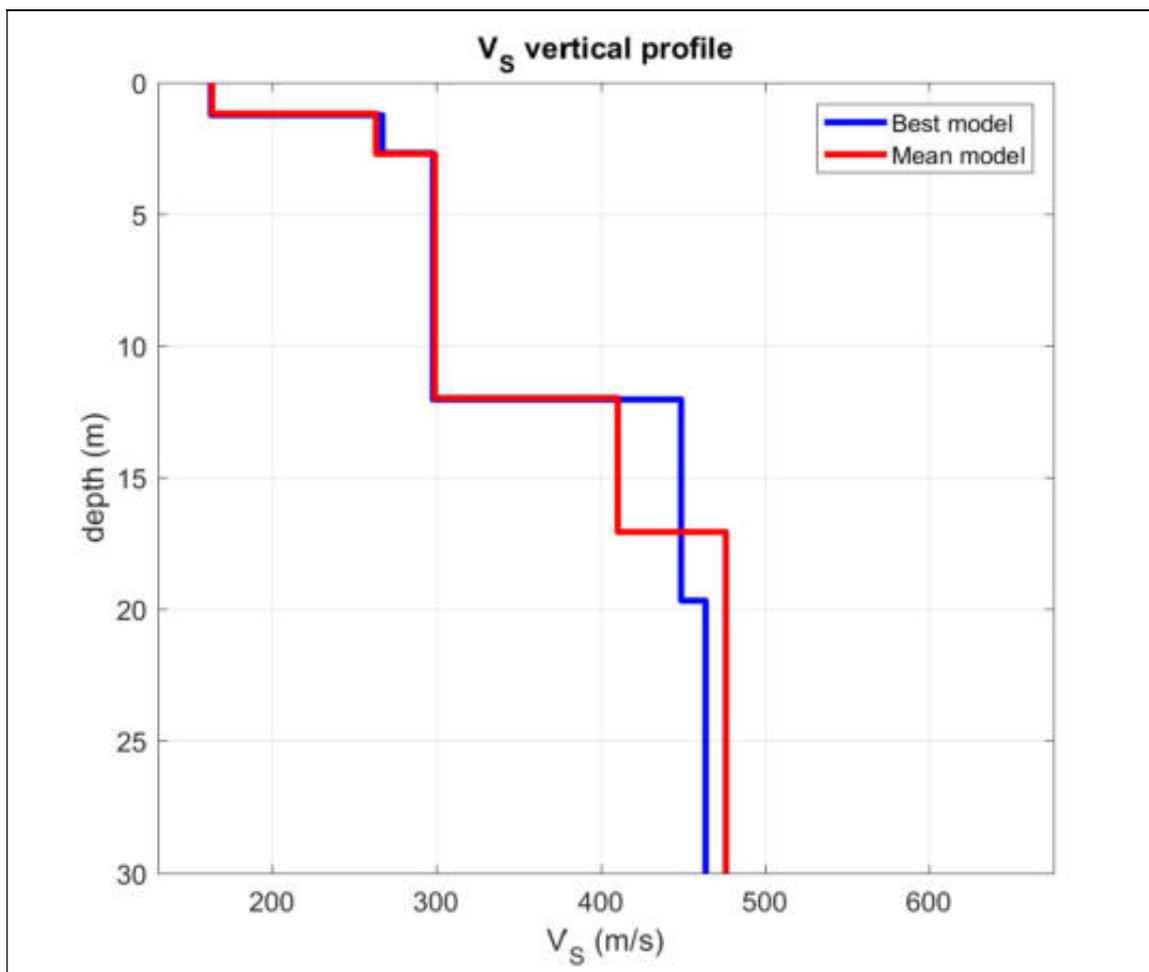


Figura 10 – Sismostratigrafia della MASW2.

La classificazione del suolo è stata eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio entro 30 m di profondità:

Per il caso in esame, utilizzando i valori del modello di velocità relativo alle onde di taglio ed estendendo il semispazio fino alla profondità di 30 metri, risulta che la velocità media è di 359 m/sec.

Elaborazione dei dati MASW3

Il passo di campionamento con il quale sono stati registrati i sismogrammi è stato pari a 2.0 ms 0.5 ms e 0.125 ms; il sismogramma analizzato (figura 11) in queste pagine è quello con passo di campionamento pari a 0.125 ms e offset pari a 4 metri di distanza dal primo geofono.

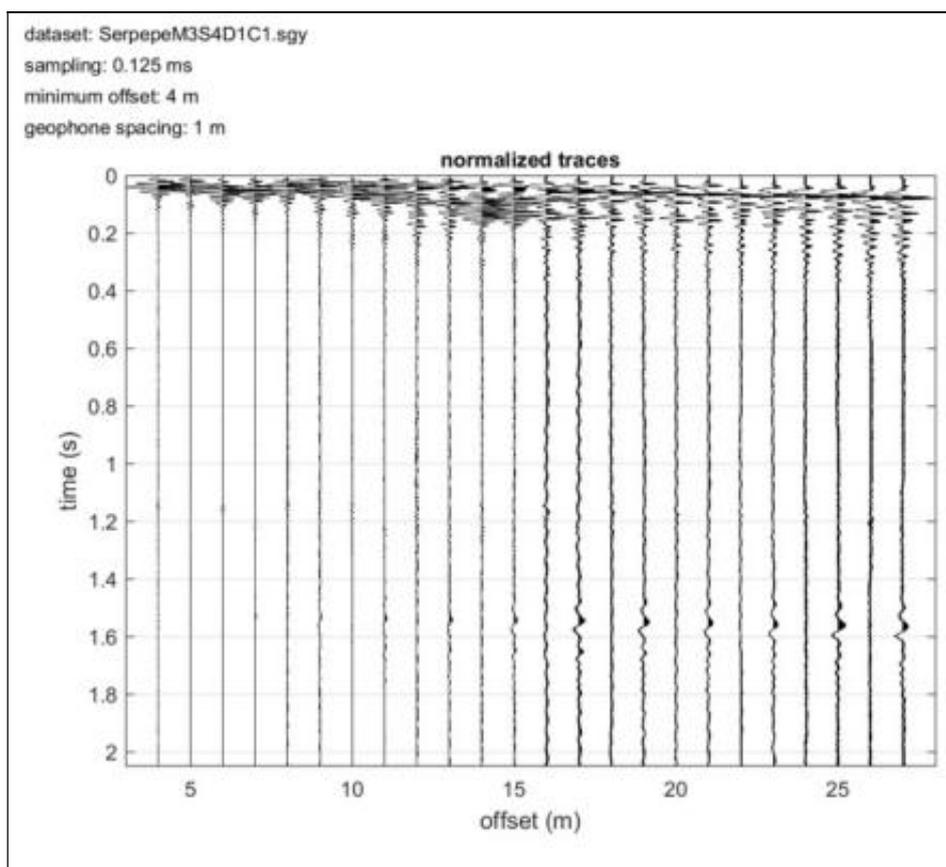


Figura 11 – Sismogramma della MASW3.

Dal sismogramma così ottenuto si è ricavato lo spettro delle velocità (diagramma velocità-frequenza) sul quale si individua la curva di dispersione (Figura 12).

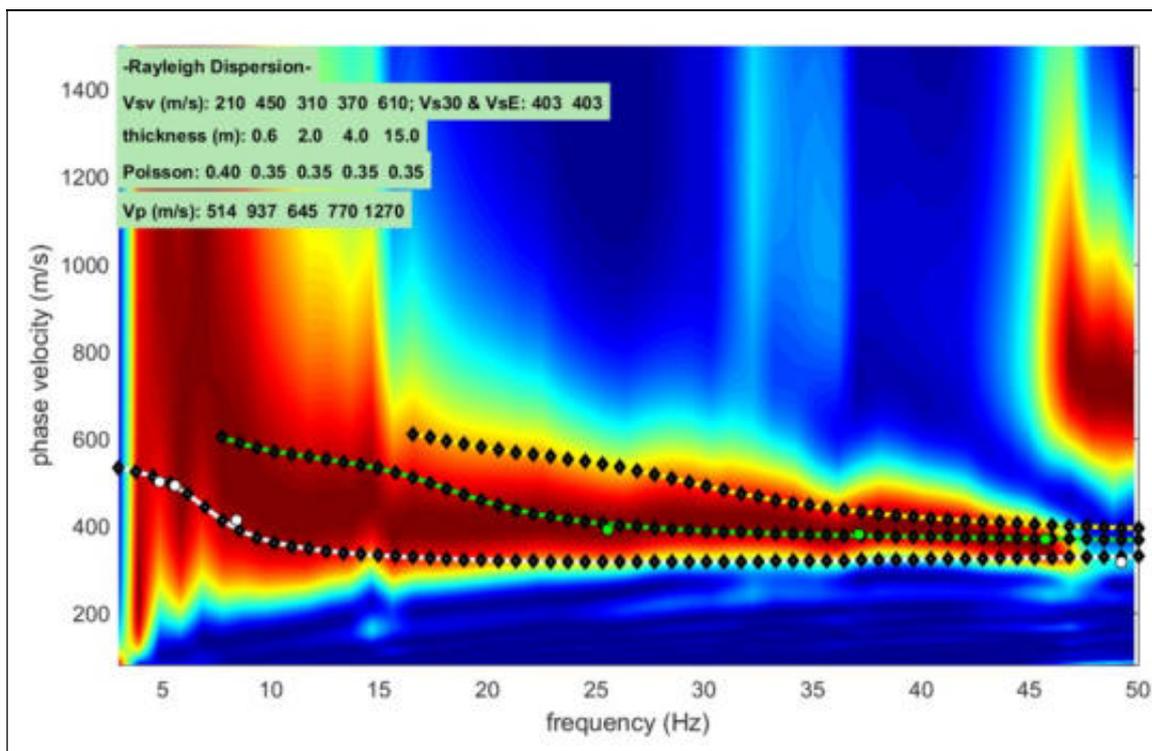


Figura 12 – Spettro di velocità della MASW3.

Nel paragrafo successivo si riportano i modelli sismo-stratigrafici calcolati evidenziando il modello “medio” e “migliore” con colori differenti (Figura 13).

Risultati della MASW3

Gli spettri di velocità ottenuti dalle varie acquisizioni si presentano tutti molto netti mostrando chiaramente il modo fondamentale (Figura 12).

Integrando e piccando i dataset acquisiti si osserva che la velocità di fase risulta dispersa nel piano velocità (m/s)-frequenza (Hz) in un intervallo di compreso tra 5 Hz e 50 Hz.

La corrispondente velocità di fase apparente è compresa, rispettivamente, tra 200 m/s e 500 m/s (Figura 12).

Per tale indagine si è proceduto sia con la modellazione diretta e sia con l'inversione della curva piccata.

I risultati esposti sono il frutto di una ricerca del modello migliore e coerente tra la distribuzione di energia nello spettro di velocità (dato sperimentale) e la curva di dispersione teorica del modello ipotizzato sulla base delle conoscenze geologico - geotecniche acquisite durante questo studio (Figura 13).

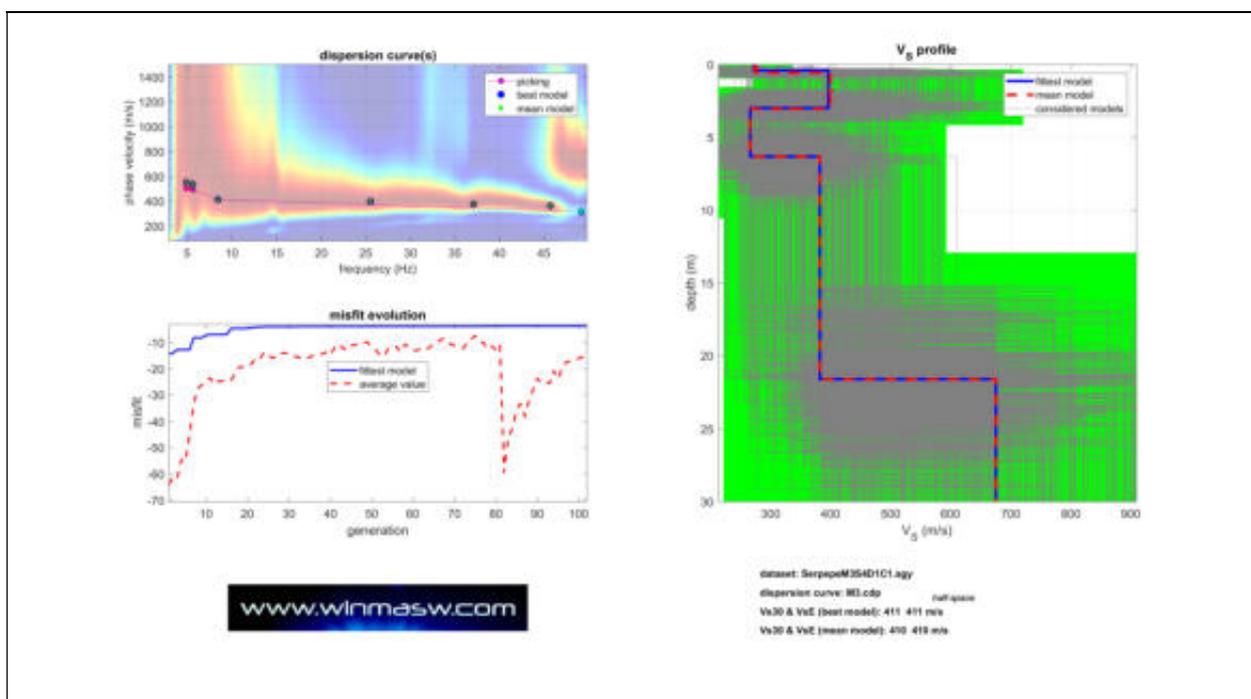


Figura 13 – Modelli di velocità calcolati per la MASW3.

La curva che meglio approssima i dati sperimentali, come già indicato nella figura n. 13, deriva da un profilo verticale delle onde S costituito da 5 sismo-strati, le cui caratteristiche geometriche e sismiche sono indicate nella figura successiva.

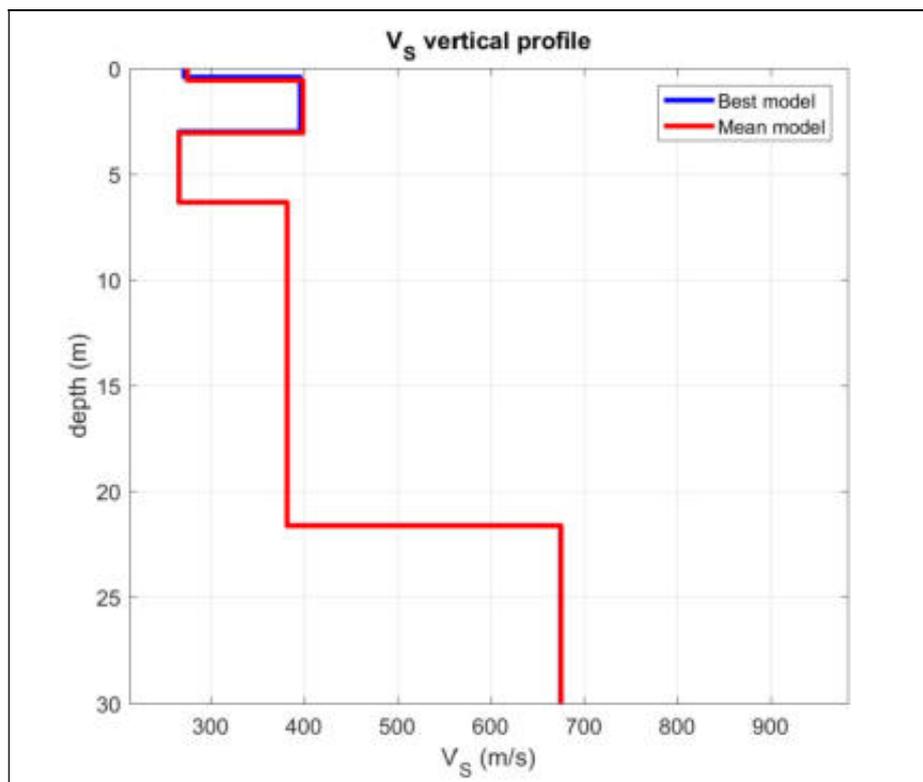


Figura 14 – Sismostratigrafia della MASW3.

