

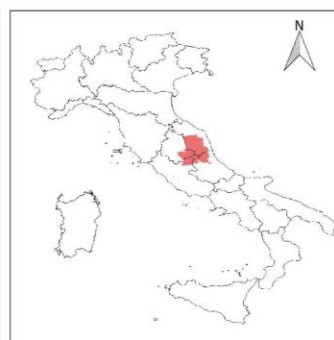
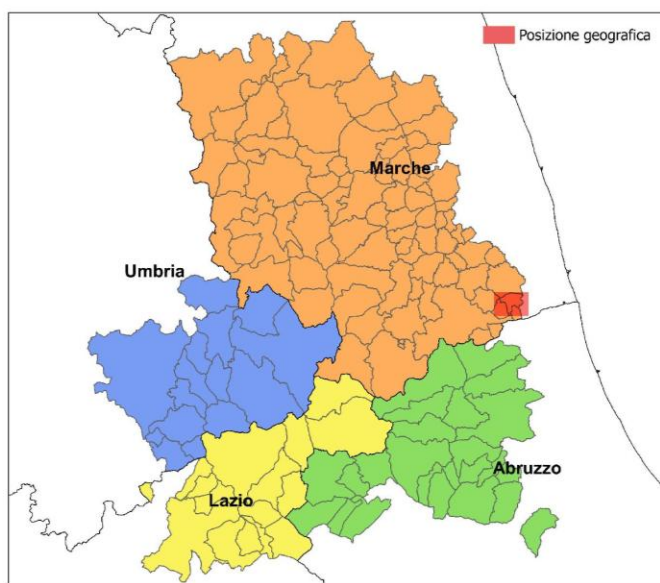


Microzonazione Sismica di Livello 3 del Comune di Castorano ai sensi
dell'Ordinanza del Commissario Straordinario n. 24 registrata
il 15 maggio 2017 al n. 1065

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione Illustrativa

Regione Marche Comune di Castorano



Soggetto realizzatore
Dott. Geologo Nazario De Angelis

Data e revisione
18-12-2017

CENTROMS
CENTRO PER LA
MICROZONAZIONE SISMICA
E LE SUE APPLICAZIONI

INDICE

1. INTRODUZIONE.....	3
1.1. Finalità degli studi	3
1.2. Inquadramento Territoriale	4
1.3. Documenti di Base utilizzati	6
1.4. Aree da sottoporre agli studi di MS.....	7
2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO	9
2.1. Sismicità storica dell'area di studio	9
2.2. Sismicità recente dell'area di studio.....	12
2.3. Pericolosità sismica di base.....	15
3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA	17
3.1. Inquadramento Geologico	17
3.2. Assetto Geomorfologico	21
3.3. Assetto Stratigrafico.....	27
3.4. Elementi tettonici	30
3.5. Considerazioni finali sull'assetto morfologico e strutturale.....	30
4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI	31
4.1. Dati pregressi.....	31
4.2. Dati acquisiti ex-novo.....	33
4.2.1. Sondaggio a carotaggio continuo	34
4.2.2. Indagine geofisica di tipo M.A.S.W.	37
4.2.3. Indagine geofisica di tipo HVSR microtremore a stazione singola	38
4.2.4. Indagine geofisica di tipo Downhole	40
5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO FINALIZZATO ALLA MS.....	42
5.1. Unità geologico - tecniche: definizione e parametrizzazione	42
5.2. Sezioni geologico - tecniche	46
6. INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE	48
7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI	49
7.1. Zone stabili suscettibili di amplificazione	50
7.1.1 Scelta dell'imput sismico	50
7.1.2 Simulazioni numeriche.....	52
7.1.3 Risultati	54
7.2. Zone instabili.....	60
8. ELABORATI CARTOGRAFICI.....	61
8.1. Carta delle Indagini.....	63
8.2. Carta delle frequenze naturali dei terreni.....	65
8.3. Carta geologico - tecnica per la microzonazione sismica (CGT_MS).....	67
8.4. Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)	72
8.5. Carta di microzonazione sismica (MS) di livello 3.....	75
8.6. Commenti finali e criticità	76
9. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI ..	77
10. BIBLIOGRAFIA	84

1. INTRODUZIONE

1.1. Finalità degli studi

Il presente lavoro viene svolto ai sensi dell'ordinanza del Commissario Straordinario n°24 registrata il 15 maggio 2017 al n°1065.

Detta analisi è stata condotta secondo quanto riportato ed illustrato a livello nazionale negli “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica” (cosiddetti "ICMS") formulati dal Dipartimento della Protezione Civile – Presidenza del Consiglio dei Ministri nel 2008 ed aggiornati nel 2011; per la rappresentazione cartografica e l'archiviazione informatica si fa riferimento al manuale “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica di microzonazione sismica V. 4.0b” a cura della “Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica”.

Tale valutazione va a definirsi in generale attraverso uno studio di microzonazione sismica che, a seconda della pericolosità sismica del territorio comunale, può articolarsi su tre livelli di approfondimento successivi.

Il territorio comunale di Castorano è stato già oggetto degli studi di I° livello nel corso del Programma Regionale degli Studi e Indagini di Microzonazione Sismica, V^a Annualità (OCDPC n°239/2015), all'interno di un perimetro definito dall'Amministrazione Comunale con apposito atto deliberativo.

L'attività di studio ed indagini di III° livello si fonda su gli elaborati di primo livello approfondendone alcuni aspetti di natura geologico - tecnica, anche

grazie ad una campagna geognostica mirata proposta dal sottoscritto, condivisa ed approvata dal gruppo di supporto.

Tale attività ha consentito la revisione di alcuni elaborati dello studio di I° livello, oltre alla realizzazione di tutte le attività previste nello studio di III° livello.

Quest'ultimo ha interessato un'areale ristretto rispetto a quello di I° livello, definito dal Gruppo di Supporto, dal Centro MS e dall'Amministrazione Comunale di Castorano.

L'incarico è stato conferito con la stipula e conseguente sottoscrizione di apposita convenzione fra il Comune di Castorano (Ente Attuatore), nella persona del Sindaco pro tempore Sig. Daniel Claudio Ficcadenti ed il sottoscritto Dott. Geologo Nazario De Angelis (Soggetto Realizzatore) in data 09-06-2017.

Il comune in esame è compreso nel raggruppamento UOT Marche 3, il cui gruppo di supporto è coordinato dal dott. Marco Amanti di ISPRA.

1.2. Inquadramento Territoriale

Il comune di Castorano è situato nella fascia collinare marchigiana, a circa 14 km dalla linea di costa, la sua estensione ammonta a 14,08 Km², interamente compresa in sinistra orografica del bacino idrografico del Fiume Tronto; esso presenta una popolazione di 2.380 abitanti con una densità abitativa pari a 168,99 ab/km² (dati Istat 01-01-2016).

La sua altitudine è compresa fra 52 m s.l.m. del fondo valle del Fiume Tronto (Località S. Silvestro) e 304 m s.l.m. del capoluogo.

Data la ridotta estensione del territorio al suo interno sono presenti solo n°2 nuclei urbani distinti che fanno capo alla zona del Capoluogo, ubicata in cresta al crinale principale ed alla zona di S. Silvestro situata lungo la pianura alluvionale in sinistra orografica del F. Tronto, parallelamente alla S. S. "Salaria" per circa 500 m di lunghezza.

Le aree oggetto dello studio di primo livello fanno riferimento a questi n°2 nuclei urbani, mentre quella oggetto di terzo livello si riferisce esclusivamente al capoluogo; queste possono essere così distinte:

CASTORANO (CENTRO CAPOLUOGO)

Situato in posizione baricentrica del territorio comunale è ubicato in cresta ad un crinale che con i suoi 304 m s.l.m. rappresenta il rilievo di altitudine maggiore della zona; esso comprende anche gli abitati delle località Rocchetta e Pescolla (presenti solo nello studio di I° livello).

S. SILVESTRO

Nucleo urbano di costituzione recente ubicato nella media valle del Fiume Tronto, a sud ovest del capoluogo lungo la S.S. "Salaria", all'interno di aree pianeggianti situate lungo la pianura alluvionale del corso d'acqua indicato o nella zona di raccordo fra n°2 ordini di terrazzo differenti (presenti solo nello studio di I° livello).

1.3. Documenti di Base utilizzati

Tutti gli elaborati cartografici del presente studio sono stati realizzati utilizzando come base la Carta Tecnica Regionale (in seguito CTR) edita in scala 1:10.000; in fase di elaborazione è stato cambiato il sistema di riferimento da *Gauss-Boaga, Monte Mario/Italy zone 2* a *WGS 84/UTM zone 33N*, come richiesto dagli ICMS e la scala di rappresentazione (1:5.000 anziché 1:10.000).

Per il rilevamento geologico si è fatto riferimento alla Carta Geologica Regionale edizione CTR, sezioni n°327050, 327060, 327090 e 327100 edita dalla REGIONE MARCHE Posizione di Funzione Urbanistica, Paesaggio ed Informazioni Territoriali.

Quest'ultima è stata integrata con altre pubblicazioni scientifiche corredate da cartografie geologiche riguardanti l'area oggetto del presente studio fra le quali:

- *GIT - Offida 2008 Geologia e Geomorfologia del settore fermano del bacino Periadriatico Marchigiano-Abruzzese - guida all'escursione del 5 giugno 2008 a cura di Centamore E., Farabollini P. e Angelini S.*
- *Carta delle Litologie della Regione Marche zona Sud edita dalla REGIONE MARCHE Posizione di Funzione Urbanistica, Paesaggio ed Informazioni Territoriali.*

Relativamente ai fenomeni gravitativi presenti all'interno del territorio oggetto di studio si è fatto riferimento al Piano Stralcio di Bacino per L'Assetto Idrogeologico del Fiume Tronto (NTA e Tavv. 10_07 e 10_15).

È stato inoltre consultato il *Geoportale Nazionale* con i vari servizi di carattere geologico e geomorfologico ad esso associati.

Per quanto concerne i dati geognostici desunti da indagini in situ effettuate in passato all'interno delle aree oggetto di studio, è stato consultato l'archivio comunale dei lavori pubblici e privati eseguiti negli ultimi 20 anni, con particolare riferimento al Piano Regolatore Generale in adeguamento al PPAR ed al PTC approvato dall'Amministrazione Comunale in data 02/04/2008, all'interno del quale sono contenute gran parte delle indagini censite nel presente studio.

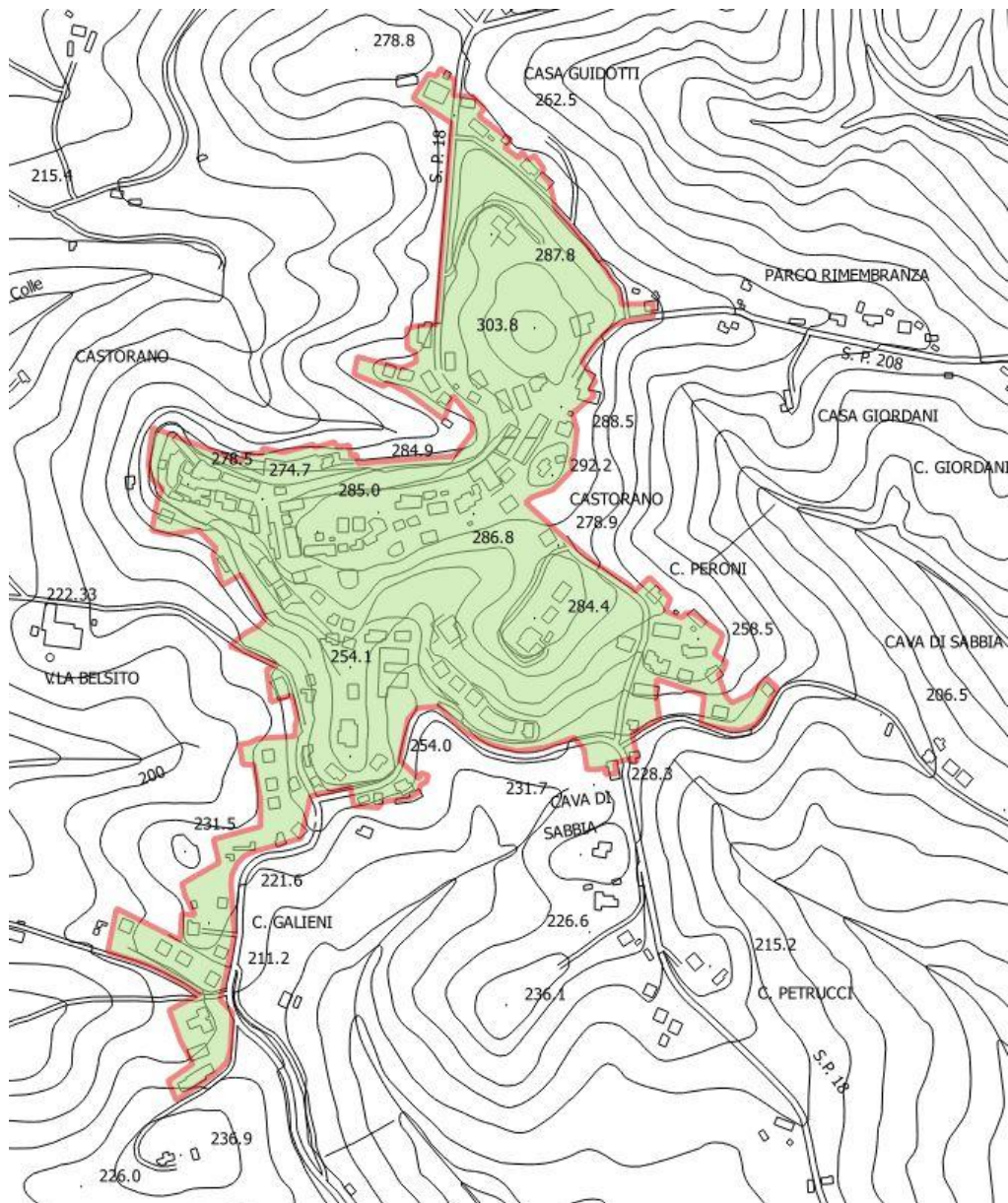
È bene precisare che tutti i dati geologici e geomorfologici reperiti dalle fonti indicate sono stati successivamente oggetto di verifica attraverso il rilevamento sul terreno e, con l'aiuto del gruppo di supporto, modificati quando ritenuto necessario per la comprensione e definizione di un appropriato modello geologico del sottosuolo.

1.4. Aree da sottoporre agli studi di MS

Come detto, il comune di Castorano è stato oggetto degli studi di MS di I° livello nella V^a annualità, tali studi si sono conclusi nell'aprile 2017, poco prima dell'inizio di quelli di III° livello.

I perimetri delle aree oggetto degli studi di I° livello sono state definite dall'Amministrazione Comunale con apposito atto deliberativo ed hanno riguardato il capoluogo, con gli abitati delle località Rocchetta e Pescolla e la

Per gli elaborati relativi all'approfondimento di III° livello si fa riferimento al perimetro definito dal Gruppo di Supporto e dal Centro MS in accordo con l'Amministrazione Comunale di Castorano.



8

2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

La zonazione sismica di un territorio ha come scopo la definizione delle aree a maggiore probabilità di essere soggette a diversi livelli di scuotimento sismico.

La scala a cui viene affrontato il problema va a definire due tipologie di zonazione: quella riferita alla pericolosità sismica a livello regionale viene detta macrozonazione sismica mentre quella riferita alla pericolosità sismica a livello locale viene detta invece microzonazione sismica.

2.1. Sismicità storica dell'area di studio

L'individuazione della sismicità storica e macrosismica dell'area è definita dal Database Macrosismico dei Terremoti Italiani (DBMI15), utilizzato per la compilazione di CPTI15, redatto da:

Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E.(2016).

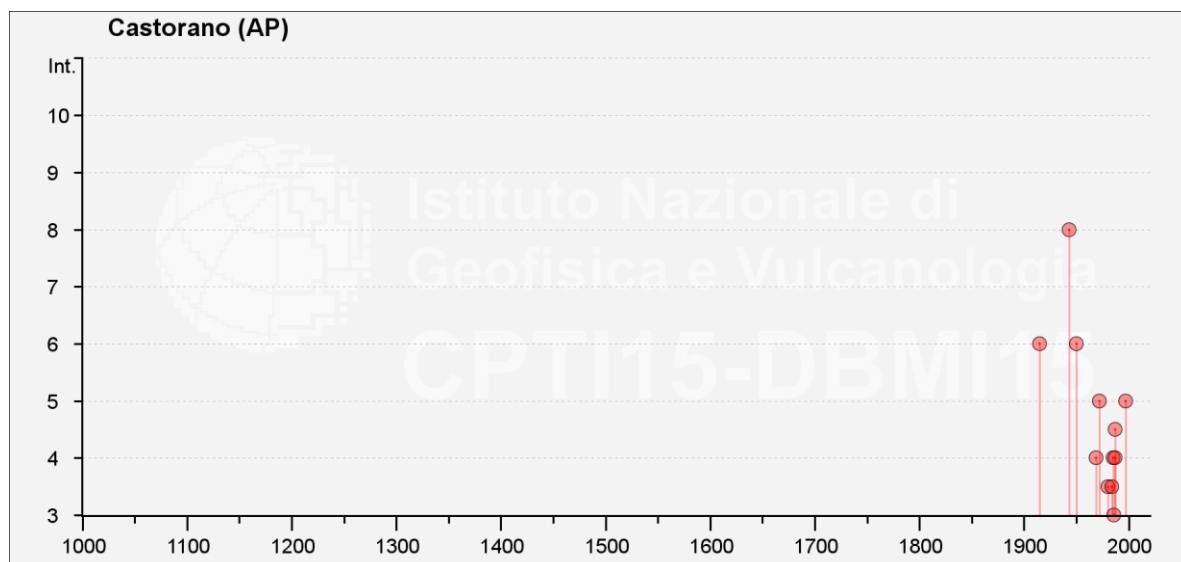
DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi: <http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>.