La classificazione del suolo è stata eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio entro 30 m di profondità:

Per il caso in esame, utilizzando i valori del modello di velocità relativo alle onde di taglio ed estendendo il semispazio fino alla profondità di 30 metri, risulta che la velocità media è di 410 m/sec.

8.1.2. Misure di microtremore

Descrizione del metodo

Il rumore sismico, generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica, è presente ovunque sulla superficie terrestre, si chiama anche

microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo prossimo all'epicentro.

I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume, P o S.

In essi giocano un ruolo fondamentale le onde superficiali, che hanno velocità prossime a quella delle onde S, il che spiega la dipendenza di tutta la formulazione dalla velocità di queste ultime.

La tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso, è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), proposta da Nogoshi e Igarashi (1970).

La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo (Field e Jacob, 1993; Lachet e Bard, 1994; Lermo e Chavez-Garcia, 1993, 1994; Bard, 1998; Ibs-von Seht e Wohlenberg, 1999; Fah et al., 2001).

Sono state interpretate n. 2 registrazioni del rumore di fondo eseguite nell'area per un tempo di 16 minuti.

Lo scopo di questa indagine è quello di verificare attraverso il metodo di Nakamura, l'eventuale presenza di eventuali contrasti di impedenza fra gli strati sismici investigati.

Risultati delle analisi H/V

Per la misura H/V (misure di microtremori a stazione singola) è stato utilizzato il tromografo ®Tromino (Micromed), strumento digitale dotato di tre sensori elettrodinamici (geofoni o velocimetri), solidali al case metallico, orientati secondo una terna cartesiana.

La frequenza di campionamento è stata di 128 Hz, con tempo pari a 16 minuti.

Sono state analizzate n. 2 registrazioni del rumore di fondo, come risulta dalla "carta ubicazione delle indagini", in allegato.

L'elaborazione delle misure H/V è consistita in un lavoro di pulizia del dato, allo scopo di eliminare segnali transienti e poter quindi procedere al calcolo degli spettri delle componenti orizzontali (H) e verticali (V), successivamente sintetizzate nel rapporto spettrale H/V (in allegato).

Sulla base della ricostruzione stratigrafica ottenuta dalle indagini geotecniche precedentemente descritte, è stato possibile utilizzare la curva H/V per realizzare un modello sintetico di Vs (Experimental vs. Synthetic H/V).

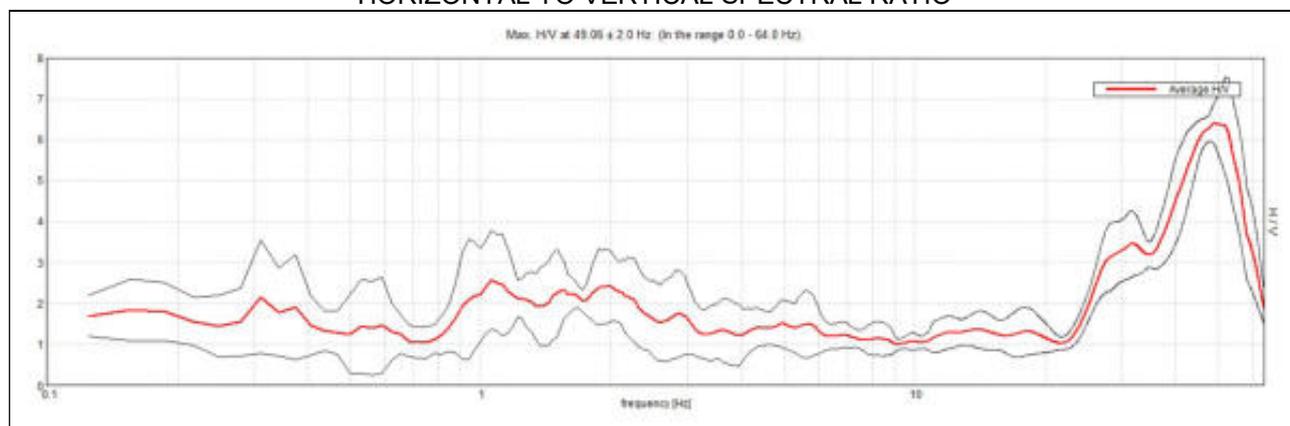
Seguono i rapporti delle registrazioni eseguite.

VITERBO, SER T1

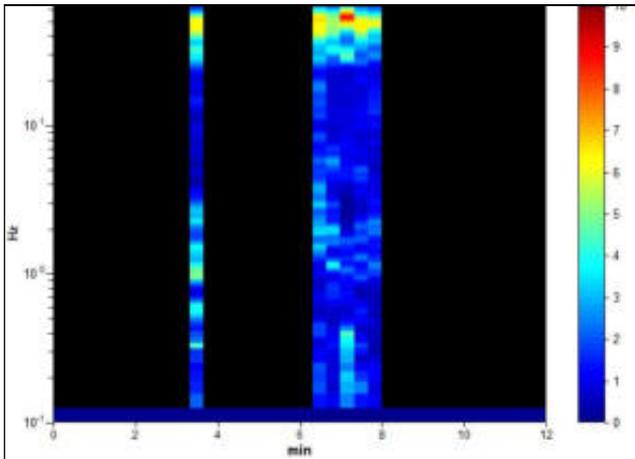
Instrument: TRZ-0142/01-11
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: 51
Start recording: 21/09/22 11:43:57 End recording: 21/09/22 11:55:57
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h12'00". Analyzed 17% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

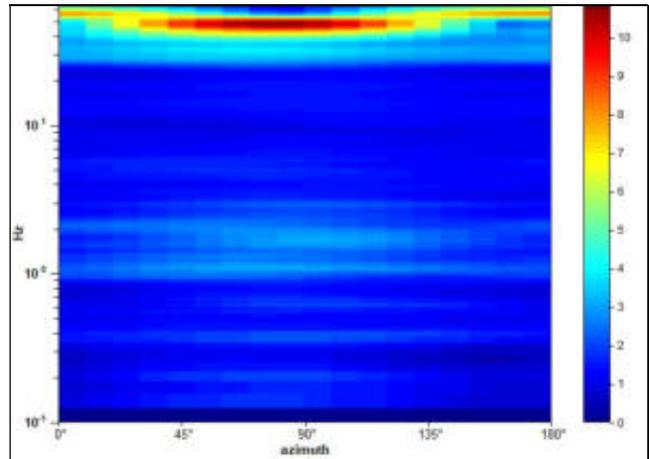
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



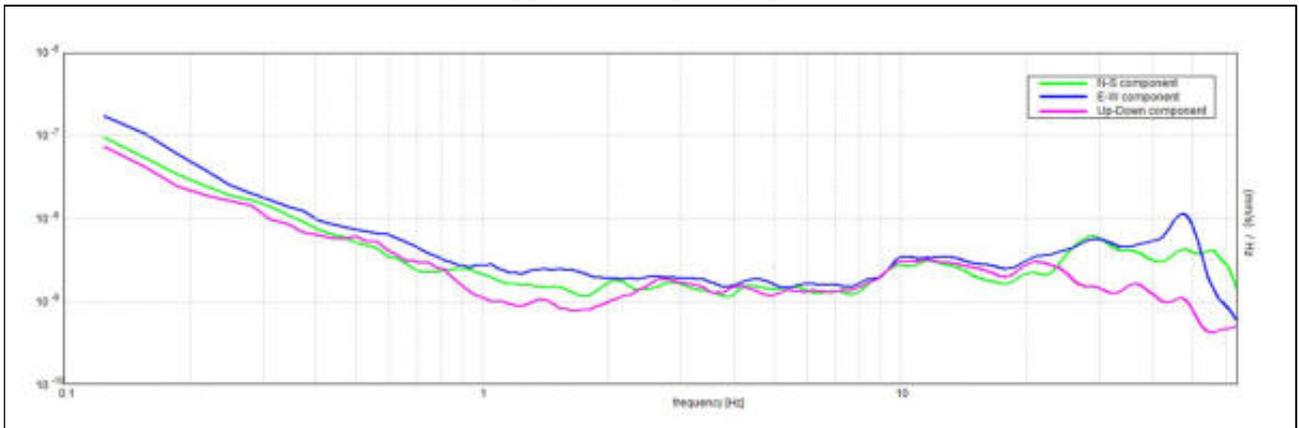
H/V TIME HISTORY



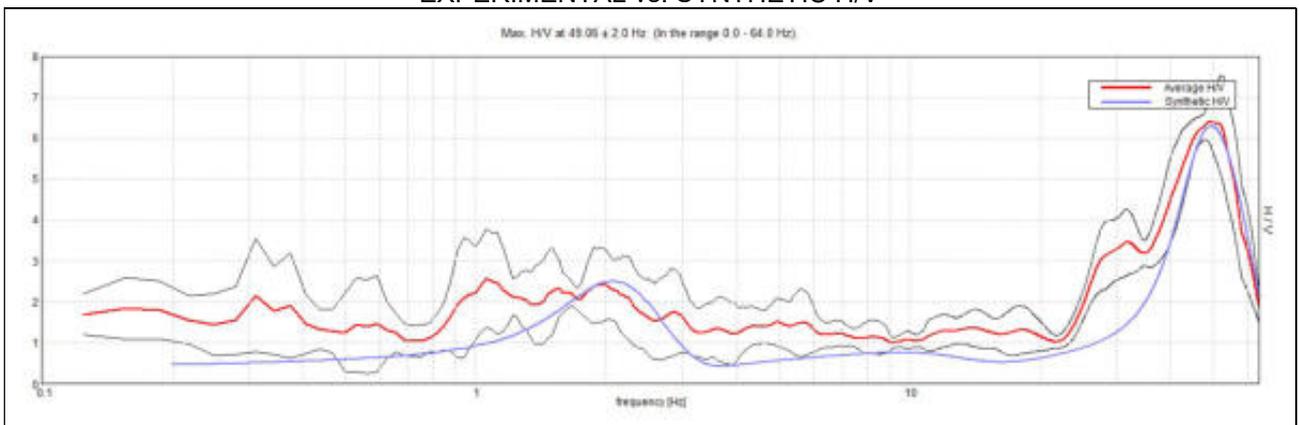
DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA

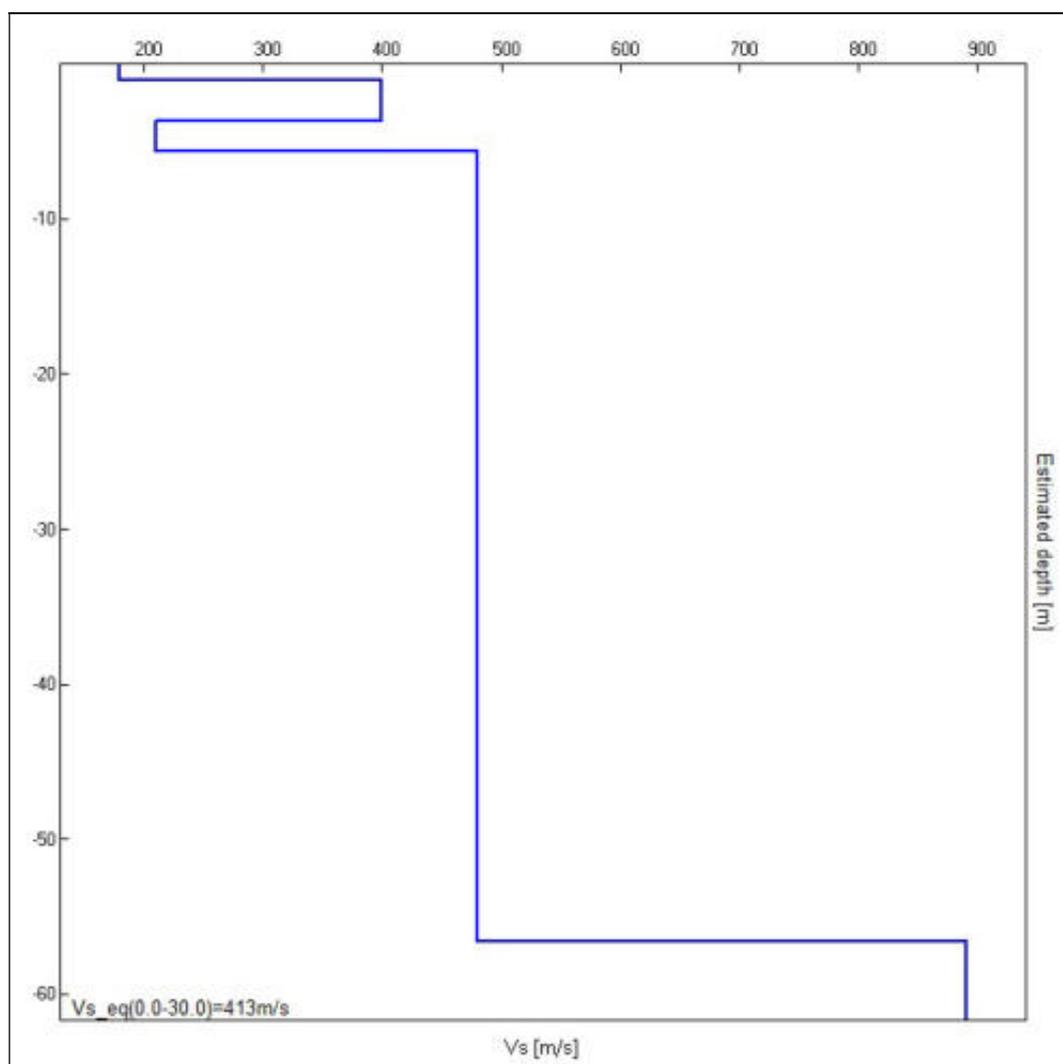


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.05	1.05	180	0.42
3.65	2.60	400	0.42
5.65	2.00	210	0.42
56.65	51.00	480	0.42
inf.	inf.	890	0.42