L'interrogazione del DBMI15 per la località di Castorano ha prodotto i seguenti risultati:

CASTORANO

PlaceID	IT_52379
Coordinate (lat, lon)	42.898, 13.727
Comune (ISTAT 2015)	Castorano
Provincia	Ascoli Piceno
Regione	Marche
Numero di eventi riportati	15

Effetti	In occasione del terremoto del												
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw			
6	1915	01	13	06	52	4	Marsica	1041	11	7.08			
8	1943	10	03	08	28	2	Ascolano	170	8	5.67			
6	1950	09	05	04	08		Gran Sasso	386	8	5.69			
NF	1958	06	24	06	07		Aquilano	222	7	5.04			
NF	1959	01	01	23	58	1	Teramano	46	5	4.33			
NF	1960	03	16	01	52	4	Monti della Laga	81	5	4.44			
4	1969	09	26	23	40	3	Teramano	97	5	4.39			
5	1972	11	26	16	03		Marche meridionali	73	8	5.48			
3-4	1980	11	23	18	34	5	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81			
3-4	1984	05	07	17	50		Monti della Meta	912	8	5.86			
4	1985	05	01	16	57	3	Ascolano	51	5	4.09			
3	1986	10	13	05	10	0	Monti Sibillini	322	5-6	4.46			
4-5	1987	07	03	10	21	5	Costa Marchigiana	359	7	5.06			
4	1987	09	04	16	42	4	Costa Marchigiana	75	6	4.66			
5	1997	09	26	09	40	2	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5.97			



Località vicine (entro 10km)

Località	EQs	Distanza (km)
Colli del Tronto	14	3
Castel di Lama (Villa Piattoni)	28	3
Spinetoli	17	4
Villa Sant'Antonio	1	4
Appignano del Tronto	15	5
Offida	43	5
Monsampolo del Tronto	21	5
Ancarano	25	7
Maltignano	15	8
Poggio di Bretta	1	8
Sant'Egidio alla Vibrata	25	8
Acquaviva Picena	24	9
Controguerra	14	9
San Venansio	1	9
Monteprandone	25	9
Torano Nuovo	20	9
San Venanzo	1	9
Castignano	35	10
Cossignano	19	10

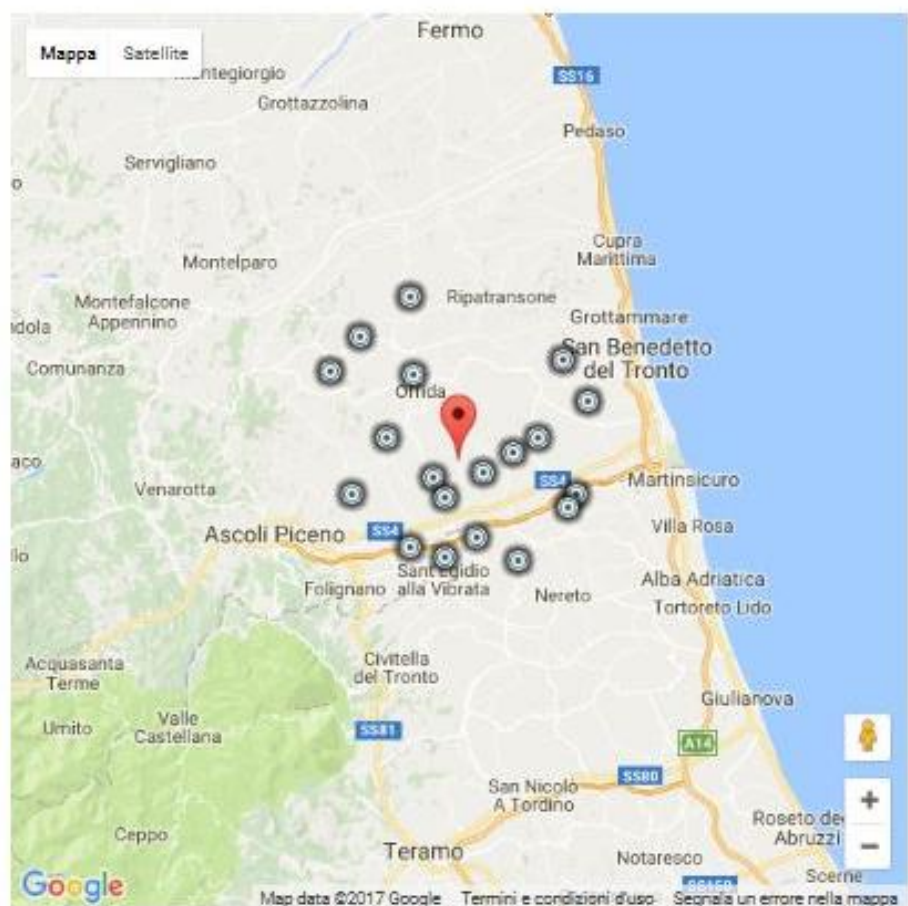


Figura 2 - Storia sismica di Castorano (DBMI15).

Naturalmente il database riportato non risulta aggiornato alla recente crisi sismica, tutt'ora in corso, che ha coinvolto il versante occidentale della catena dei Monti Sibillini e della Laga.

In relazione agli eventi sismici suddetti il territorio comunale di Castorano, con la legge n°229 del 15/12/2016, è stato inserito nel cosiddetto "cratere sismico".

2.2. Sismicità recente dell'area di studio

In ottemperanza all'O.P.C.M. 3274/03, l'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) ha realizzato una nuova zonazione sismogenetica del territorio italiano chiamata ZS9.

Il territorio comunale di Castorano si trova collocato nella zona sismogenetica 918 (vedi fig. 4); in questa fascia, secondo gli autori, si verificano terremoti prevalentemente compressivi nella porzione nord-occidentale e probabilmente distensivi nella porzione più sud-orientale; si possono altresì avere meccanismi trascorrenti nelle zone di svincolo che dissecano la continuità longitudinale delle strutture.

L'INGV ha diffuso, nell'ambito del progetto DISS3, le informazioni riguardanti la distribuzione spaziale e le caratteristiche sismo-tettoniche delle sorgenti sismogenetiche presenti sul territorio nazionale.

In corrispondenza dell'area di studio sono presenti sorgenti sismogenetiche composite codificate dall'Ente come "ITCS020 Southern Marche" (vedi fig.3).

In zona è presente anche una zona sismogenetica individuale definita "ITIS 070 Offida" il cui contorno va a lambire la porzione nord - ovest del territorio comunale di Castorano.

Secondo gli autori queste sorgenti sismogenetiche sono in grado di generare eventi di magnitudo compresa fra 5,5 Mw (ITCS054 Southern Marche offshore) e 5,9 Mw (ITCS020 Southern Marche e ITIS 070 Offida).

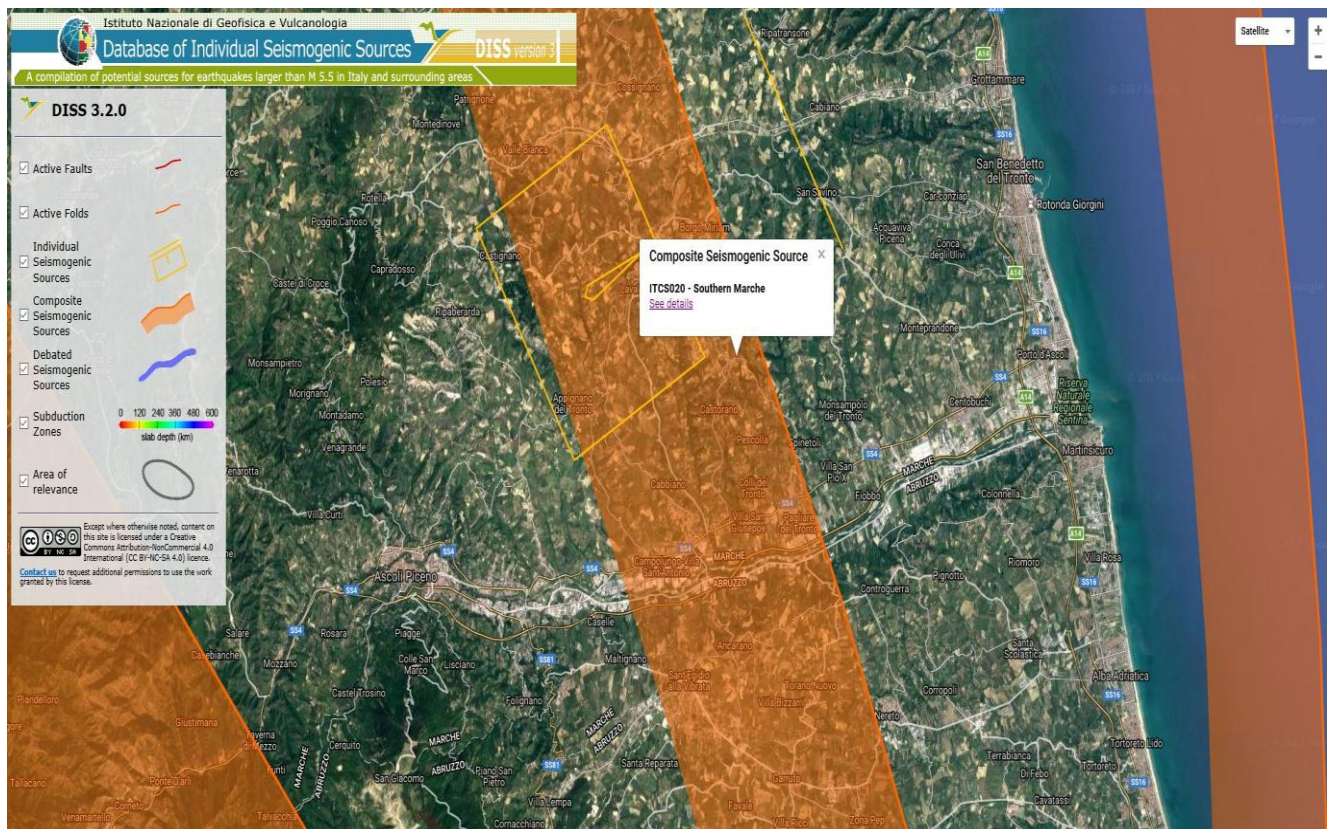


Figura 3 - Zonazione sismogenetica DISS versione 3.2.0.

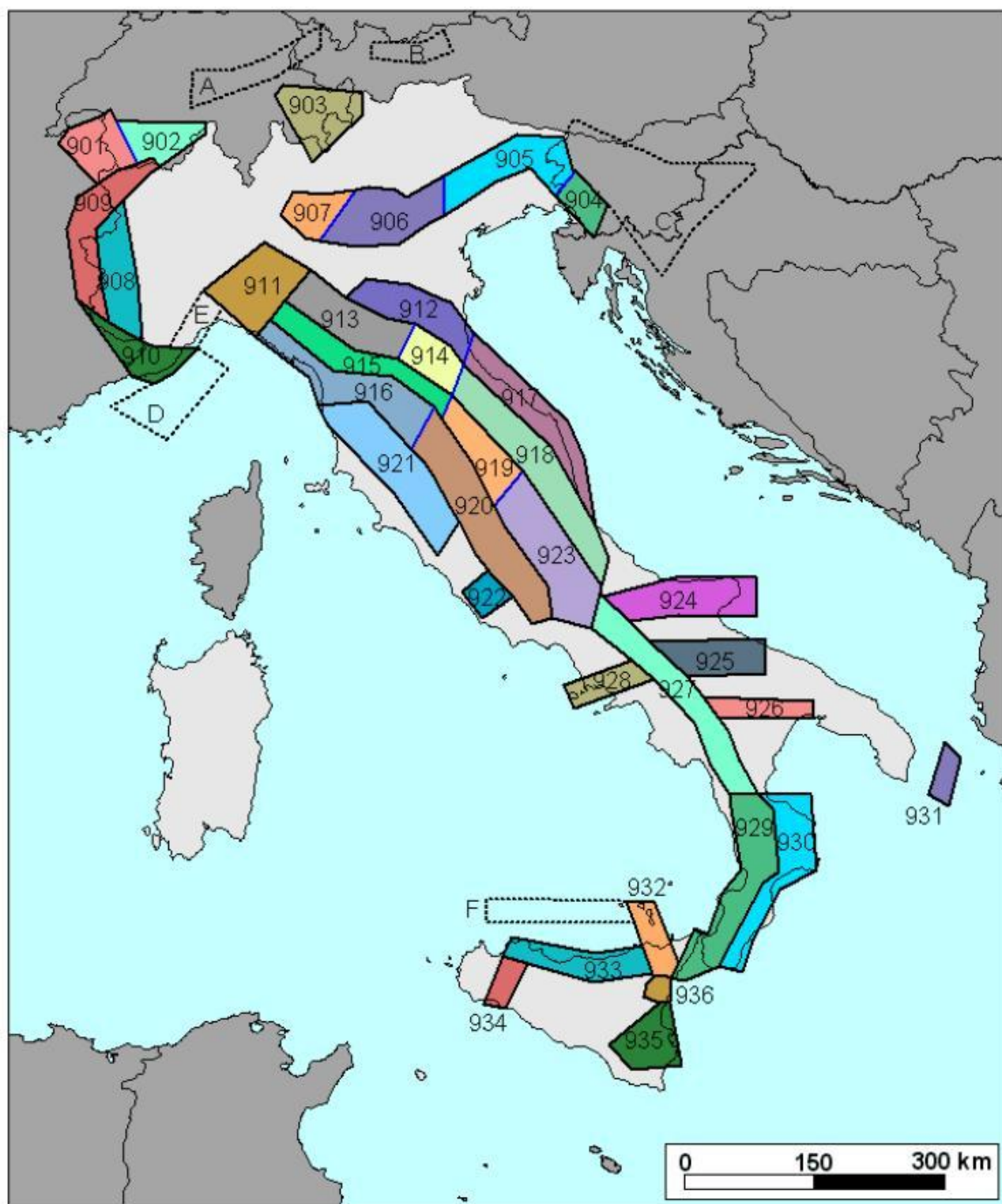


Figura 4 - Zonazione sismogenetica ZS9.

2.3. Pericolosità sismica di base

Secondo l'approccio più comune, adottato anche dalle normative italiane, la pericolosità sismica di un sito viene indicata attraverso il valore di accelerazione orizzontale (PGA) che ha una determinata probabilità di essere superato in un determinato intervallo di tempo.

Con l'Ordinanza P.C.M. 3274/2003 si è avviato in Italia un processo per la stima della pericolosità sismica secondo il metodo classico di probabilità indipendente dal tempo di Cornell.

Secondo questa ordinanza il territorio comunale di Castorano, in prima applicazione, è stato inserito in zona 2 con valori massimi di accelerazione orizzontale [a_g/g] pari a 0,25.

Il processo ha portato alla realizzazione della Mappa di Pericolosità Sismica 2004 (MPS04) che descrive la pericolosità sismica attraverso il parametro dell'accelerazione massima attesa con una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, su suolo rigido e pianeggiante.

Dopo l'approvazione da parte della Commissione Grandi Rischi del Dipartimento della Protezione Civile nella seduta del 6 aprile 2004, la mappa MPS04 è diventata ufficialmente la mappa di riferimento per il territorio nazionale con l'emanazione dell'Ordinanza P.C.M. 3519/2006.

I valori di scuotimento attesi al sito costituiscono anche l'azione sismica di riferimento per la progettazione secondo le Norme Tecniche delle Costruzioni (cosiddette NTC08).

Al Comune di Castorano viene assegnata una pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni compresa fra 0,175 e 0,20 Ag (vedi fig.4).

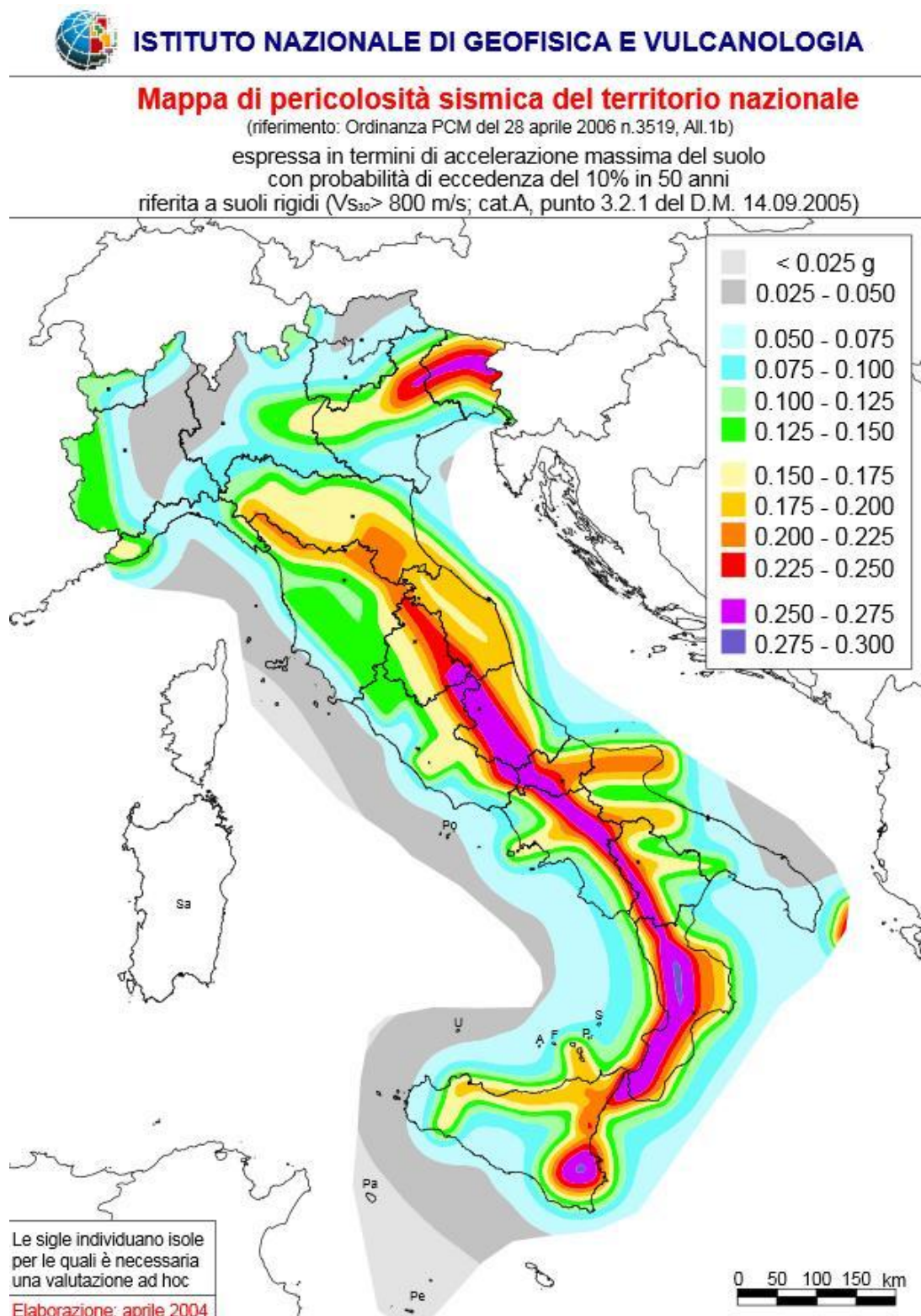


Figura 5 - Mappa di pericolosità sismica in Italia (MPS 2004).