Vs_eq(0.0-30.0)=413m/s

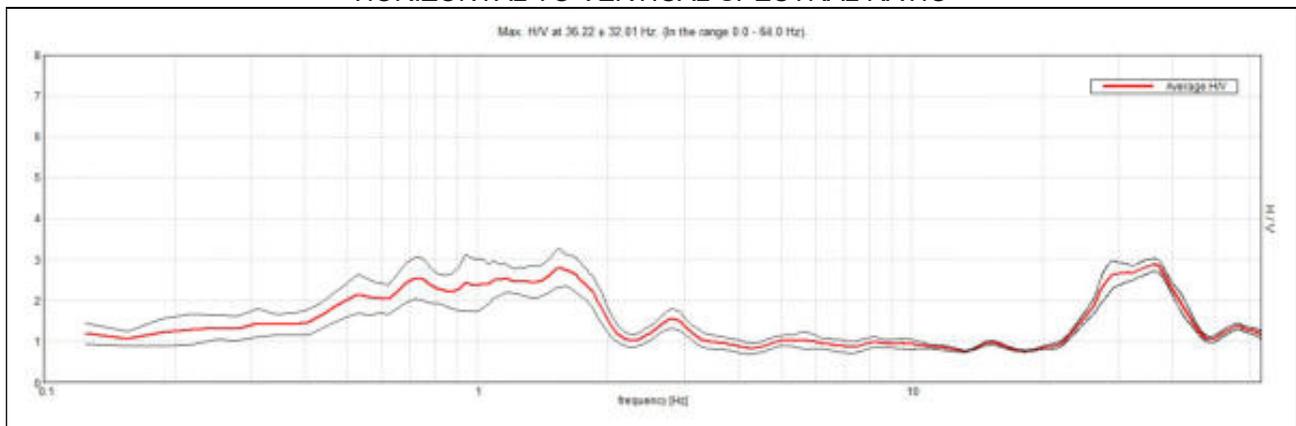


VITERBO, SER T2

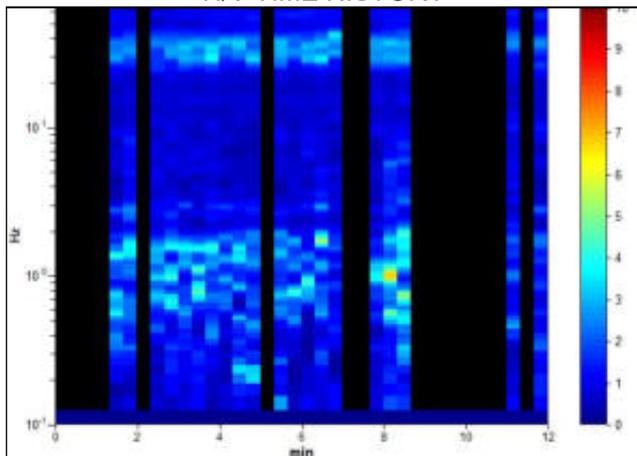
Instrument: TRZ-0142/01-11
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: 51
Start recording: 21/09/22 12:09:55 End recording: 21/09/22 12:21:55
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h12'00". Analyzed 56% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

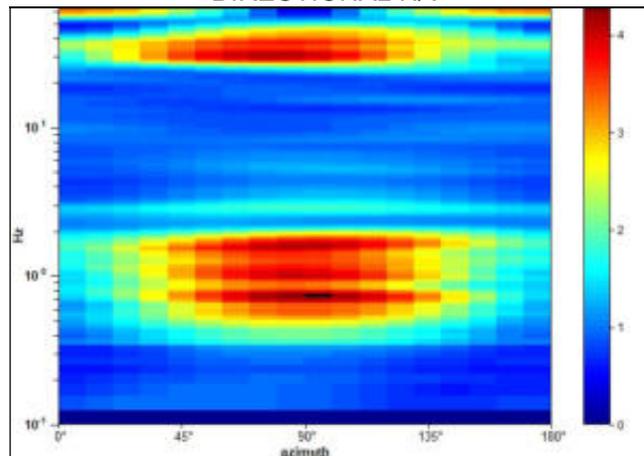
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



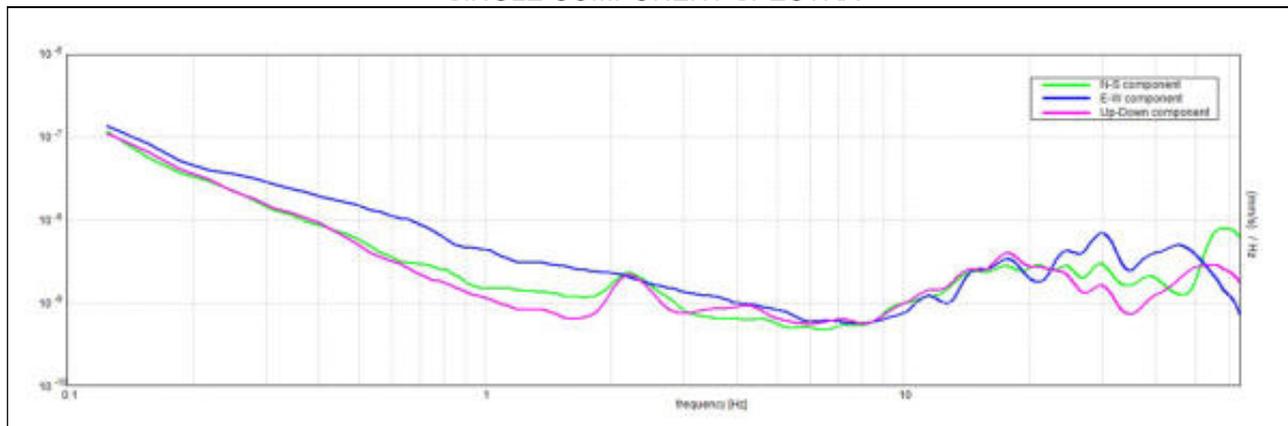
H/V TIME HISTORY



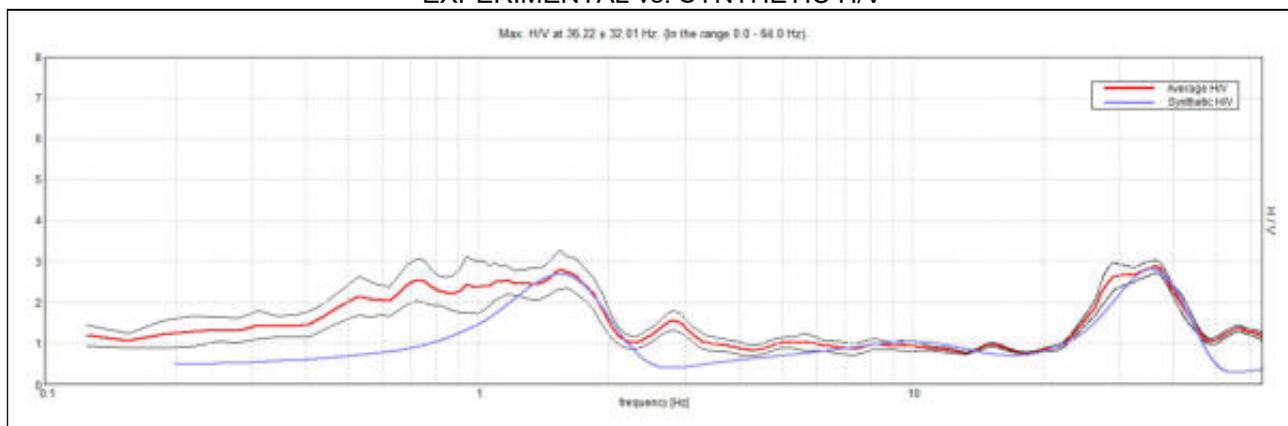
DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA

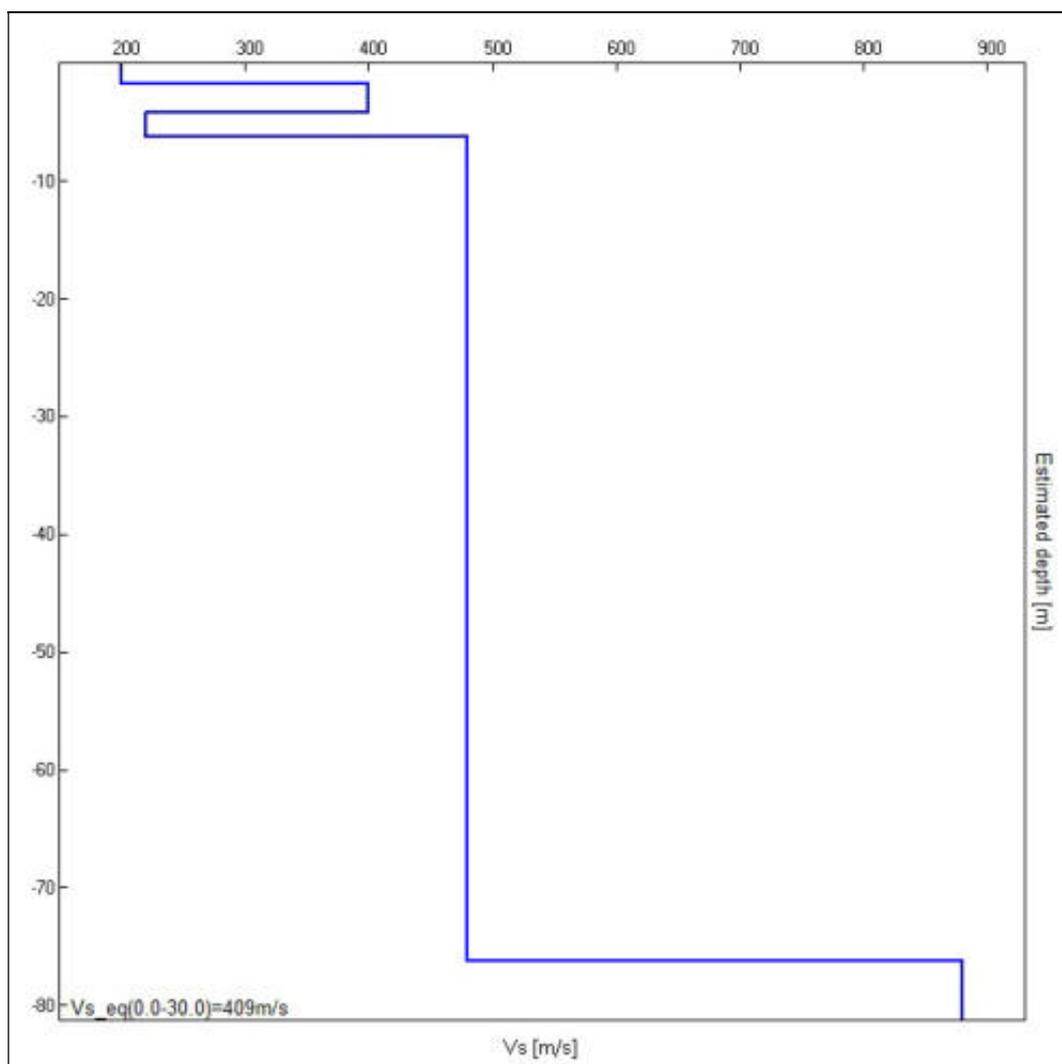


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.70	1.70	200	0.45
4.20	2.50	400	0.45
6.20	2.00	220	0.45
76.20	70.00	480	0.45
inf.	inf.	880	0.45

Vs_eq(0.0-30.0)=409m/s



9. Strumentazione installata

9.1 Piezometro a tubo aperto

Il piezometro a tubo aperto, installato in un foro di sondaggio verticale, consente il rilievo della profondità della superficie piezometrica mediante misurazione con apposita sondina elettrica (freatimetro).

Nel corso della presente campagna di indagini sono stati installati n. 4 piezometri a tubo aperto nei fori dei sondaggi S1, S2, S3 e S5.

La strumentazione installata nel foro è costituita da un tubo piezometrico in PVC, di diametro esterno pari a 2", costituito da una serie di spezzoni ciechi e filtranti, di lunghezza pari a 3 m; Gli spezzoni filtranti del tubo sono fenestrati orizzontalmente.

L'installazione ha previsto le seguenti fasi:

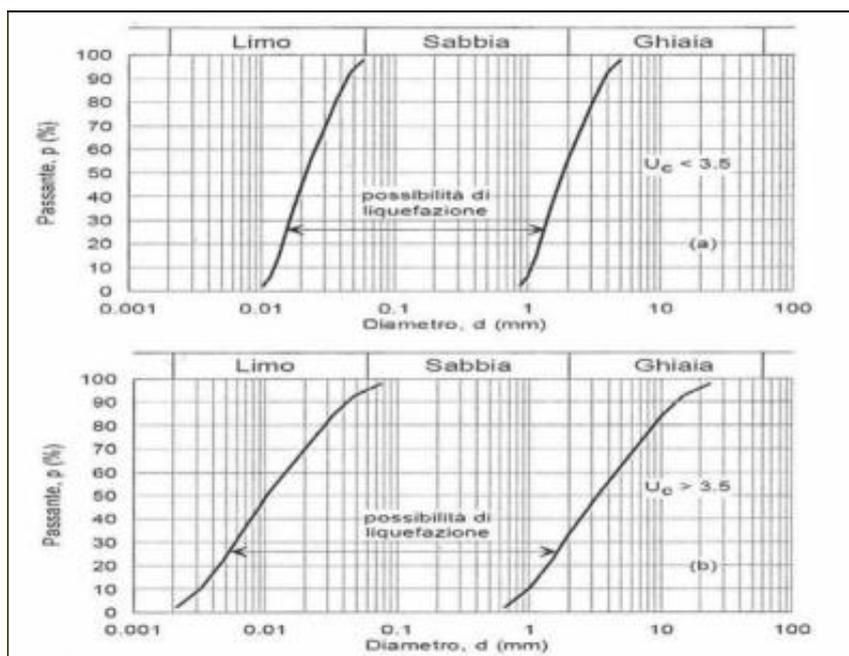
- posa di uno spessore di 0.5 m di ghiaia fine lavata ($\varnothing = 1\div 4$ mm);
- discesa a quota del tubo piezometrico, precedentemente assemblato secondo la sequenza di tratti ciechi e fenestrati prevista dal progetto delle indagini; lo spezzone di piezometro più profondo è stato chiuso con apposito tappo di fondo;
- posa di sabbia grossa e ghiaia fine lavata ($\varnothing = 1\div 4$ mm) attorno al tratto fenestrato del tubo piezometrico, ritirando man mano il rivestimento, senza l'ausilio della rotazione, controllando che il tubo piezometrico non risalisse assieme al rivestimento;
- posa di un tampone impermeabile dello spessore complessivo di 1 m al di sopra del tratto fenestrato, realizzato inserendo bentonite in palline ($\varnothing = 1\div 2$ cm), ritirando sempre man mano il rivestimento;

- riempimento del foro al di sopra del tampone impermeabile con una miscela plastica composta da acqua-cemento-bentonite;
- sistemazione e protezione della estremità del piezometro con messa in opera di pozzetto di protezione.

10. Liquefazione

Le NTC 2018, al cap. 7.11.3.4.2, stabiliscono che la verifica nei confronti della liquefazione di un terreno di fondazione possa essere omessa qualora si verifichi una delle seguenti condizioni:

1. Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.100 g;
2. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$;
4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella figura sottostante (terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ e terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$).



Per quanto sopra esposto, ed in particolare per i punti 3 e 4 si può ritenere che i terreni presenti nell'area di sedime possano essere classificati come non liquefacibili in fase sismica in riferimento alla normativa vigente.

11. Modello geologico e geotecnico

La sintesi dei dati puntuali rilevati (rilievo geologico, sondaggi geognostici, prove penetrometriche dinamiche e indagini geofisiche) ha permesso di elaborare il seguente **modello geologico**, schematizzato nella successiva tabella 3.

Descrizione litologica dello strato	N ₂₀
Terreno vegetale a matrice sabbioso-limosa poco addensato e/o consistente. (Litotipo 1)	1 - 3
Depositi di lave fratturate in matrice sabbioso-limosa, da mediamente a molto addensati e/o consistenti. (Litotipo 2)	15 - Rif
Depositi di lave di colore grigio litoidi. (Litotipo 3)	Rif
Depositi piroclastici con frammenti di scorie e litici lavici in matrice sabbioso-limosa, da mediamente a molto addensati e/o consistenti. (Litotipo 4)	20 - Rif.

Tabella 3 – Modello geologico del sito

Per una migliore comprensione dei rapporti stratigrafici e degli spessori dei depositi descritti nella precedente tabella, si rimanda alle allegate sezioni geolitologiche.

Da quanto sopra e al fine di fornire una rapida sintesi delle eventuali criticità riscontrate, si riporta il seguente prospetto:

- **Rischio geologico:**
 - Rischio di frana attuale: assente
 - Rischio di frana potenziale: assente
 - Rischio di alluvionabilità: assente
 - Rischio di erosione lineare accelerata: assente
 - Rischio di crollo massi: assente
- **Rischio sismico:** medio
- **Rischio cavità:** assente
- **Rischio liquefazione:** assente

- **Rischio subsidenza o sinkhole:** assente
- **Rischio tettonico:** assente

Attraverso la combinazione delle informazioni riassunte nella tabella sovrastante e dei dati provenienti dalle prospezioni geofisiche in precedenza descritte, è possibile descrivere il seguente modello geotecnico.