Per lo studio della risposta sismica locale (RSL) dell'area in esame sono stati utilizzati n°7 spettri di riferimento elaborati dall'Istituto Nazionale Geofisica e Vulcanologia secondo gli standard del progetto "Itaca", forniti direttamente dall'INGV.

Gli spettri, forniti in formato file "ASCII", contengono un'intestazione di n°64 righe nelle quali vengono riportate informazioni su l'evento registrato fra le quali coordinate, data, durata, intensità, distanza epicentrale, ecc.

Attraverso il codice di calcolo "STRATA" questi spettri hanno permesso la definizione del Fattore di Amplificazione (FA) per ogni MOPS presente all'interno dell'area di studio di III° livello; il tutto è riportato su un'apposita cartella denominata "FA" all'interno dell'architettura di "QGis" (44013_Castorano/Indagini/Documenti).

3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

3.1. Inquadramento Geologico

Tutto il territorio comunale di Castorano è caratterizzato da litotipi di origine sedimentaria depositatisi nel bacino marchigiano esterno durante il Plio-Pleistocene in un tratto di mare, dapprima piuttosto profondo, che dalla fine del Messiniano si stava spostando verso est.

All'inizio del Pliocene infatti l'onda orogenica compressiva, che aveva interessato le aree più interne (catena dei monti sibillini), si stava ormai esaurendo cosicché, in un bacino caratterizzato da acque piuttosto calme,

poteva iniziare la sedimentazione dei litotipi argillosi i quali, successivamente per diagenesi, si sarebbero compattati fino ad assumere l'attuale consistenza.

Nell'area in esame le facies prevalentemente pelitiche si rinvencono nel settore ovest del territorio comunale e nelle porzioni medio basse dei versanti collinari; queste costituiscono anche il basamento dei terrazzi fluviali di fondo valle del F. Tronto.

A tratti, intercalati o più frequentemente nella parte superiore di queste, si rinvencono dei corpi sabbiosi o sabbioso - conglomeratici a stratificazione grossolana che talora assumono l'aspetto di veri e propri banchi (come sotto il centro urbano di Castorano).



Figura 6 - Corpi sabbiosi a stratificazione grossolana visibili nei pressi del capoluogo.

La genesi di tali depositi è legata all'esistenza (al tempo della sedimentazione) di canali sottomarini nei quali venivano a scaricarsi le correnti di torbida il cui contenuto solido era rappresentato da materiali sabbiosi e ghiaiosi provenienti dalla vicina catena appenninica, tutta in rapido sollevamento e già emersa in alcuni punti.

In un primo momento quindi i corpi sabbioso - conglomeratici sono risultati intercalati ed in parziale eteropia con le argille grigio - azzurre o alternati ad esse.

In seguito la tettonica compressiva ha interessato anche l'area in oggetto generando un rapido sollevamento di tutta la zona con conseguente migrazione verso l'esterno (est) dell'avanfossa appenninica.

La sedimentazione ha risentito in maniera piuttosto evidente di tale situazione passando da un ambiente di mare profondo ad una zona di spiaggia prima della completa emersione, dando origine a quello che geologicamente viene definito "ciclo regressivo".

I depositi, man mano che la profondità del bacino di sedimentazione diminuiva, aumentavano di granulometria passando dalle argille (alla base del ciclo), alle sabbie ed infine ai conglomerati (tetto del ciclo regressivo).



Figura 7 - Classica successione di ciclo regressivo visibile nei pressi del civico cimitero.

La sequenza appena descritta poteva ripetersi in relazione a variazioni periodiche del livello eustatico, cosicché si potevano avere più cicli sedimentari sovrapposti.

Quanto appena esposto è chiaramente visibile nella zona spostandosi da ovest verso est all'interno del territorio comunale; infatti l'area di cresta sulla quale si erge l'abitato in questione e quelle ad est di quest'ultimo risultano caratterizzate da depositi prevalentemente sabbiosi o sabbioso - conglomeratici, mentre quelle ad ovest da facies prevalentemente pelitiche sottilmente stratificate.

Nello specifico i depositi sedimentari descritti fanno parte della successione pliocenica Umbro - Marchigiano - Romagnola, appartengono alla "Formazione delle Argille Azzurre", membro di Offida (Auct.).

Durante il Plio-Pleistocene tutto il territorio era sottoposto ad un rapido sollevamento che lo portava ad emergere; da questo momento inizia l'azione modellatrice della superficie topografica da parte degli agenti esogeni fino a far assumere alla zona l'attuale conformazione.

Sull'area inizia a formarsi il reticolo idrografico, mentre nella valle principale del Fiume Tronto, sui terreni argillosi ormai diagenizzati, si deposita su più ordini una coltre continentale di sedimenti a granulometria grossolana (ghiaie e sabbie) di natura alluvionale.

Lungo i versanti gli agenti erosivi producono una coltre di materiali eluvio - colluviali di natura limosa che va a ricoprire quasi ovunque il substrato litico con spessori variabili da qualche metro ad una decina di metri.

Tettonicamente si è detto che l'area è stata interessata principalmente da fasi compressive le quali, durante il rapido sollevamento, hanno determinato una vergenza appenninica degli strati pelitici e delle pseudostratificazioni del

deposito sabbioso - conglomeratico con immersione verso nord - est ed inclinazione generalmente inferiore ai 20°.

Nelle aree oggetto d'indagine non si sono rilevati elementi tettonico - strutturali; questi sono invece riportati sulle sezioni della carta geologica regionale di riferimento con il termine generico di "faglie".

In realtà dal rilevamento effettuato in loco le aree che dovrebbero essere state interessate da questi lineamenti tettonici, così come riportati nella carta geologica regionale, sono sempre risultate coltivate e mascherate da terreni di copertura che non hanno permesso l'individuazione delle strutture caratteristiche associate alle faglie quali scarpate, piani di scorrimento ecc.

Per tale motivo, in accordo con il gruppo di supporto in geologia, nella carta geologico - tecnica non sono state riportati queste dislocazioni tettoniche, mentre si è provveduto ad una rivisitazione della carta di 1° livello al fine di distinguere in maniera più dettagliata possibile le facies prevalentemente sabbioso - conglomeratiche (GRS), quelle pelitico - arenacee (ALS) e quelle pelitiche sottilmente stratificate e sovraconsolidate (COS).

3.2. Assetto Geomorfologico

Le caratteristiche geomorfologiche della zona sono da mettere in stretta relazione con l'assetto geologico e litostratigrafico dell'area; infatti, laddove prevalgono le facies pelitiche i processi gravitativi principali sono dovuti a movimenti dei terreni di copertura di tipo scorrimento, quasi sempre attivi, evidenti soprattutto lungo i versanti esposti a nord, nord est (disposizione a franapoggio).

Su quelli esposti a sud, sud - ovest prevale invece la classica erosione di tipo calanchivo.

In generale i versanti esposti a meridione, quantunque maggiormente acclivi, risultano più stabili.



Figura 8 – Zona ovest del territorio comunale con la classica erosione calanchiva che interessa le facies pelitiche.

I terreni di copertura di natura limosa e di origine eluvio-colluviale presentano spessori maggiori lungo i versanti esposti a nord, nord - est rispetto a quelli esposti a sud, sud - ovest.

Relativamente ai processi dovuti alle acque superficiali, il reticolo idrografico risulta abbastanza inciso, con evidenti fenomeni di erosione concentrata solamente nei dintorni del crinale sul quale insiste il capoluogo, in ragione del fatto che qui sono presenti terreni a prevalente componente arenacea, più facilmente erodibili.

In prossimità delle pianure alluvionali, in ragione di un repentino cambio di pendenza, talvolta si producono dei fenomeni di accumulo detritico (conoide alluvionale) come quello rilevato nella zona di intersezione fra il Torrente Lama,

che in questo tratto costituisce il limite ovest del territorio comunale e la pianura alluvionale del Fiume Tronto.

L'assetto geomorfologico delle zone di crinale e delle porzioni alte dei versanti nell'area centro - orientale del territorio comunale risulta diversa; qui la compattezza dei depositi arenaceo - conglomeratici ha dato origine a versanti piuttosto acclivi, caratterizzati da scarpate pseudo verticali di altezza compresa fra 10 m e 20 m in prossimità dei corsi d'acqua.



Figura 9 – Zona est del territorio comunale, i versanti piuttosto acclivi caratterizzati da facies prevalentemente arenacee risultano profondamente incisi dal reticolo idrografico.



Figura 10 – Zona est del territorio comunale, fenomeni di erosione prodotti dal reticolo idrografico.

L'estremità meridionale del territorio comunale di Castorano coincide con un tratto di pianura alluvionale del Fiume Tronto all'interno della quale si è sviluppato l'abitato di S. Silvestro.

Longitudinalmente il tratto di pianura interessato risulta piuttosto breve (circa 500 m) e non arriva alla sponda fluviale; qui le aree residenziali ed artigianali si sviluppano prevalentemente sul terrazzo del III° ordine, a ridosso della S.S. "Salaria" che lo attraversa.



Figura 11 – Zona sud del territorio comunale, l'abitato di S. Silvestro insiste sulla pianura alluvionale recente (terrazzo del III° ordine) del Fiume Tronto.



Figura 12 – Zona sud del territorio comunale, particolare del terrazzo alluvionale recente del F. Tronto caratterizzato da depositi ghiaioso sabbiosi in affioramento.