Definito il volume significativo come quella parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso, è possibile descriverne il comportamento attraverso il **modello geotecnico**, nel quale i valori nominali dei parametri geotecnici sono stati trasformati nei rispettivi **valori caratteristici (k)** dello stesso, così come richiesto al § 6.2.2 delle NTC18 e della Circolare.

Si riporta la tabella dei valori caratteristici nella quale:

- γ_k = densità caratteristica;
- ϕ_k = angolo di attrito interno caratteristico;
- σ_c = resistenza a compressione;
- c'_k = coesione drenata caratteristica;
- $E_{s,k}$ = modulo elastico (di Young) caratteristico;
- $G_{0,k}$ = modulo di taglio caratteristico;
- μ_k = modulo di Poisson caratteristico.

Il modello geotecnico relativo al sito d'intervento è riportato nella sottostante tabella 4, nella quale gli strati sono stati individuati ricorrendo alla stessa numerazione dei litotipi, riportati nella tabella 3.

Strato	γ_k KN/m ³	ϕ'_k °	σ_c Mpa	c'_k daN/cm ²	$E_{s,k}$ (Mpa)	$G_{0,k}$ (Mpa)	μ_k
Litotipo 1	14,0 - 15,0	20 - 22	-	0,008 -0,01	10 - 15	15 - 20	0,34-
Litotipo 2	17,0 - 18,0	30 - 33	-	0,1 -0,2	60 - 80	80 - 100	0,33-
Litotipo 3	23,0 - 25,0	-	55 - 60	-	100 - 120	120 - 150	0,28
Litotipo 4	17,0 - 18,0	35 - 38		0,2 - 0,4	80 - 100	100 - 120	0,30

Tabella 4 – Valori caratteristici dei parametri geotecnici del sito d'intervento.

In riferimento alle tabelle precedenti è opportuno evidenziare quanto segue:

- ✓ Il valore nominale dei parametri geotecnici, dal quale è stato poi ricavato quello caratteristico secondo quanto nel seguito riportato, è riportato in allegato nelle diagrafie delle prove penetrometriche DPSH, per ogni 20 cm;
- ✓ Il punto C 6.2.2.4 della Circolare recita *"Nelle valutazioni che il progettista deve svolgere per pervenire ad una scelta corretta dei valori caratteristici, appare giustificato il riferimento a valori prossimi ai valori medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno, con possibile compensazione delle eterogeneità o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di rigidità sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti. Al contrario, valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici appaiono più giustificati nel caso in cui siano coinvolti modesti volumi di terreno, con concentrazione delle deformazioni fino alla formazione di superfici di rottura nelle porzioni di terreno meno resistenti del volume significativo, o nel caso in cui la struttura a contatto con il terreno non sia in grado di trasferire forze dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti a causa della sua insufficiente rigidità. La scelta di valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici può essere dettata anche solo dalle caratteristiche dei terreni; basti pensare, ad esempio, all'effetto delle discontinuità sul valore operativo della resistenza non drenata. Una migliore approssimazione nella valutazione dei valori caratteristici può essere ottenuta operando le opportune medie dei valori dei parametri geotecnici nell'ambito di piccoli volumi di terreno, quando questi assumano importanza per lo stato limite considerato. È questo il caso, ad esempio, delle verifiche SLU dei pali in condizioni non drenate, in termini di tensioni totali, nelle quali per la determinazione del contributo di resistenza alla punta è appropriata la valutazione del valore caratteristico della resistenza non drenata mediante una media locale effettuata nel volume di terreno interessato dal meccanismo di collasso indotto dalla punta stessa"*.
- ✓ I parametri caratteristici sono stati identificati con il metodo statistico in base alle seguenti fonti di letteratura:

- EUROCODICE 7 (EC7) (norma europea prEN1997-1), punto 2.4.5.2 11 e relativa nota;
- Bond, A., Harris, A., Decoding Eurocode 7, Taylor and Francis, 2008.

L'EC7 suggerisce che il valore caratteristico di un determinato parametro debba corrispondere ad una valutazione cautelativa del valore medio di quel parametro e che, se si utilizzano metodi statistici, il valore caratteristico dovrebbe essere cautelativamente rilevato in maniera tale che la probabilità calcolata di valori più sfavorevoli che determinano la manifestazione dello stato limite non sia maggiore del 5%.

12. Azioni sismiche di progetto

Una breve descrizione della sismicità storica del Comune di Viterbo è riportata nel Capitolo 7 del presente lavoro, dal quale si deduce che l'area in esame è caratterizzata da un'accelerazione orizzontale attesa medio - bassa.

Per un sisma con un periodo di ritorno (T_R) di 50 anni e probabilità di superamento (P_{VR}) pari al 10%, questo valore è generalmente compreso nel range **0,125 – 0,150** Ag/g (INGV: "Mappa della pericolosità sismica del territorio").

11.1. Pericolosità sismica di base

Al fine della definizione delle **azioni sismiche di progetto**, di cui al § 3.2 delle NTC18, occorre partire dalla "**pericolosità sismica di base**".

La stima di quest'ultima, intesa come accelerazione orizzontale massima attesa a_g su suolo rigido, con superficie topografica orizzontale (categoria A e T1 delle NTC18), pertanto in condizioni ideali, viene eseguita mediante un approccio "sito dipendente"; ovvero la stima dei parametri spettrali, necessari per la definizione dell'azione sismica sia per la valutazione della sicurezza sia per il progetto degli interventi, è calcolata direttamente per il sito in esame.

Per far ciò sono state calcolate, in base ai parametri correlati al reticolo di riferimento, le coordinate geografiche della zona in esame, riferite all'ellissoide ED50, sistema di riferimento utilizzato per la carta di pericolosità dell'INGV.

Esse sono:

Latitudine: ϕ_{ED50}	42.475873
Longitudine: λ_{ED50}	11.938573

Una volta ricavata la pericolosità sismica di base, fornita dai dati pubblicati sul sito <http://esse1.mi.ingv.it> è possibile passare alla definizione delle azioni sismiche, nei vari stati limite, attraverso l'approccio prestazionale introdotto dalle NTC18, e valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_r con la seguente relazione:

$$V_r = V_n \text{ (vita nominale della struttura)} \times C_u \text{ (coefficiente d'uso)}.$$

Esse si ricavano dalle accelerazioni a_g e dalle relative forme spettrali.

Queste ultime, relative a ciascuno degli stati limite, cui corrispondono determinate probabilità di superamento P_{V_r} nel periodo di riferimento, sono definite, in condizioni di campo libero, a partire dai seguenti parametri:

- a_g (o P_{ga}) accelerazione orizzontale massima del terreno, determinata su un reticolo a maglia inferiore a 10 Km (corrispondente all'ordinata spettrale per $t = 0$);
- 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 su suolo rigido.

Tramite il *software sperimentale SPETTRI 1.03* del *Ministero delle Infrastrutture e Trasporti* è possibile stimare i parametri per la definizione dell'azione sismica per i vari stati limite considerati e per il sito, tenendo conto delle seguenti condizioni:

- Coordinate del sito: Lat 42.475873 e Long 11.938573;
- Vita nominale V_N : 50 anni;
- Classe d'uso: II (*affollamento normale*);
- Coefficiente $C_u=1,0$;
- Vita di riferimento $V_R = V_N \times C_u = 50$ anni.

Ai quattro stati limite, Stato limite di immediata operatività (SLO), Stato limite di danno (SLD), Stato limite di salvaguardia della Vita (SLV) e Stato limite di prevenzione del Collasso (SLC) sono stati attribuiti (v. Tabella 3.2.1 delle NTC18) i valori della probabilità di superamento P_{Vr} nel periodo di riferimento, pari rispettivamente a 81%, 63%, 10% e 5%, cui corrispondono periodi di ritorno di anni 30, 50, 475, 975.

I parametri di azione sismica del sito in esame per i diversi stati limite sono riportati nella successiva tabella 5.

Stato limite	T_r (anni)	a_g (m/s^2)	F_o	T_c^* (s)
SLO	30	0,047	2,457	0,250
SLD	50	0,059	2,501	0,257
SLV	475	0,140	2,488	0,283
SLC	975	0,175	2,520	0,288

Tabella 5 – Parametri di azione sismica del sito in esame per i diversi stati limite

11.2. Risposta Sismica Locale (RSL) e categoria di sottosuolo

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata, secondo quanto esposto nelle NTC18, per tener conto delle modifiche prodotte dalle locali condizioni stratigrafiche (S) del sottosuolo e dalla configurazione topografica (T) del sito in esame.

Entrambi questi fattori concorrono a modificare l'azione sismica in superficie rispetto a quella attesa su un sito rigido ed orizzontale.

Tali modifiche, in ampiezza, durata e contenuto in frequenza, determinano la **risposta sismica locale (RSL)**, così come definita al § 7.11.3.1 delle NTC18.

Gli effetti della RSL possono essere valutati con metodi semplificati, se l'azione sismica in superficie è descritta dall'accelerazione massima o dallo spettro di risposta

elastico, oppure mediante specifiche analisi quando l'azione è descritta mediante accelerogrammi.

Nella fattispecie, dall'analisi e mediazione dei dati ricavati, è stato possibile valutare l'effetto della risposta sismica locale, mediante la classificazione sismica del suolo.

Infatti, l'esecuzione delle prospezioni geofisiche MASW e HVSr, nonché la modellazione geologica e geotecnica del sedime locale, hanno consentito di procedere con l'approccio semplificato, così come raccomandato al § 3.2.2 delle NTC18, in quanto si è concretizzata la condizione imposta dalle NTC18, necessaria per poterlo applicare, ovvero un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche dei terreni con la profondità.

Per quanto sopra esposto il sottosuolo può essere classificato nella **categoria "B"**, avendo presentato una media dei valori della **Vs30 di circa 400 m/sec**, come da campitura evidenziata nella seguente tabella 3.2.II delle NTC18.

§ 3.2.2 NTC18: Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

Categoria suolo	Tipo	Velocità onde di taglio
A	Ammassi rocciosi o terreni molto rigidi	$V_s > 800$ m/sec
B	Rocce tenere e terreni a grana grossa molto addensati o terreni fini molto consistenti	360 m/sec $< V_s < 800$ m/sec
C	Terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni fini mediamente consistenti	180 m/sec $< V_s < 360$ m/sec
D	Terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni fini scarsamente consistenti	100 m/sec $< V_s < 180$ m/sec
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D con profondità del substrato non superiore a 30 m	V_s come C e D nello strato superficiale su un substrato con V_s come A

Per quanto attiene le modifiche indotte all'azione sismica di progetto dal fattore topografico, il rilevamento geomorfologico condotto ha consentito di classificare il sito

locale, come da campitura evidenziata successiva tabella 3.2.III delle NTC18, in **categoria "T1"**.

§ 3.2.2 NTC18: Tabella 3.2.IV – Categorie topografiche

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

L'azione sismica di progetto dovrà pertanto essere determinata considerando la categoria di sottosuolo, nella fattispecie **tipo B**, e la categoria topografica, nella fattispecie **T1**.

13. Considerazioni conclusive

Il presente studio si è sviluppato prevedendo una fase di rilevamento in campagna dei caratteri geologico – geomorfologici dell'area, seguita da una fase che ha previsto l'esecuzione di una campagna di indagini geognostiche, geotecniche e sismiche, eseguite per il progetto di realizzazione di un impianto fotovoltaico ubicato su differenti lotti di terreno in località "Colle Serpepe" nel Comune di Viterbo (VT).

Le indagini sono state condotte ai sensi del D.M. LL.PP. 11.3.1988 "Norme tecniche per indagini su terreni e rocce...omissis", e della Circolare del Min. LL.PP. n° 30483/88, nonché sulla base di quanto riportato al capitolo 6 al quale si rimanda.

In particolare, la campagna d'indagini ha previsto le seguenti attività:

- n. 4 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, attrezzati a piezometro, denominati S1, S2, S3 e S5 e spinti tutti a 15,0 metri di profondità, con esecuzione di prove SPT;
- n. 1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo denominato S4, spinto a 15,0 metri di profondità, con esecuzione di prove SPT;
- n. 3 prove penetrometriche dinamiche di tipo DPSH, spinte fino al rifiuto strumentale;
- n. 3 indagini di sismica attiva in array di tipo Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW);
- n. 2 indagini di sismica passiva a stazione singola, con tecnica dei rapporti spettrali Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr).
- Interpretazione delle risultanze delle indagini eseguite;

La sintesi dei dati ottenuti dalle indagini geotecniche e geofisiche ha permesso di ricostruire i modelli geologico, geotecnico e sismico del sedime nell'area interessata dagli interventi in progetto.

In relazione agli interventi previsti nel progetto cui si riferisce la presente relazione, è stata commentata, nel paragrafo 6 della presente, una sintesi delle criticità riscontrate, che qui si riporta integralmente:

- Rischio geologico: assente
- Rischio di frana attuale: assente
- Rischio di frana potenziale: assente
- Rischio di alluvionabilità: assente
- Rischio di erosione lineare accelerata: assente
- Rischio di crollo massi: assente
- Rischio sismico: medio
- Rischio cavità: assente
- Rischio liquefazione: assente
- Rischio subsidenza o sinkhole: assente
- Rischio tettonico: assente

La stima dei fattori condizionanti dal punto di vista geologico, sulla base di tutto quanto in precedenza descritto ed in riferimento al progetto in esame, porta alle seguenti conclusioni:

- La zona non presenta rischi di liquefazione (§ 7.11.3.4 delle NTC18);
- La zona non manifesta fenomeni di subsidenza, cedimenti differenziali, dovuti alla presenza di terreni compressibili;
- La zona non appare in condizioni di dissesto e/o di frana;

- La zona risulta stabile suscettibile per fenomeni di amplificazione sismica locali, come si evince dallo studio di Microzonazione Sismica di Livello 1 condotto, validato dall'Ufficio Geologico e Sismico Regionale ai sensi della D.G.R. Lazio 545/10;
- La zona non è compresa in aree R3 o R4 dei Piani della Autorità di Bacino competente (ABR);
- La zona non si trova entro 50 metri da faglie attive e capaci segnalate dall'INGV.

Per quanto attiene infine gli aspetti di natura geotecnica, i risultati rimandano la valutazione della compatibilità geotecnica del sedime ad un'analisi delle tensioni indotte dalle strutture in funzione della tipologia di fondazione.

In considerazione degli aspetti sopra citati, ogni eventuale e successiva valutazione di carattere geotecnico, relativa alla stabilità del complesso opera/terreno dovrà derivare da un'analisi dei carichi di progetto.

Per tale eventualità il sottoscritto resta a disposizione per ogni chiarimento ed approfondimento.

Viterbo, lì 06 Ottobre 2022

Geol. Roberto Troncarelli



***Allegato 1* – STRATIGRAFIE DEI SONDAGGI GEOGNOSTICI**

Geologia ♦ Ingegneria ♦ Topografia ♦ Ambiente

Committente: ARTELIA Italia S.p.A.

Cantiere: Località "Colle Serpepe" - Viterbo (VT)

Metodo perf.: Carotaggio continuo

Diametro perforazione: 101 mm

Data inizio: 22/09/2022

Coordinate (WGS84): 42°28'20.94"N 11°56'0.40"E

Quota: 255,0 m s.l.m.