In sinistra orografica, lungo il versante che sale fino al capoluogo, sono presenti degli estesi lembi di terrazzi antichi (I° e II° ordine), in gran parte coltivati e caratterizzati da case sparse; solamente in prossimità del raccordo fra uno di questi e quello di ordine inferiore è presente una zona residenziale che va a costituire l'espansione verso nord dell'agglomerato di S. Silvestro.

La zona di raccordo fra questi due ordini di terrazzi è caratterizzata da pendenze piuttosto accentuate, con il substrato argilloso stratificato praticamente affiorante o ricoperto da un'esile coltre di alterazione di natura limosa il cui spessore risulta essere generalmente inferiore a 3,00 m.

Il terrazzo di ordine superiore, più alto in quota, è caratterizzato da spessori dei terreni di copertura alluvionali superiori a 10 m e da una componente sabbiosa maggiore rispetto a quello di ordine inferiore; l'orlo del terrazzo risulta sempre compreso fra 10 m e 20 m di altezza.



Figura 13 – Zona sud del territorio comunale, terrazzo alluvionale antico del F. Tronto (II° ordine).

Nella zona di fondo valle prevale l'azione delle acque correnti superficiali che ha portato l'Autorità di Bacino del Fiume Tronto a definire delle fasce di pericolosità da fenomeni di esondazione; una di queste interessa in parte il terrazzo recente, coinvolgendo alcune strutture residenziali e produttive presenti nell'area.

3.3. Assetto Stratigrafico

L'assetto stratigrafico del territorio in esame è stato già in parte descritto al paragrafo 3.1 con la relativa documentazione fotografica, mentre le caratteristiche litotecniche verranno riassunte in una tabella presente all'interno dei prossimi capitoli (*vedi cap. 5 - modello del sottosuolo*).

In questa sede si ribadisce che la zona è caratterizzata da un'unità litostratigrafica più vecchia di natura pelitica, sottilmente stratificata, affiorante nella porzione ovest e sud del territorio comunale.

Nella parte centrale, settentrionale ed orientale su tale unità si sono depositati i corpi arenaceo - pelitici ed arenaceo - conglomeratici appartenenti al Membro di Offida della Formazione delle Argille Azzurre (*Auct.*).

Le peliti sottilmente stratificate affiorano direttamente lungo le incisioni operate da reticolo idrografico o sui versanti interessati dall'erosione calanchiva (vedi foto n°8); nelle altre aree risultano coperte da depositi continentali, di natura alluvionale lungo il fondo valle del F. Tronto, di origine eluvio - colluviale lungo i versanti.

I depositi arenaceo - pelitici e arenaceo - conglomeratici affiorano nella zona centrale del territorio comunale, lungo il crinale sul quale si erge il centro

urbano di Castorano (vedi foto n.6 e n.7), mentre risultano anch'essi ricoperti da una coltre limoso - sabbiosa di alterazione e di origine eluvio - colluviale nella zona orientale.



Figura 14 - Coltre limoso sabbiosa di alterazione e di origine eluvio - colluviale che ricopre i depositi arenaceo - pelitici.

Nella tavola dei profili geologico - tecnici sono evidenziati i rapporti stratigrafici fra le litologie descritte ricostruiti su n°6 sezioni litostratigrafiche le cui tracce sono indicate nella carta geologico - tecnica.

Nella figura seguente sono schematizzate alcune colonne stratigrafiche "tipo" delle successioni descritte, sia per l'area della frazione S. Silvestro sia per quella del Capoluogo.

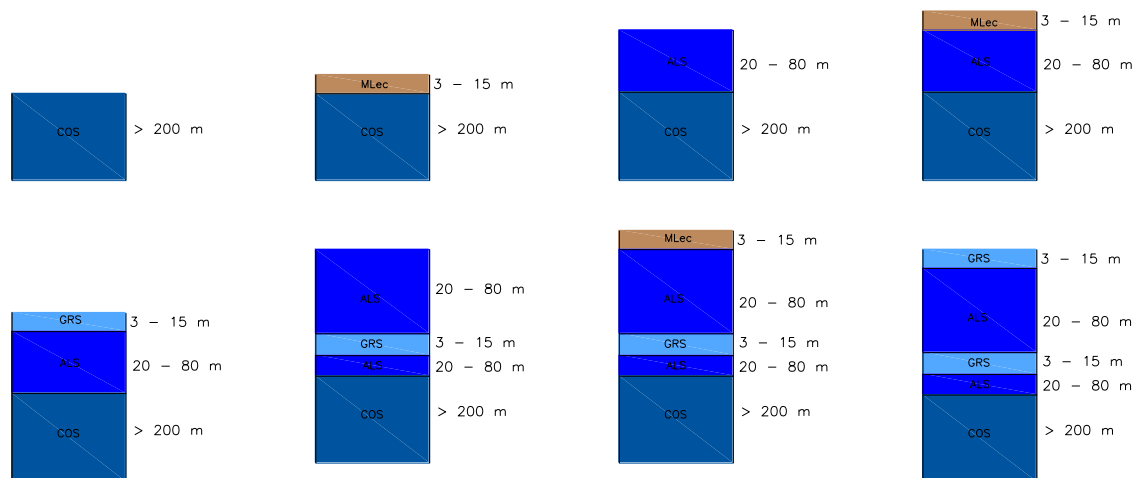


Figura 15 - Colonne stratigrafiche "tipo" per la zona "Capoluogo" (le sigle ed i colori delle varie unità sono gli stessi utilizzati nella carta geologico - tecnica e nei profili).

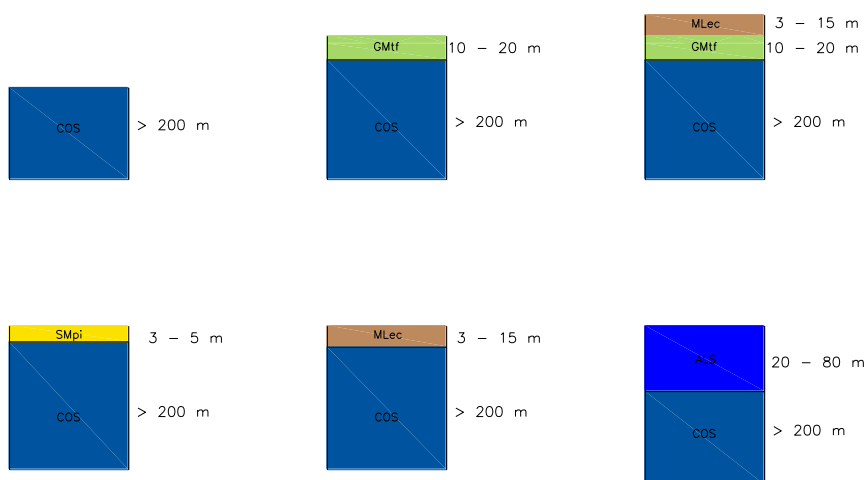


Figura 16 - Colonne stratigrafiche "tipo" per la zona "S. Silvestro" (le sigle ed i colori delle varie unità sono gli stessi utilizzati nella carta geologico - tecnica e nei profili).

3.4. Elementi tettonici

Come detto nell'area indagata non sono state rilevate faglie attive e capaci o potenzialmente attive e capaci.

Sulle sezioni della carta geologica regionale di riferimento per il territorio in esame sono riportate con il termine generico di "faglie" due lineamenti che bordano il Capoluogo in direzione sud ovest - nord est.

Dal rilevamento effettuato in loco le aree che dovrebbero essere state interessate da questi lineamenti tettonici, così come riportati nella carta geologica regionale, sono sempre risultate coltivate e mascherate da terreni di copertura che non hanno permesso l'individuazione delle strutture caratteristiche associate alle faglie quali scarpate, piani di scorrimento ecc.

Per tale motivo già negli elaborati di I° livello non sono state riportate e, in accordo con il gruppo di supporto in geologia, non vengono riportate anche in questa successiva fase di approfondimenti di III° livello.

3.5. Considerazioni finali sull'assetto morfologico e strutturale

Il modello geologico e strutturale dell'area in esame è noto e non presenta particolari problematiche; le incertezze maggiori si sono avute nella stima degli spessori delle varie unità presenti, soprattutto per quanto concerne le n°2 litofacies di cui si compone il membro di Offida (litofacies arenaceo - pelitica e litofacies arenaceo - conglomeratica).

Infatti se la litofacies arenaceo - conglomeratica è stata quasi sempre individuata, quella arenaceo - pelitica è risultata di più difficile identificazione e distinzione rispetto alle facies francamente pelitiche della Formazione delle Argille Azzurre, per cui nella maggior parte dei casi è stata indicata come alternanza di litotipi.

Neanche le indagini in situ hanno consentito una chiara identificazione delle varie litofacies in quanto, come da disciplinare d'incarico, è stato effettuato un solo sondaggio a carotaggio e le prove geofisiche hanno fornito valori di V_s sempre inferiori a quelli previsti per il substrato sismico ($V_s > 800$ m/s).

Non si sono avute notizie storiche su effetti cosismici di terremoti avvenuti nel passato, né di interventi di stabilizzazione effettuati in aree in frana o caratterizzate da litologie scadenti.

Qualche anno fa l'Amministrazione Comunale è intervenuta nell'area della scuola elementare (attualmente inagibile) al fine di consolidare la porzione antistante l'ingresso della stessa interessata da fenomeni erosivi della scarpata sottostante caratterizzata da facies arenaceo - conglomeratiche in affioramento.

4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

4.1. Dati pregressi

I dati geotecnici e geofisici pregressi utilizzati per il presente studio sono quelli già riportati nel I° livello d'indagine in quanto questo si è concluso nell'aprile del 2017.

Le integrazioni hanno quindi riguardato solo le indagini effettuate direttamente per lo studio di III° livello di cui si dirà nel paragrafo successivo.

Come detto i dati pregressi hanno riguardato le indagini estrapolate dagli elaborati geologici presenti negli archivi comunali e riferiti in massima parte agli ultimi 20 anni di lavori.

Questi sono stati suddivisi per le n°2 aree di studio del I° livello e catalogati con l'apposito software di archiviazione *SoftMS v. 4.0.1*, sia per quanto riguarda le indagini puntuali, sia per quelle lineari.

La maggior parte delle indagini reperite provengono dagli elaborati geologici del P.R.G. comunale definitivamente approvato il 02-04-2008 mentre sono risultate poche quelle recenti effettuate per interventi pubblici o privati all'interno delle aree oggetto di esame.

Il numero ed i tipi d'indagine pregressi utilizzati nel presente studio vengono riassunti nelle tabelle che seguono:






INDAGINI PUNTUALI		
<i>Simbolo in carta</i>	<i>Tipo d'Indagine</i>	<i>N°</i>
	S - Sondaggio a carotaggio continuo	1
	SS - Sondaggio a carotaggio continuo che intercetta il substrato	22
	SDS - Sondaggio a distruzione di nucleo che intercetta il substrato	1
	DP - Prova penetrometrica dinamica pesante	11
	DS - Prova penetrometrica dinamica super pesante	2
	Verticale Virtuale lungo profilo sismico a rifrazione	1
	HVSR - Stazione microtremore a stazione singola	19
TOTALE		57

Tabella 1 - Tipologia e numero di indagini puntuali pregresse censite sulle aree oggetto di studio



INDAGINI LINEARI		
<i>Simbolo in carta</i>	<i>Tipo d'Indagine</i>	<i>N°</i>
	SR - Profilo sismico a rifrazione	1
	SGE - Sezione geologica	6
TOTALE		7

Tabella 2 - Tipologia e numero di indagini lineari pregresse censite sulle aree oggetto di studio

È bene precisare che per le indagini i siti censiti risultano in numero inferiore al totale sopra riportato in quanto su alcuni di questi sono state effettuate più tipologie d'indagine.

In totale i siti censiti per le indagini puntuali pregresse sono stati n°55 (comprese n°1 verticale virtuale di profilo sismico a rifrazione) e n°7 per le indagini lineari, per un totale di n°62 siti distribuiti nelle due zone del territorio comunale oggetto dello studio di microzonazione di I° livello.

4.2. Dati acquisiti ex-novo

Facendo seguito alle indicazioni riportate nel disciplinare d'incarico e concordemente con il gruppo di supporto in geologia e geofisica per il presente studio di III° livello è stata approntata una campagna d'indagini in situ articolata come segue:

- Esecuzione di n°1 sondaggio a rotazione e carotaggio continuo spinto fino alla profondità di ml 35,00 dal piano di campagna in un sito scelto concordemente con il gruppo di supporto ed attrezzato con tubo in PVC per l'effettuazione di una prova sismica di tipo downhole.
- Esecuzione di n°3 prove di tipo *SPT (Standard Penetration Test)* a varie altezze durante la perforazione.

- Prelievo di n°2 campioni indisturbati di terreno a diverse profondità e su differenti litologie per la determinazione di alcune caratteristiche fisiche e meccaniche di laboratorio.
- Esecuzione di n°3 prove sismiche di tipo M.A.S.W.
- Esecuzione di n°4 prove sismiche di tipo HVSR microtremore a stazione singola, successivamente integrate con altre n°2 prove per un totale di n°6 prove.
- Esecuzione di una prova di tipo *downhole* sul foro del sondaggio geognostico appositamente attrezzato per tale prova (la prova è stata eseguita ed elaborata dal IAMC - CNR di Napoli).

Tutte le indagini e prove effettuate ex-novo, ognuna comprensiva di un'apposita scheda contenente i metadati di base degli strati informativi riguardanti le modalità di esecuzione, la loro ubicazione ed i risultati ottenuti, sono state inserite nel database di archiviazione SoftMS v. 4.0.1 in aggiunta a quelle pregresse già riportate in fase di studio di I° livello e nella cartella "Indagini", sottocartella "Documenti", dell'architettura di "QGis".

4.2.1. Sondaggio a carotaggio continuo

Il sondaggio geognostico è stato effettuato con sonda meccanica a rotazione e carotaggio continuo modello "F.Ili Mori" M40" avente testa di rotazione psm 800, attrezzata con aste metalliche e carotiere a singola parete aventi diametro di $\phi = 101$ mm; per l'attraversamento dei terreni sciolti (prima parte del sondaggio) il foro è stato rivestito con camice metalliche del diametro di $\phi = 127$ mm.

Le "carote" di terreno prelevate durante la perforazione sono state conservate in apposite cassette catalogatrici in PVC dotate di coperchio e contrassegnate con la sigla di cantiere e le informazioni necessarie a ricostruire la stratigrafia del sito.

Durante la perforazione sono state eseguite n°3 prove di tipo *S.P.T.* che consistono nell'infiggere nel terreno delle aste metalliche con punta conica attraverso i colpi di un maglio di 63,5 Kg che cade da un'altezza di 76 cm, contando i colpi necessari per far avanzare di 15 cm la batteria di aste nel terreno, per n°3 intervalli di misura (avanzamento complessivo per ogni prova pari a 45 cm).

Attraverso un campionatore a parete sottile applicato all'estremità della batteria di perforazione sono stati inoltre prelevati n°2 campioni indisturbati di terreno sui quali, dopo essere stati spediti al laboratorio (laboratorio geotecnico del Politecnico di Torino), sono state effettuate delle determinazioni fisico - meccaniche.

Al termine della perforazione il foro è stato attrezzato con tubo in PVC reso solidale alle pareti del foro stesso attraverso l'iniezione di apposita malta cementizia al fine di consentire, dopo il suo consolidamento, l'esecuzione della prova DH.



Figura 17 - Attrezzatura usata per il sondaggio geognostico durante l'esecuzione di una prova di tipo S.P.T.



Figura 18 - Cassette catalogatrici con le indicazioni necessarie per ricostruire le caratteristiche stratigrafiche del sito.



Figura 19 - Operazioni di posa in opera del tubo in PVC per l'esecuzione della prova DH.

4.2.2. Indagine geofisica di tipo M.A.S.W.

Come detto all'interno del perimetro d'indagine di III° livello sono state effettuate n°3 prove geofisiche di tipo M.A.S.W.

Le caratteristiche della strumentazione utilizzata e del software di acquisizione sono riportati nella tabella seguente:

<i>Caratteristiche tecniche</i>			
Sismografo:	Seismic Source - DAQLink III		
N.ro canali :	24		
Conversione A/D :	24 bit		
Range dinamico:	144 dB (sistema) - 118 dB (misurato a 2 msec)		
Larghezza banda:	0 - 15 KHz con filtro analogico a risposta piatta fino a 8000 KHz		
Common mode rejection:	> 100 dB		
Crosstalk:	> 125 dB		
Rumore di fondo:	0,2 μ Volt RMS (frequenza di campionamento 2 msec)		
Precisione trigger:	\pm 1 μ sec		
Max segnale input:	3,58 V picco-picco		
Impedenza di ingresso:	100 Kohm		
Filtri anti alias:	85% della frequenza di Nyquist		
Intervallo di campionamento	0.0208, 0.0625, 0.125, 0.250, 0.500, 1.00, 2.00, 4.00, 8.00, 16.00 msec		
Frequenza di campionamento:	48000, 16000, 8000, 4000. 2000, 1000, 500, 250, 125, 62.5 campioni/sec		
Geofoni:	infisso		a contatto
Frequenza geofoni:	4.5 Hz	●	4.5 Hz
<i>Acquisizione delle misure</i>			
Energizzazione:	reciproca off-end con martello su piastra peso 8Kg		
Off set:	2, 4, 6, 8, 10 m		
Ripetizione tiri:	n.3 per ciascun off-set		
Equidistanza geofonica:	2 m		
<i>Software:</i>			
Surfseis V. 4.0 (Kansas University, USA)			

Tabella 3 - Caratteristiche strumentazione usata per le prove geofisiche di tipo M.A.S.W.



Figura 20 - Esecuzione di una prova geofisica di tipo M.A.S.W.

4.2.3. Indagine geofisica di tipo HVSR microtremore a stazione singola

Le indagini ex-novo si sono composte anche di n°6 prove geofisiche di tipo HVSR microtremore a stazione singola; queste sono state eseguite con strumentazione *mod. SR04 Geobox* prodotta dalla Sara Electronic Instruments di Perugia.