Data ultimazione: 23/09/2022

SONDAGGIO n°

S1

Rivestimento perforazione	Manovre	Scala	Profondità	Stratigrafia	Descrizione	% Carotaggio 20408080	Falda	Pocket Penetrometer (Kg/cm ²)	Tonvane test (Kg/cm ²)	Campione	SPT	Foto
			1		Terreno vegetale di colore marrone a matrice sabbioso-limosa poco addensato e/o consistente.							
			2		Depositi di lave litoidi di colore grigio scuro, fratturate.							
			3									
			4									
			5									
			6									
			7		Depositi piroclastici di colore rossiccio-bruno, con litici lavici immersi in matrice sabbiosa debolmente limosa. Si presentano mediamente addensati e/o consistenti.							
			8									
			9									
			10		Depositi piroclastici di colore marrone-avana, con litici lavici e scorie immerse in matrice sabbioso-limosa. Si presentano mediamente addensati e/o consistenti.							
			11									
			12									
			13									
			14									
			15									

Geovit s.r.l.

Sede legale: Via Monte Cervino, 12 - 01100 VITERBO

Sede operativa: Via Piave, 15A - 01100 VITERBO - Tel. 0761.304872 Fax 0761.322944

 email info@geovitsas.it PEC geovitsas@pec.it website www.geovitsas.it

C.F. e P. IVA 01416400560 - CCIAA 85435 - Tribunale Viterbo Reg. Soc. 9499/93

Attestazione SOA N. 6132/63/01 - Certificazioni ISO 9001:2015 - 14001:2015 - 45001:2018 EA Code 28-34

Geologia ♦ Ingegneria ♦ Topografia ♦ Ambiente

Committente: ARTELIA Italia S.p.A.

Cantiere: Località "Colle Serpepe" - Viterbo (VT)

Metodo perf.: Carotaggio continuo Diametro perforazione: 101 mm

Coordinate (WGS84): 42°28'38.71"N 11°56'16.01"E Quota: 265,0 m s.l.m.

SONDAGGIO n°

S2

Data inizio: 23/09/2022

Data ultimazione: 23/09/2022

Rivestimento perforazione	Manovre	Scala	Profondità	Stratigrafia	Descrizione	% Carotaggio 20408080	Falda	Pocket Penetrometer (Kg/cm ²)	Torvane test (Kg/cm ²)	Campione	SPT	Foto
---------------------------	---------	-------	------------	--------------	-------------	--------------------------	-------	---	------------------------------------	----------	-----	------

			1		Terreno vegetale di colore marrone a matrice sabbioso-limosa poco addensato e/o consistente.							
			1.3									
			2		Depositi di lave fratturate di colore grigio immerse in matrice sabbioso-limosa.							
			2.1									
			3		Depositi di lave litoidi di colore grigio, fratturate.							
			4									
			5		Depositi di lave fratturate di colore grigio, immerse in matrice sabbioso-limosa.							
			6		Si presentano da mediamente a molto addensate.							
			7									
			8		Depositi piroclastici di colore da marrone scuro a rossiccio, con litici lavici e scorie immerse in matrice sabbioso-limosa. Si presentano mediamente addensati e/o consistenti.							
			9									
			10									
			11									
			12									
			13									
			14									
			15	15.0								

Geovit s.r.l.

Sede legale: Via Monte Cervino, 12 - 01100 VITERBO

Sede operativa: Via Piave, 15A - 01100 VITERBO - Tel. 0761.304872 Fax 0761.322944

 email info@geovitsas.it PEC geovitsas@pec.it website www.geovitsas.it

C.F. e P. IVA 01416400560 - CCIAA 85435 - Tribunale Viterbo Reg. Soc. 9499/93

Attestazione SOA N. 6132/63/01 - Certificazioni ISO 9001:2015 - 14001:2015 - 45001:2018 EA Code 28-34

Geologia ♦ Ingegneria ♦ Topografia ♦ Ambiente

Committente: ARTELIA Italia S.p.A.

Cantiere: Località "Colle Serpepe" - Viterbo (VT)

Metodo perf.: Carotaggio continuo

Diametro perforazione: 101 mm

Data inizio: 21/09/2022

Coordinate (WGS84): 42°28'35.99"N 11°56'18.48"E

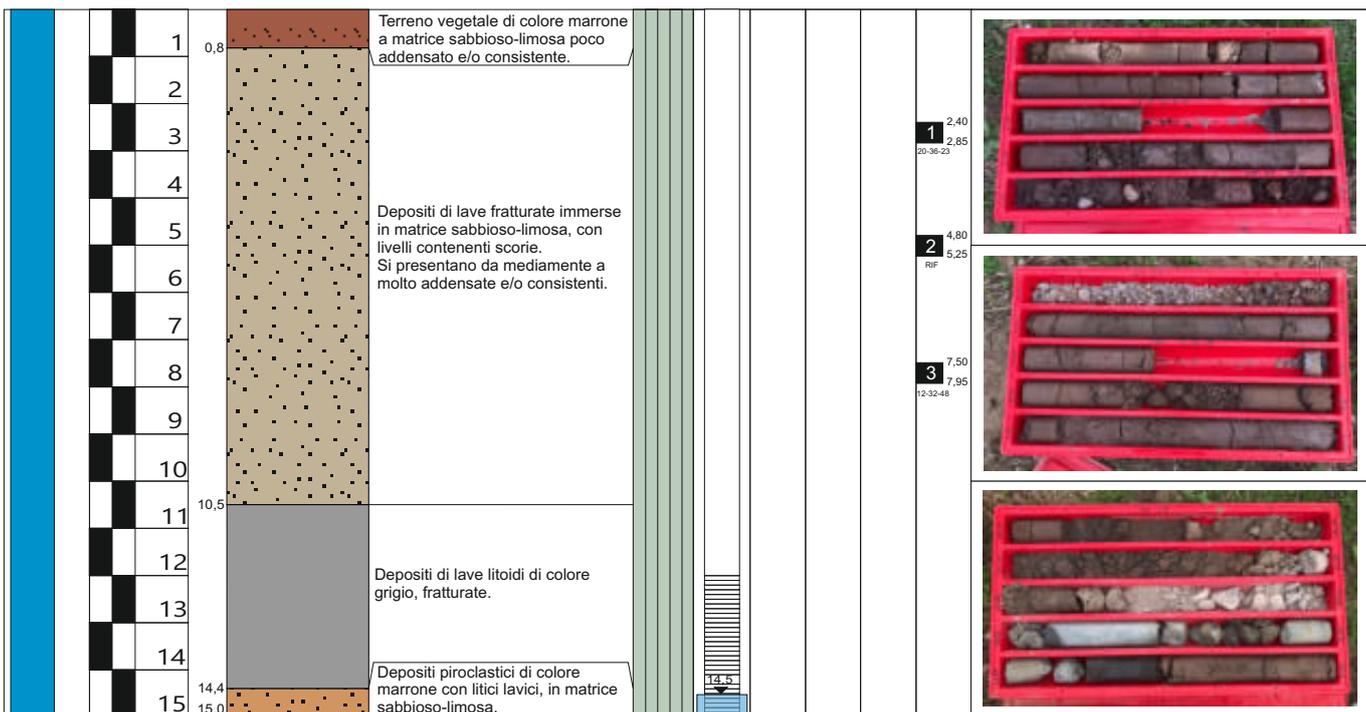
Quota: 254,0 m s.l.m.

Data ultimazione: 22/09/2022

SONDAGGIO n°

S3

Rivestimento perforazione	Manovre	Scala	Profondità	Stratigrafia	Descrizione	% Carotaggio 20408080	Falda	Pocket Penetrometer (Kg/cm ²)	Torvane test (Kg/cm ²)	Campione	SPT	Foto
---------------------------	---------	-------	------------	--------------	-------------	--------------------------	-------	---	------------------------------------	----------	-----	------


Geovit s.r.l.

Sede legale: Via Monte Cervino, 12 - 01100 VITERBO

Sede operativa: Via Piave, 15A - 01100 VITERBO - Tel. 0761.304872 Fax 0761.322944

 email info@geovitsas.it PEC geovitsas@pec.it website www.geovitsas.it

C.F. e P. IVA 01416400560 - CCIAA 85435 - Tribunale Viterbo Reg. Soc. 9499/93

Attestazione SOA N. 6132/63/01 - Certificazioni ISO 9001:2015 - 14001:2015 - 45001:2018 EA Code 28-34

Geologia ♦ Ingegneria ♦ Topografia ♦ Ambiente

Committente: ARTELIA Italia S.p.A.

Cantiere: Località "Colle Serpepe" - Viterbo (VT)

Metodo perf.: Carotaggio continuo

Diametro perforazione: 101 mm

Data inizio: 20/09/2022

Coordinate (WGS84): 42°28'27.97"N 11°56'20.33"E

Quota: 256,0 m s.l.m.

Data ultimazione: 21/09/2022

SONDAGGIO n°

S4

Rivestimento perforazione	Manovre	Scala	Profondità	Stratigrafia	Descrizione	% Carotaggio 20408080	Falda	Pocket Penetrometer (Kg/cm ²)	Tonvane test (Kg/cm ²)	Campione	SPT	Foto
			1		Terreno vegetale di colore marrone a matrice sabbioso-limosa poco addensato e/o consistente.							
			2		Depositi di lave litoidi di colore grigio fratturate, alternate a livelli piroclastici con frammenti di lava e scorie.							
			3									
			4		Depositi piroclastici di colore da marrone scuro a grigio, con scorie di colore nero, in matrice sabbiosa. Si presentano da mediamente a molto addensati.							
			5									
			6									
			7		Depositi piroclastici di colore grigio scuro, con livelli ricchi di scorie vulcaniche in matrice sabbiosa. Si presentano da mediamente a molto addensati.							
			8									
			9		Depositi piroclastici di colore marrone scuro scuro, con frammenti di tufo litoide e scorie in matrice sabbioso-limosa. Si presentano da mediamente a molto addensati e/consistenti.							
			10									
			11									
			12									
			13									
			14									
			15									

Geovit s.r.l.
Sede legale: Via Monte Cervino, 12 - 01100 VITERBO
Sede operativa: Via Piave, 15A - 01100 VITERBO - Tel. 0761.304872 Fax 0761.322944
email info@geovitsas.it PEC geovitsas@pec.it website www.geovitsas.it

C.F. e P. IVA 01416400560 - CCIAA 85435 - Tribunale Viterbo Reg. Soc. 9499/93

Attestazione SOA N. 6132/63/01 - Certificazioni ISO 9001:2015 - 14001:2015 - 45001:2018 EA Code 28-34

Geologia ♦ Ingegneria ♦ Topografia ♦ Ambiente

Committente: ARTELIA Italia S.p.A.

Cantiere: Località "Colle Serpepe" - Viterbo (VT)

Metodo perf.: Carotaggio continuo Diametro perforazione: 101 mm

Data inizio: 19/09/2022

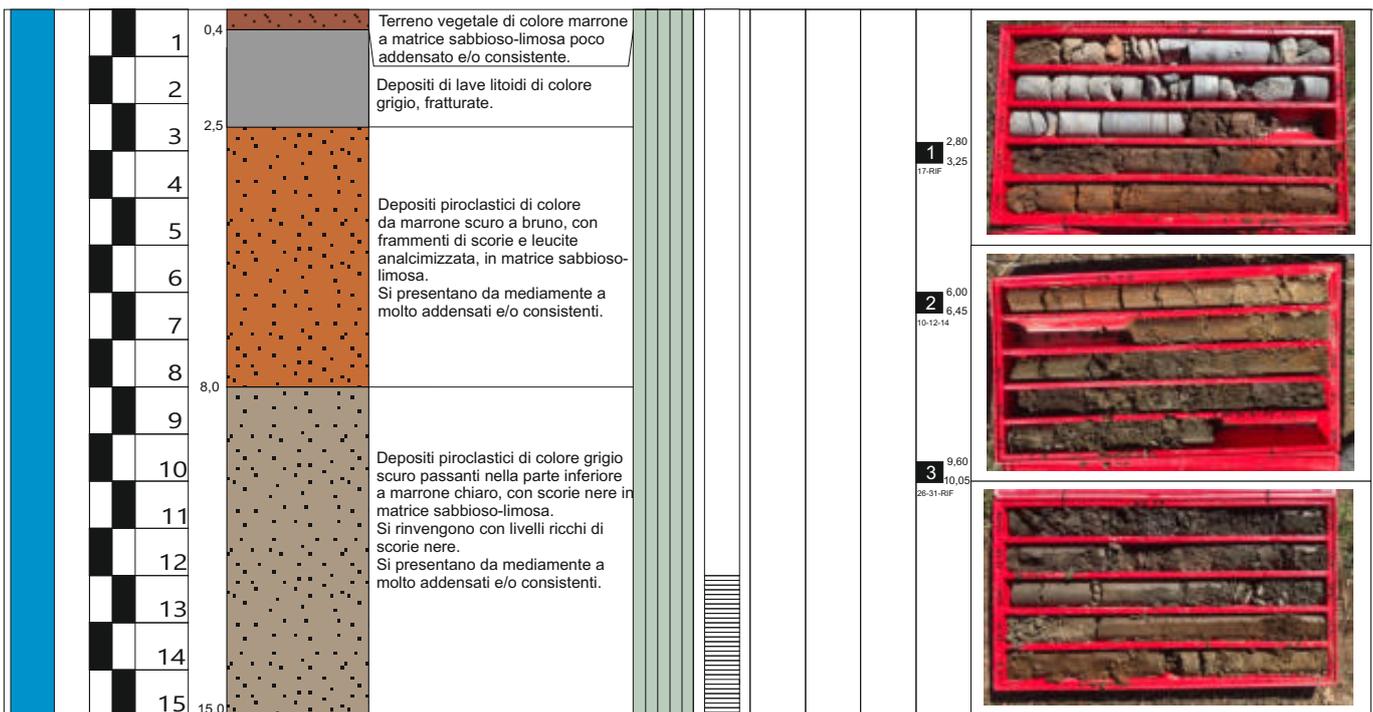
Coordinate (WGS84): 42°28'19.80"N 11°56'19.08"E Quota: 253,0 m s.l.m.

Data ultimazione: 20/09/2022

SONDAGGIO n°

S5

Rivestimento perforazione	Manovre	Scala	Profondità	Stratigrafia	Descrizione	% Carotaggio 20408080	Falda	Pocket Penetrometer (Kg/cm ²)	Tonvane test (Kg/cm ²)	Campione	SPT	Foto
---------------------------	---------	-------	------------	--------------	-------------	--------------------------	-------	---	------------------------------------	----------	-----	------


Geovit s.r.l.

Sede legale: Via Monte Cervino, 12 - 01100 VITERBO

Sede operativa: Via Piave, 15A - 01100 VITERBO - Tel. 0761.304872 Fax 0761.322944

 email info@geovitsas.it PEC geovitsas@pec.it website www.geovitsas.it

C.F. e P. IVA 01416400560 - CCIAA 85435 - Tribunale Viterbo Reg. Soc. 9499/93

Attestazione SOA N. 6132/63/01 - Certificazioni ISO 9001:2015 - 14001:2015 - 45001:2018 EA Code 28-34

***Allegato 2* – TABULATI PROVE
PENETROMETRICHE DINAMICHE
DPSH**

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63,5 Kg
Altezza di caduta libera	0,75 m
Peso sistema di battuta	8 Kg
Diametro punta conica	50,46 mm
Area di base punta	20 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	6,3 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,80 m
Avanzamento punta	0,20 m
Numero colpi per punta	N(20)
Coeff. Correlazione	1,504
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	90 °

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

Note illustrative - Diverse tipologie di penetrometri dinamici

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

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

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

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

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

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M;
- altezza libera caduta H;
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura α);
- avanzamento (penetrazione) δ ;

- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

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

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

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

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

Penetrometri in uso in Italia

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

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
massa battente M = 30 kg, altezza di caduta H = 0.20 m, avanzamento $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha=60-90^\circ$), diametro D 35.7 mm, area base cono A=10 cm² rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;
- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
massa battente M = 20 kg, altezza di caduta H=0.20 m, avanzamento $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha=60-90^\circ$), diametro D 35.7 mm, area base cono A=10 cm² rivestimento/fango bentonitico: talora previsto;
- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)
massa battente M = 73 kg, altezza di caduta H=0.75 m, avanzamento $\delta=30$ cm, punta conica ($\alpha = 60^\circ$), diametro D = 50.8 mm, area base cono A=20.27 cm² rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;
- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)
massa battente M=63.5 kg, altezza caduta H=0.75 m, avanzamento $\delta=20-30$ cm, punta conica conica ($\alpha = 60^\circ-90^\circ$) diametro D = 50.5 mm, area base cono A = 20 cm², rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.

Correlazione con N_{spt}

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i

valori del numero di colpi N_{spt} ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con N_{spt} . Il passaggio viene dato da:

$$NSPT = \beta_i \cdot N$$

Dove:

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

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

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

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

in cui

M	peso massa battente.
M'	peso aste.
H	altezza di caduta.
A	area base punta conica.
δ	passo di avanzamento.

Valutazione resistenza dinamica alla punta R_{pd}

Formula Olandesi

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

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

Calcolo di $(N_1)_{60}$

$(N_1)_{60}$ è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

$$(N_1)_{60} = CN \cdot N_{60} \text{ con } CN = \sqrt{(Pa'/\sigma_{vo})} \quad CN < 1.7 \quad Pa = 101.32 \text{ kPa (Liao e Whitman 1986)}$$

$$N_{60} = N_{SPT} \cdot (ER/60) \cdot C_S \cdot C_r \cdot C_d$$

ER/60 rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.

C_S parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).

C_d funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).

C_r parametro di correzione funzione della lunghezza delle aste.

Metodologia di Elaborazione.

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

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

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

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

In particolare consente di ottenere informazioni su:

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

Valutazioni statistiche e correlazioni

Elaborazione Statistica

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

Media

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

Media minima

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

Massimo

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

Minimo

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

Scarto quadratico medio

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

Media deviata

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

Media (+ s)

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

Media (- s)

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

Distribuzione normale R.C.

Il valore di $N_{Spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, secondo la seguente relazione:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}})$$

dove $\sigma_{N_{spt}}$ è la deviazione standard di N_{spt}

Distribuzione normale R.N.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, trattando i valori medi di N_{spt} distribuiti normalmente:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}}) / \sqrt{n}$$

dove n è il numero di letture.

Pressione ammissibile

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

Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

Liquefazione

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

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

Correzione N_{spt} in presenza di falda

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

N_{spt} è il valore medio nello strato

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

Angolo di Attrito

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof (1956) - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 m; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 m per terreni sopra falda e < 8 m per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)
- Meyerhof (1956) - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).
- Sowers (1961)- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 m. sopra falda e < 7 m per terreni in falda) $\sigma > 5$ t/mq.

- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito $< 38^\circ$.
- Malcev (1964) - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m e per valori di angolo di attrito $< 38^\circ$).
- Schmertmann (1977)- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da Dr %.
- Shioi-Fukuni (1982) - ROAD BRIDGE SPECIFICATION, Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) $\sigma > 15$ t/mq.
- Shioi-Fukuni (1982) - JAPANESE NATIONALE RAILWAY, Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose.
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) $\sigma > 15$ t/mq.
- Meyerhof (1965) - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo $< 5\%$ a profondità < 5 m e con (%) di limo $> 5\%$ a profondità < 3 m.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

Densità relativa (%)

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

Modulo Di Young (E_y)

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

Modulo Edometrico

Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia

- Buismann-Sanglerat, correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.
- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume

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

Peso di volume saturo

- Terzaghi-Peck (1948-1967)

Modulo di poisson

- Classificazione A.G.I.

Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)

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

Velocità onde di taglio Vs (m/s)

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

Modulo di deformazione di taglio (G)

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

Modulo di reazione (Ko)

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

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Qc)

- Robertson (1983) - Qc

Correlazioni geotecniche terreni coesivi

Coesione non drenata

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

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson (1983) - Q_c

Modulo Edometrico-Confinato (M_o)

- Stroud e Butler (1975),- per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$) - da esperienze su argille glaciali.
- Vesic (1970), correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).

- Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato -Mo (Eed) (Kg/cmq)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto $Qc/Nspt=1.5-2.0$).
- Buisman- Sanglerat, valida per argille compatte ($Nspt < 30$) medie e molli ($Nspt < 4$) e argille sabbiose ($Nspt = 6-12$).

Modulo Di Young (Ey)

- Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P. > 15.
- D'Appollonia ed altri (1983), correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977.

Peso di Volume

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

Peso di volume saturo

- Meyerhof ed altri.

PROVA Nr.1

Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI
 Prova eseguita in data 21/09/2022
 Profondità prova 3,40 mt
 Falda non rilevata
 Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0,20	3	0,855	2,64	3,09	132,09	154,56
0,40	4	0,851	3,51	4,12	175,33	206,08
0,60	6	0,847	4,81	5,67	240,30	283,71
0,80	12	0,843	9,57	11,35	478,52	567,42
1,00	19	0,790	14,19	17,97	709,53	898,41
1,20	17	0,786	12,64	16,08	632,03	803,84
1,40	14	0,783	10,36	13,24	518,25	661,99
1,60	13	0,780	8,86	11,36	442,79	568,01
1,80	6	0,826	4,33	5,24	216,63	262,16
2,00	6	0,823	4,32	5,24	215,80	262,16
2,20	7	0,820	5,02	6,12	250,83	305,85
2,40	8	0,817	5,71	6,99	285,63	349,54
2,60	6	0,814	3,97	4,87	198,39	243,65
2,80	8	0,811	5,27	6,50	263,60	324,86
3,00	7	0,809	4,60	5,69	229,87	284,25
3,20	20	0,756	12,28	16,24	613,99	812,16
3,40	70	0,603	34,30	56,85	1715,20	2842,55

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Mpa)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (KN/m³)	Peso unità di volume saturo (KN/m³)	Tensione efficace (KPa)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
0,6	4,33	4,3	Incoerente	0	15,69	18,63	4,71	1,47	6,37	
1,6	15	14	Incoerente	0	19,91	19,52	19,37	1,47	22,05	
3	6,86	5,81	Incoerente	0	16,97	18,83	41,2	1,47	10,08	
3,4	45	36,55	Incoerente	0	23,05	21,38	57,69	1,47	66,15	

TERRENI INCOERENTI
Densità relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] -	6,37	0,60	30,73	61,28	91,9	24,39
[2] -	22,05	1,60	55,41	100	100	54,15
[3] -	10,08	3,00	32,8	63	64,82	33,17
[4] -	66,15	3,40	76,9	100	100	97,95

Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerh of 1956	Meyerh of (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerh of (1965)	Schmert mann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanes e National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[1] -	6,37	0,60	6,37	28,82	21,82	29,78	34,59	32,24	0	<30	24,77	28,91	34,98	26,29
[2] -	22,05	1,60	22,05	33,3	26,3	34,17	33,53	37,67	42	30-32	33,19	33,61	45,25	36
[3] -	10,08	3,00	10,08	29,88	22,88	30,82	30,63	33,7	36,82	<30	27,3	30,02	37,57	29,2
[4] -	66,15	3,40	66,15	45,9	38,9	46,52	32,94	42,4	42	>38	46,5	46,85	53,36	51,37

Sede legale: VITERBO - Via Monte Cervino, 12 cap 01100

Sedi operative: VITERBO - Via Piave n. 15A cap 01100 Tel. 0761.304872 Fax 0761.322944

ROMA - Via Bradano n. 3C cap 00199 Tel. 06.4440681 Fax 06.45503014

email info@geovitsas.it PEC geovitsas@pec.it website www.geovitsas.it

C.F. e P. IVA 01416400560 - CCIAA 85435 - Tribunale Viterbo Reg. Soc. 9499/93

Attestazione SOA N. 6132/63/01 - Certificazioni ISO 9001:2015 - 14001:2015 - 45001:2018 EA Code 28-34

Modulo di Young (Mpa)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] -	6,37	0,60	6,37	---	5,00	---	---	---
[2] -	22,05	1,60	22,05	32,87	17,30	25,58	33,87	18,17
[3] -	10,08	3,00	10,08	22,22	7,91	11,73	25,07	12,30
[4] -	66,15	3,40	66,15	56,93	51,90	76,62	66,30	39,79

Modulo Edometrico (Mpa)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] -	6,37	0,60	6,37	---	3,98	4,44	6,51
[2] -	22,05	1,60	22,05	12,97	7,14	15,35	13,37
[3] -	10,08	3,00	10,08	5,93	4,72	7,02	8,14
[4] -	66,15	3,40	66,15	38,92	16,02	46,06	32,66

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (KN/m³)
[1] -	6,37	0,60	6,37	Terzaghi-Peck 1948	14,03
[2] -	22,05	1,60	22,05	Terzaghi-Peck 1948	15,87
[3] -	10,08	3,00	10,08	Terzaghi-Peck 1948	14,50
[4] -	66,15	3,40	66,15	Terzaghi-Peck 1948	18,93

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (KN/m³)
[1] -	6,37	0,60	6,37	Terzaghi-Peck 1948	18,54
[2] -	22,05	1,60	22,05	Terzaghi-Peck 1948	19,68
[3] -	10,08	3,00	10,08	Terzaghi-Peck 1948	18,83
[4] -	66,15	3,40	66,15	Terzaghi-Peck 1948	21,56

Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] -	6,37	0,60	6,37	(A.G.I.)	0,34
[2] -	22,05	1,60	22,05	(A.G.I.)	0,31
[3] -	10,08	3,00	10,08	(A.G.I.)	0,33
[4] -	66,15	3,40	66,15	(A.G.I.)	0,22

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Mpa)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[1] -	6,37	0,60	6,37	36,33	38,00
[2] -	22,05	1,60	22,05	116,75	81,14
[3] -	10,08	3,00	10,08	55,94	50,30
[4] -	66,15	3,40	66,15	327,89	158,77

Velocità onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] -	6,37	0,60	6,37	Ohta & Goto (1978) Limi	74,7
[2] -	22,05	1,60	22,05	Ohta & Goto (1978) Limi	118,99
[3] -	10,08	3,00	10,08	Ohta & Goto (1978) Limi	119,82
[4] -	66,15	3,40	66,15	Ohta & Goto (1978) Limi	176,83

Sede legale: VITERBO - Via Monte Cervino, 12 cap 01100

Sedi operative: VITERBO - Via Piave n. 15A cap 01100 Tel. 0761.304872 Fax 0761.322944

ROMA - Via Bradano n. 3C cap 00199 Tel. 06.4440681 Fax 06.45503014

email info@geovitsas.it PEC geovitsas@pec.it website www.geovitsas.it

C.F. e P. IVA 01416400560 - CCIAA 85435 - Tribunale Viterbo Reg. Soc. 9499/93

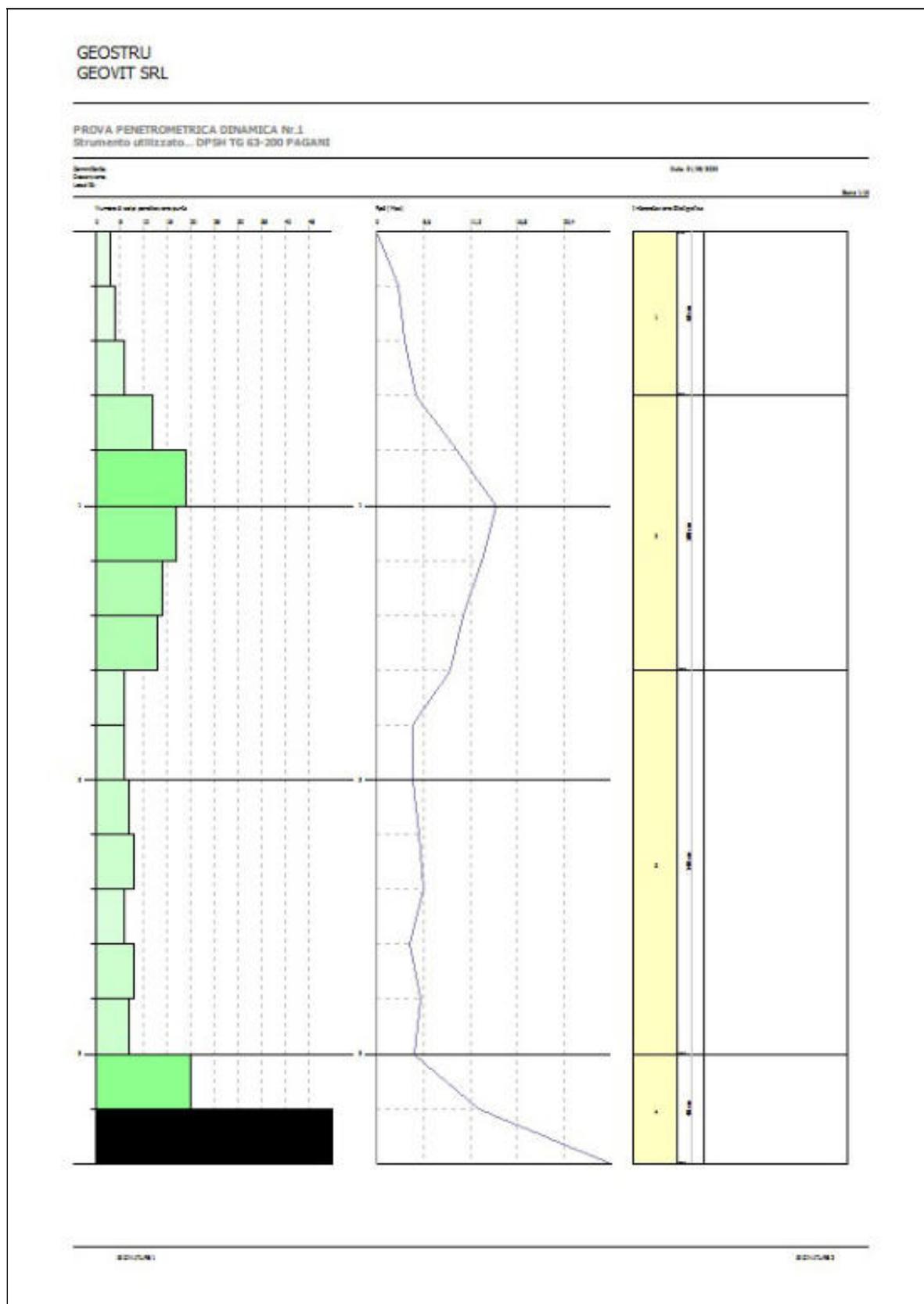
Attestazione SOA N. 6132/63/01 - Certificazioni ISO 9001:2015 - 14001:2015 - 45001:2018 EA Code 28-34

Liquefazione

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Fs Liquefazione
[1] -	6,37	0,60	6,37	Seed e Idriss (1971)	--
[2] -	22,05	1,60	22,05	Seed e Idriss (1971)	--
[3] -	10,08	3,00	10,08	Seed e Idriss (1971)	--
[4] -	66,15	3,40	66,15	Seed e Idriss (1971)	--

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Mpa)
[1] -	6,37	0,60	6,37		---
[2] -	22,05	1,60	22,05		---
[3] -	10,08	3,00	10,08		---
[4] -	66,15	3,40	66,15		---



PROVA Nr.2

Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI
 Prova eseguita in data 21/09/2022
 Profondità prova 1,20 mt
 Falda non rilevata
 Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0,20	2	0,855	1,76	2,06	88,06	103,04
0,40	2	0,851	1,75	2,06	87,66	103,04
0,60	3	0,847	2,40	2,84	120,15	141,85
0,80	24	0,743	16,87	22,70	843,56	1134,84
1,00	30	0,740	20,99	28,37	1049,38	1418,55
1,20	70	0,636	42,12	66,20	2106,00	3309,94

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Mpa)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (KN/m³)	Peso unità di volume saturo (KN/m³)	Tensione efficace (KPa)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
0,6	2,5	2,45	Incoerente	0	14,51	18,44	4,35	1,47	3,68	
1	27	25,53	Incoerente	0	21,57	20,59	13,02	1,47	39,69	
1,2	70	66,2	Incoerente	0	24,52	22,16	19,79	1,47	102,9	

TERRENI INCOERENTI
Densità relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] -	3,68	0,60	20,4	46,69	72,16	17,23
[2] -	39,69	1,00	73,43	100	100	72,12
[3] -	102,9	1,20	100	100	100	100

Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDG E SPECIFICATI ON)	Japanes e National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[1] -	3,68	0,60	3,68	28,05	21,05	29,03	33,87	31,11	0	<30	22,43	28,1	30,21	23,58
[2] -	39,69	1,00	39,69	38,34	31,34	39,11	35,35	41,43	42	35-38	39,4	38,91	50,63	43,17
[3] -	102,9	1,20	102,9	56,4	49,4	56,81	35,98	34,45	42	>38	54,29	57,87	58,69	60,37

Modulo di Young (Mpa)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] -	3,68	0,60	3,68	---	2,89	---	---	---
[2] -	39,69	1,00	39,69	44,10	31,14	46,00	46,84	26,82
[3] -	102,9	1,20	102,9	71,01	80,73	119,14	93,33	57,81

Sede legale: VITERBO - Via Monte Cervino, 12 cap 01100

Sedi operative: VITERBO - Via Piave n. 15A cap 01100 Tel. 0761.304872 Fax 0761.322944

ROMA - Via Bradano n. 3C cap 00199 Tel. 06.4440681 Fax 06.45503014

email info@geovitsas.it PEC geovitsas@pec.it website www.geovitsas.it

C.F. e P. IVA 01416400560 - CCIAA 85435 - Tribunale Viterbo Reg. Soc. 9499/93

Attestazione SOA N. 6132/63/01 - Certificazioni ISO 9001:2015 - 14001:2015 - 45001:2018 EA Code 28-34

Modulo Edometrico (Mpa)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] -	3,68	0,60	3,68	---	3,43	2,56	5,34
[2] -	39,69	1,00	39,69	23,35	10,69	27,64	21,09
[3] -	102,9	1,20	102,9	60,55	23,42	71,65	48,73

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (KN/m³)
[1] -	3,68	0,60	3,68	Terzaghi-Peck 1948	13,67
[2] -	39,69	1,00	39,69	Terzaghi-Peck 1948	17,47
[3] -	102,9	1,20	102,9	Terzaghi-Peck 1948	19,10

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (KN/m³)
[1] -	3,68	0,60	3,68	Terzaghi-Peck 1948	18,32
[2] -	39,69	1,00	39,69	Terzaghi-Peck 1948	20,67
[3] -	102,9	1,20	102,9	Terzaghi-Peck 1948	21,65

Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] -	3,68	0,60	3,68	(A.G.I.)	0,35
[2] -	39,69	1,00	39,69	(A.G.I.)	0,28
[3] -	102,9	1,20	102,9	(A.G.I.)	0,14

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Mpa)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[1] -	3,68	0,60	3,68	21,69	27,17
[2] -	39,69	1,00	39,69	202,86	116,20
[3] -	102,9	1,20	102,9	496,71	207,98

Velocità onde di taglio

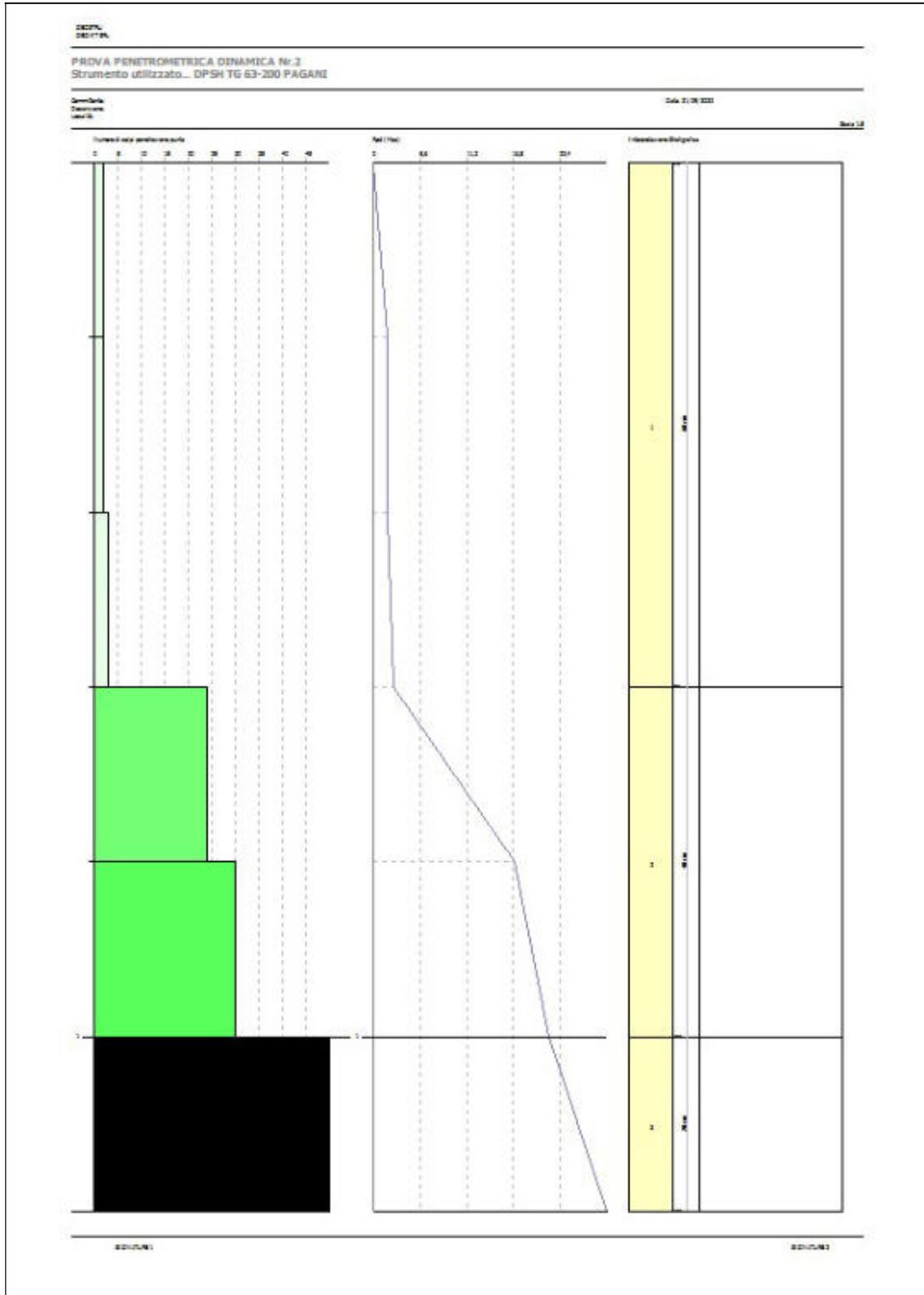
	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] -	3,68	0,60	3,68	Ohta & Goto (1978) Limi	67,94
[2] -	39,69	1,00	39,69	Ohta & Goto (1978) Limi	123,88
[3] -	102,9	1,20	102,9	Ohta & Goto (1978) Limi	155,33

Liquefazione

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Fs Liquefazione
[1] -	3,68	0,60	3,68	Seed e Idriss (1971)	--
[2] -	39,69	1,00	39,69	Seed e Idriss (1971)	--
[3] -	102,9	1,20	102,9	Seed e Idriss (1971)	--

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Mpa)
[1] -	3,68	0,60	3,68		---
[2] -	39,69	1,00	39,69		---
[3] -	102,9	1,20	102,9		---



PROVA Nr.3

Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Prova eseguita in data 21/09/2022

Profondità prova 1,80 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0,20	11	0,855	9,69	11,33	484,34	566,73
0,40	10	0,851	8,77	10,30	438,32	515,21
0,60	11	0,847	8,81	10,40	440,56	520,13
0,80	10	0,843	7,98	9,46	398,77	472,85
1,00	11	0,840	8,74	10,40	436,78	520,13
1,20	12	0,836	9,49	11,35	474,51	567,42
1,40	11	0,833	8,66	10,40	433,20	520,13
1,60	17	0,780	11,58	14,86	579,03	742,78
1,80	70	0,626	38,31	61,17	1915,61	3058,49

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Mpa)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (KN/m³)	Peso unità di volume saturo (KN/m³)	Tensione efficace (KPa)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
1,6	11,71	11,02	Incoerente	0	18,93	19,22	15,14	1,47	17,21	
1,8	70	61,17	Incoerente	0	24,52	22,16	32,74	1,47	102,9	

TERRENI INCOERENTI
Densità relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] -	17,21	1,60	50,28	94,25	100	46,85
[2] -	102,9	1,80	97,97	100	100	100

Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[1] -	17,21	1,60	17,21	31,92	24,92	32,82	33,67	36,2	41,19	30-32	31,07	32,16	43,25	33,55
[2] -	102,9	1,80	102,9	56,4	49,4	56,81	34,89	34,45	42	>38	54,29	57,87	58,18	60,37

Modulo di Young (Mpa)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] -	17,21	1,60	17,21	29,04	13,50	19,98	30,31	15,79
[2] -	102,9	1,80	102,9	71,01	80,73	119,14	93,33	57,81

Modulo Edometrico (Mpa)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] -	17,21	1,60	17,21	10,13	6,16	11,98	11,25
[2] -	102,9	1,80	102,9	60,55	23,42	71,65	48,73

Sede legale: VITERBO - Via Monte Cervino, 12 cap 01100

Sedi operative: VITERBO - Via Piave n. 15A cap 01100 Tel. 0761.304872 Fax 0761.322944

ROMA - Via Bradano n. 3C cap 00199 Tel. 06.4440681 Fax 06.45503014

email info@geovitsas.it PEC geovitsas@pec.it website www.geovitsas.it

C.F. e P. IVA 01416400560 - CCIAA 85435 - Tribunale Viterbo Reg. Soc. 9499/93

Attestazione SOA N. 6132/63/01 - Certificazioni ISO 9001:2015 - 14001:2015 - 45001:2018 EA Code 28-34

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (KN/m³)
[1] -	17,21	1,60	17,21	Terzaghi-Peck 1948	15,34
[2] -	102,9	1,80	102,9	Terzaghi-Peck 1948	19,10

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (KN/m³)
[1] -	17,21	1,60	17,21	Terzaghi-Peck 1948	19,36
[2] -	102,9	1,80	102,9	Terzaghi-Peck 1948	21,65

Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] -	17,21	1,60	17,21	(A.G.I.)	0,32
[2] -	102,9	1,80	102,9	(A.G.I.)	0,14

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Mpa)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[1] -	17,21	1,60	17,21	92,48	69,74
[2] -	102,9	1,80	102,9	496,71	207,98

Velocità onde di taglio

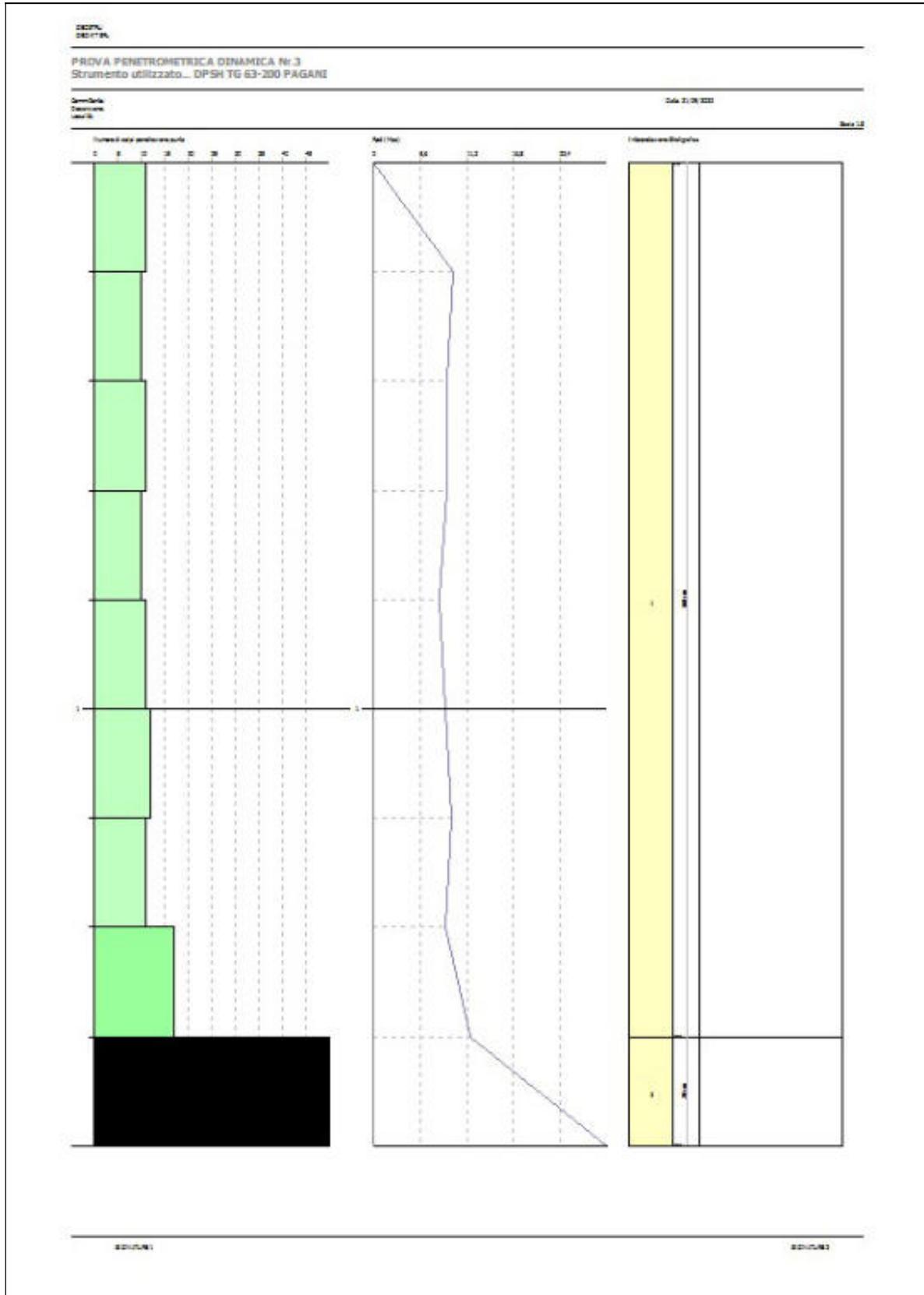
	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] -	17,21	1,60	17,21	Ohta & Goto (1978) Limi	107,2
[2] -	102,9	1,80	102,9	Ohta & Goto (1978) Limi	168,95

Liquefazione

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Fs Liquefazione
[1] -	17,21	1,60	17,21	Seed e Idriss (1971)	--
[2] -	102,9	1,80	102,9	Seed e Idriss (1971)	--

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Mpa)
[1] -	17,21	1,60	17,21		---
[2] -	102,9	1,80	102,9		---

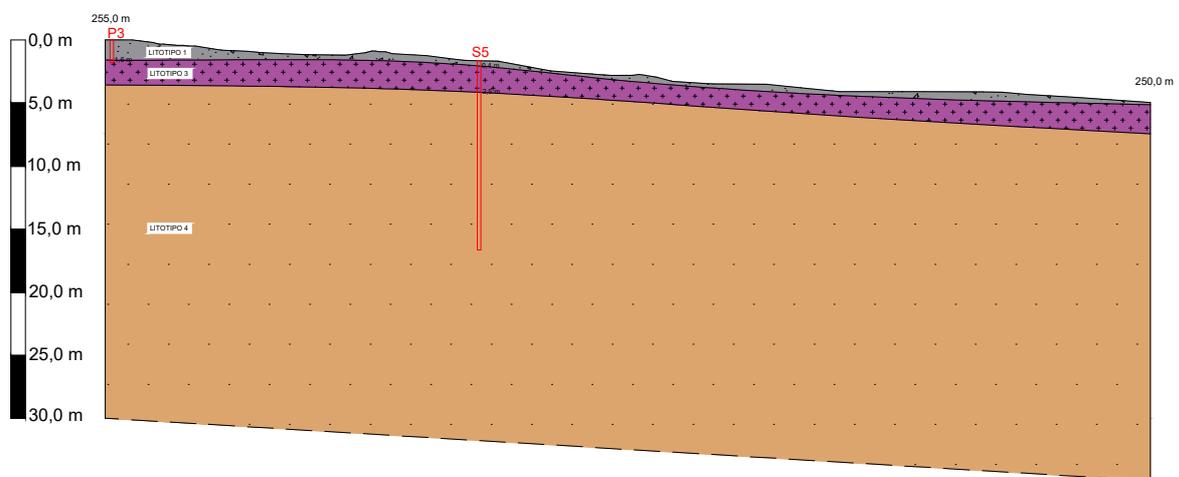


***Allegato 3* – SEZIONI GEOLOGICHE**

SEZIONE GEOLITOLOGICA A-A'

A
(NE)

A'
(SW)



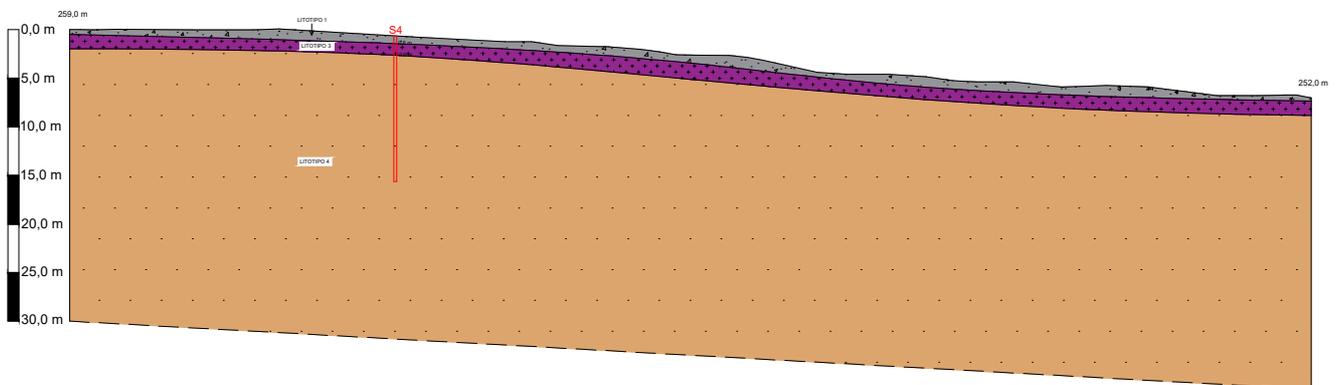
LEGENDA

-  LITOTIPO 1
Terreno vegetale a matrice sabbioso-limosa,
poco addensato e/o consistente.
-  LITOTIPO 2
Depositi di lave fratturate in matrice sabbioso-limosa,
da mediamente a molto addensati e/o consistenti.
-  LITOTIPO 3
Depositi di lave di colore grigio litoidi, fratturate.
-  LITOTIPO 4
Depositi piroclastici con frammenti di scorie e
litici lavici in matrice sabbioso-limosa, da
mediamente a molto addensati e/o consistenti.

SEZIONE GEOLITOLOGICA B-B'

B
(NW)

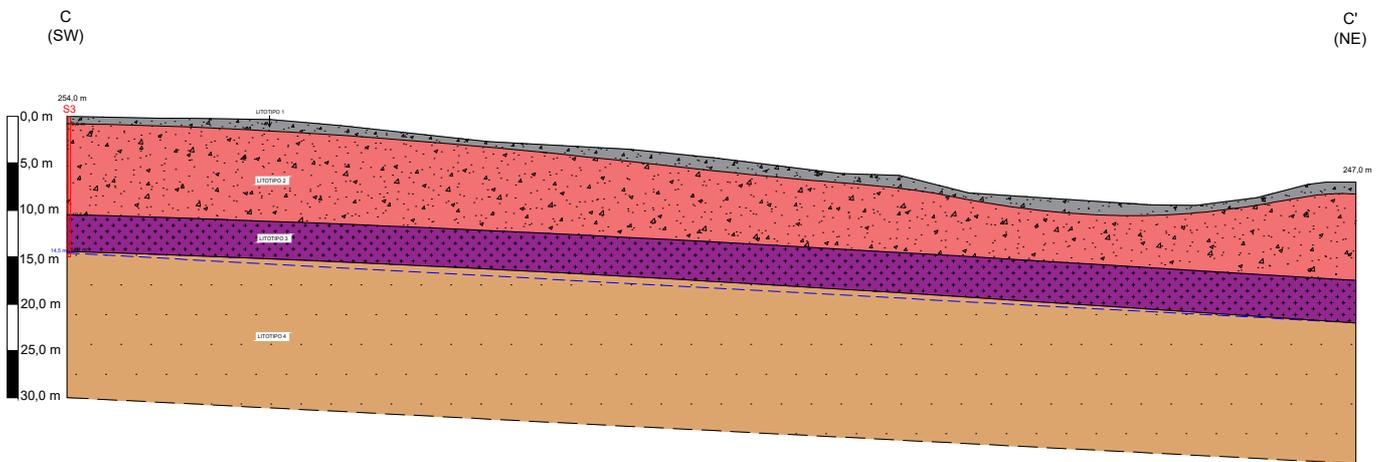
B'
(SE)



LEGENDA

-  **LITOTIPO 1**
Terreno vegetale a matrice sabbioso-limosa,
poco addensato e/o consistente.
-  **LITOTIPO 2**
Depositi di lave fratturate in matrice sabbioso-limosa,
da mediamente a molto addensati e/o consistenti.
-  **LITOTIPO 3**
Depositi di lave di colore grigio litoidi, fratturate.
-  **LITOTIPO 4**
Depositi piroclastici con frammenti di scorie e
litici lavici in matrice sabbioso-limosa, da
mediamente a molto addensati e/o consistenti.

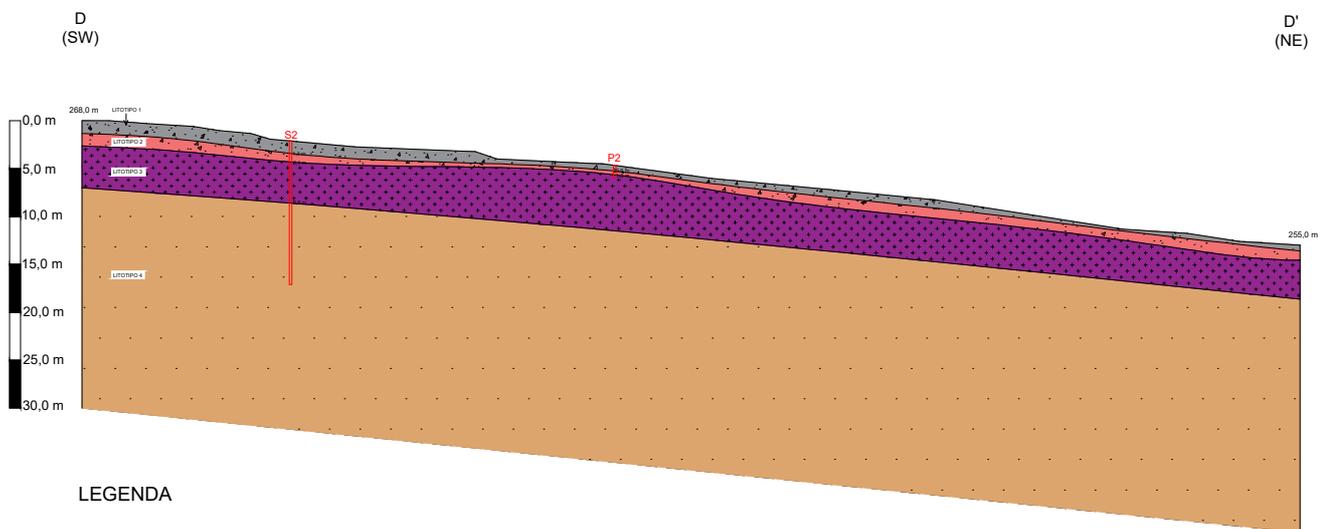
SEZIONE GEOLITOLOGICA C-C'



LEGENDA

-  **LITOTIPO 1**
Terreno vegetale a matrice sabbioso-limosa,
poco addensato e/o consistente.
-  **LITOTIPO 2**
Depositi di lave fratturate in matrice sabbioso-limosa,
da mediamente a molto addensati e/o consistenti.
-  **LITOTIPO 3**
Depositi di lave di colore grigio litoidi, fratturate.
-  **LITOTIPO 4**
Depositi piroclastici con frammenti di scorie e
litici lavici in matrice sabbioso-limosa, da
mediamente a molto addensati e/o consistenti.

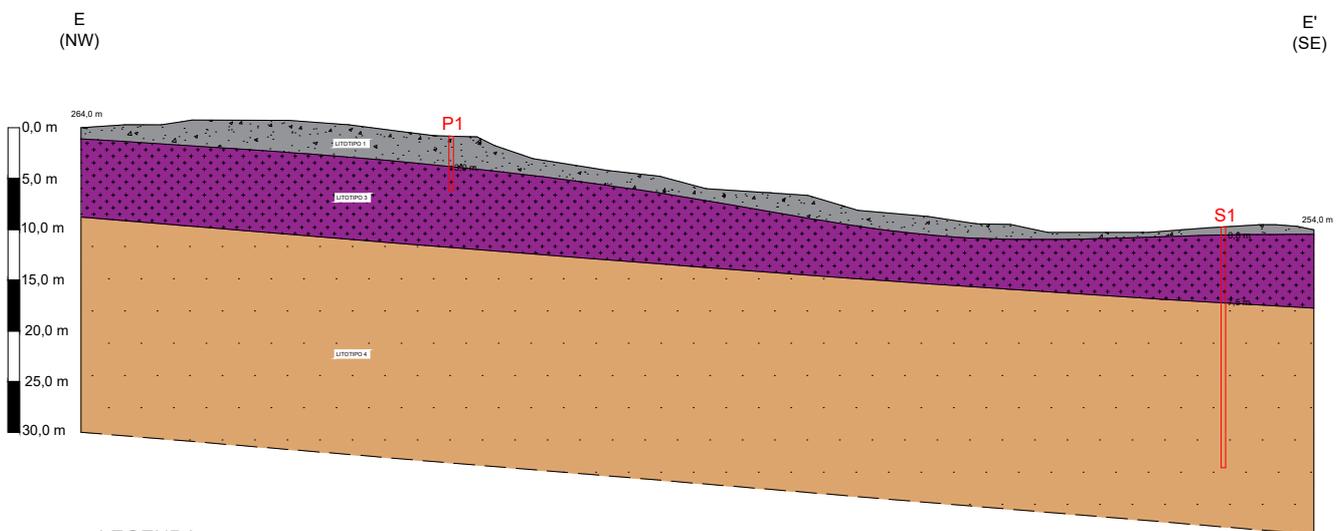
SEZIONE GEOLITOLOGICA D-D'



LEGENDA

-  **LITOTIPO 1**
Terreno vegetale a matrice sabbioso-limosa,
poco addensato e/o consistente.
-  **LITOTIPO 2**
Depositi di lave fratturate in matrice sabbioso-limosa,
da mediamente a molto addensati e/o consistenti.
-  **LITOTIPO 3**
Depositi di lave di colore grigio litoidi, fratturate.
-  **LITOTIPO 4**
Depositi piroclastici con frammenti di scorie e
litici lavici in matrice sabbioso-limosa, da
mediamente a molto addensati e/o consistenti.

SEZIONE GEOLITOLOGICA E-E'



LEGENDA

-  LITOTIPO 1
Terreno vegetale a matrice sabbioso-limosa,
poco addensato e/o consistente.
-  LITOTIPO 2
Depositi di lave fratturate in matrice sabbioso-limosa,
da mediamente a molto addensati e/o consistenti.
-  LITOTIPO 3
Depositi di lave di colore grigio litoidi, fratturate.
-  LITOTIPO 4
Depositi piroclastici con frammenti di scorie e
litici lavici in matrice sabbioso-limosa, da
mediamente a molto addensati e/o consistenti.

***Allegato 4* – DOCUMENTAZIONE**

FOTOGRAFICA



Foto 1: Esecuzione del sondaggio S1



Foto 2: Esecuzione del sondaggio S2



Foto 3: Esecuzione del sondaggio S3



Foto 4: Esecuzione del sondaggio S4

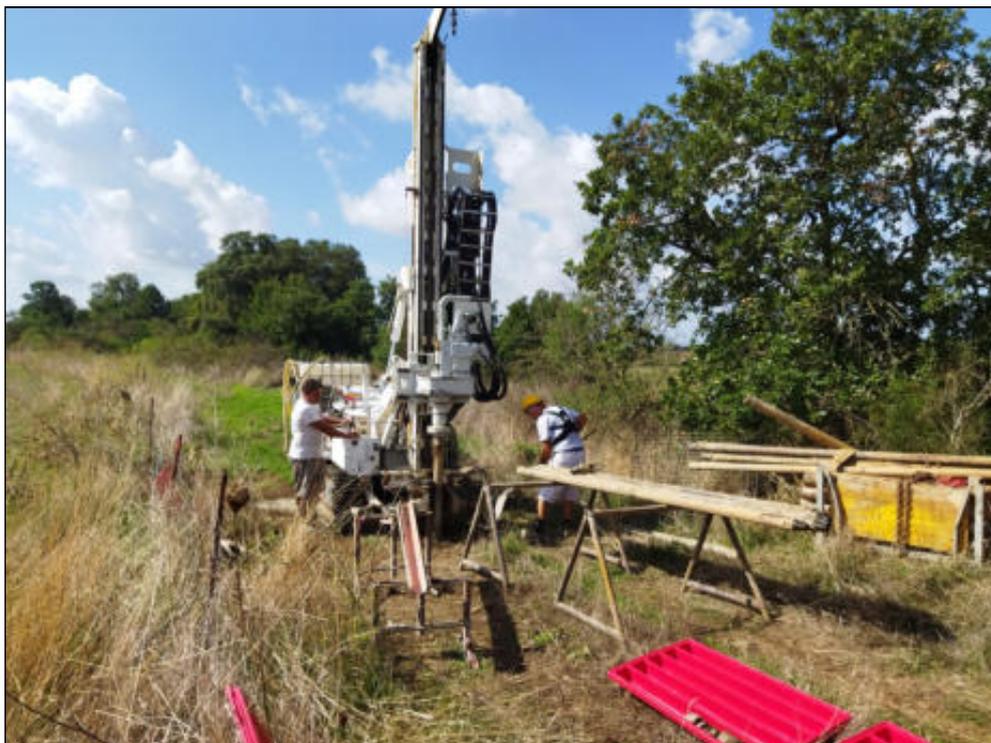


Foto 5: Esecuzione del sondaggio S5



Foto 6: Esecuzione prova penetrometrica dinamica DPSH1



Foto 7: Esecuzione prova penetrometrica dinamica DPSH2



Foto 8: Esecuzione prova penetrometrica dinamica DPSH3



Foto 9: Esecuzione indagine geofisica MASW1



Foto 10: Esecuzione indagine geofisica MASW2



Foto 11: Esecuzione indagine geofisica MASW3



Foto 12: Esecuzione misura di microtremori HVSR1



Foto 13: Esecuzione misura di microtremori HVSR2