Nella tabelle che segue vengono riportate le principali caratteristiche tecniche generali dello strumento:

Alimentazione	batteria interna ricaricabile, consumo minore di 1W
Numero canali ed a/d converter:	3 (SD) dinamica di 144dB (24 bit effettivi fra 0.1 e 10Hz, ENOB)
Sensibilità	con velocimetri da 4.5Hz: < 1 nanometro/secondo per count
Campionamento	simultaneo sui tre canali a 10,20,50,100,200,300,400,480,600Hz
Precisione RTC	+/-10ppm fra -20/+50°C (+/-40ms rispetto ad UTC)
Interfaccia dati	RS232 con cavo da 8 metri e adattatore USB in dotazione
Contenitore	Monoblocco in alluminio IP66
Dimensioni e peso	155x140x110 mm 3.1kg con sensori da 4.5Hz
Temperatura operativa	-20/+50°C
Conformità	CE

Tabella 4 - Caratteristiche strumentazione usata per le prove geofisiche di tipo HVSR.

La strumentazione è gestita dal modulo software LOG-MT di SEISMOWIN che permette il calcolo della curva H/V in tempo reale e l'analisi dei criteri SESAME.

Successivamente il dataset può essere elaborato con qualsiasi software in commercio grazie al supporto di formati standard come SAF, HV, ecc.

Nella fattispecie si è utilizzato il software "Geoexplorer" in dotazione con lo strumento il cui codice di calcolo si basa sulla piattaforma free "Geopsy".



Figura 21 - Esecuzione di una prova geofisica di tipo HVSR a stazione singola.

4.2.4. Indagine geofisica di tipo Downhole

La prova DH, effettuata nel foro del sondaggio a carotaggio continuo opportunamente attrezzato a tale scopo, è stata eseguita dai tecnici dell'Istituto per l'Ambiente Marino Costiero (IAMC-CNR) di Napoli in data 11/10/2017.

Il report della prova comprensivo delle caratteristiche della strumentazione utilizzata e dei risultati ottenuti sono contenuti nella cartella "*Indagini*" sottocartella "*Documenti*" file "*Capoluogo_Puntuali.pdf*" dell'architettura di QGis.

I risultati dell'elaborazione sono stati caricati nel software di archiviazione *SoftMS v. 4.0.1*.

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva della prova DH estratta dal report fornito dagli esecutori di tale prova.

SCHEDA DH

Macroarea	Marche 3	
Località	Castorano	
Data di acquisizione	11/10/2017	
Coordinate Geografiche	Lat.	42° 53' 52.44" N
	Long.	13° 43' 37.94" E
Sondaggio		
Profondità foro (m)	35.6	
Strumentazione		
Sismografo	Geometrics-Geode	
Sensori	n. 2 geofoni 3D a distanza di 1 m a 10 Hz	
Sistema orientazione	Aste in alluminio	
Sorgente	Massa Battente 5 Kg	
Piastra (componente verticale)	Alluminio rinforzato 30cmX30cm	
Piastra (componente orizzontale)	Teflon rinforzato 100cmX30cmX20cm	
Parametri acquisizione		
Intervallo Campinamento (ms)	0.500	
Finestra temporale (s)	1.0	
Numero Campioni acquisiti	2000	
Distanza dal boccapozzo (m)	2.0	
Prima misura (m)	1.0	
Ultima Misura (m)	14.0	

Tabella 5 - Caratteristiche del sito e della strumentazione usata per la DH.



Figura 22 - Esecuzione della prova Downhole.

5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO FINALIZZATO ALLA MS

5.1. Unità geologico - tecniche: definizione e parametrizzazione

I lineamenti geologici generali della zona sono stati indicati nel capitolo n°3, mentre sulla carta geologico - tecnica sono riportate le unità del substrato ed i terreni di copertura presenti nelle n°2 aree oggetto di studio del I° livello.

Come detto, rispetto alla MS di I° livello si è provveduto ad una diversa caratterizzazione delle unità litostratigrafiche differenziando, quando è stato possibile, il membro di Offida della Formazione delle Argille Azzurre (*Auct.*) nelle sue n°2 litofacies (arenaceo - pelitica ed arenaceo - conglomeratica).

I rapporti stratigrafici fra questi litotipi sono evidenziati nei profili riportati in n°2 tavole specifiche (profili geologico - tecnici) realizzate in scala 1:2.000 e nelle colonne stratigrafiche "tipo" (vedi Figure n°15 e n°16).

In sintesi si può affermare che tutto il territorio comunale di Castorano s'impone su un basamento pelitico stratificato e sovraconsolidato di origine marina e risalente al Plio-Pleistocene (vedi figura 8).

Nella porzione ovest del territorio e nelle porzioni medio basse dei versanti collinari questa unità raramente affiora, più frequentemente è ricoperta da una coltre di materiali limosi, sabbiosi ed argillosi, di origine eluvio - colluviale, il cui spessore tende ad aumentare da monte verso valle e che generalmente è quasi sempre superiore ai 3,0 m, raggiungendo in alcuni casi potenze maggiori di 10,0 m.

Secondo lo "*standard di rappresentazione e archiviazione informatica*" ver. 4.0b prodotto dalla Commissione Tecnica per la Microzonazione sismica a tale unità del substrato geologico è stata assegnata la sigla "COS" (coesivo, sovraconsolidato, stratificato), mentre per quel che riguarda i terreni di copertura di natura limoso - sabbioso - argilloso e di origine eluvio - colluviale la sigla "MLec".

Lungo il fondo valle del principale corso d'acqua (Fiume Tronto) su tale basamento argilloso stratificato si sono depositati i terreni alluvionali sciolti ad elevata granulometria quali ghiaie e sabbie, dovute all'azione erosivo - sedimentaria dei corsi d'acqua stesso (frazione S. Silvestro); a questi terreni di copertura viene assegnata la sigla "GMtf" rappresentativa di ghiaie limose, miscela di ghiaie e sabbie di terrazzo alluvionale.

In queste aree si rilevano n°2 ordini di terrazzo: uno recente, più esteso in sinistra orografica dove risulta confinato fra la sponda, la S.S. "Salaria" e le pendici collinari (III° ordine - vedi figure n°11 e n°12) ed uno più antico (II° ordine - vedi figura n°13) ubicato a quote maggiori.

Fra le due superfici terrazzate vi è soluzione di continuità, cosicché nella zona di raccordo si rinvencono i terreni di copertura limoso - sabbioso - argillosi a diretto contatto con le argille stratificate di base.

Diversa è la situazione per la porzione centro orientale del territorio comunale; qui, lungo i crinali principali che si sviluppano ad andamento nord - sud e nelle porzioni superiori dei versanti che da essi hanno origine, si rinviene un'altra unità del substrato litologicamente composta facies arenaceo conglomeratiche ed arenaceo - pelitiche (membro di Offida) costituenti il tetto del ciclo regressivo pleistocenico.

Lo spessore di tale membro risulta variabile in relazione all'azione erosiva operata dagli agenti esogeni, tuttavia, dagli affioramenti visibili in zona, questo può essere valutato in $3\text{ m} \div 15\text{ m}$ per la litofacies arenaceo - conglomeratica (sigla "GRS") ed in $20\text{ m} \div 80\text{ m}$ per quella arenaceo - pelitica (sigla "ALS").

Il passaggio stratigrafico fra le facies pelitiche di base sottilmente stratificate (COS) e quelle conglomeratico arenacee massive di tetto (GRS) avviene in maniera graduale attraverso una fascia intermedia litologicamente costituita da alternanze di litotipi arenacei e pelitici a stratificazione decimetrica (ALS).

I parametri geotecnici e geofisici desunti dalle varie indagini sia pregresse, sia di nuova realizzazione, sono riportati nelle apposite schede derivate dal software di archiviazione; in queste schede, per completezza d'informazione, sono indicati anche i terreni di copertura aventi uno spessore inferiore a 3,0 m, con le relative caratteristiche geologiche, geotecniche e geofisiche.

Di seguito si forniscono n°2 tabelle riassuntive dei valori medi di alcuni parametri divisi fra unità del substrato geologico e terreni di copertura.




TIPOLOGIA SUBSTRATO GEOLOGICO			
Simbolo in carta	Tipologia	Parametri geotecnici	Parametri geofisici
	GRS - Granulare cementato, stratificato	$\gamma = 20,0 \div 21,0 \text{ kN/m}^3$ $\phi' = 32,0^\circ \div 35,0^\circ$	$V_s = 480 \div 550 \text{ m/s}$
	COS - Coesivo sovraconsolidato, stratificato	$\gamma = 21,0 \text{ kN/m}^3$ $C_u = 0,22 \div 0,26 \text{ MPa}$ $\phi' = 27,0^\circ$ $W_n = 15,2\%$ $W_L = 40,2\%$ $IP = 19,7\%$; $IC = 1,3$	$V_s = 500 \div 600 \text{ m/s}$
	ALS – Alternanze di litotipi, stratificato	$\gamma = 20,0 \div 21,0 \text{ kN/m}^3$ $C_u = 0,1 \div 0,26 \text{ MPa}$ $\phi' = 30,0^\circ$	$V_s = 250 \div 450 \text{ m/s}$

Tabella 6 - principali parametri geotecnici e geofisici delle unità del substrato geologico (γ = peso di volume; ϕ' = angolo di attrito interno; C_u = coesione non drenata; W_n = contenuto in acqua Naturale; W_L = limite liquido; IP = Indice di Plasticità; IC = Indice di consistenza V_s = velocità onde S).




TIPOLOGIA TERRENI DI COPERTURA			
Simbolo in carta	Tipologia	Parametri geotecnici	Parametri geofisici
	GM - Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo di terrazzo alluvionale	$\gamma = 19,0 \div 20,0 \text{ kN/m}^3$ $\phi' = 30,0^\circ \div 34,0^\circ$	$V_s = 250 \div 300 \text{ m/s}$
	SM - Sabbie limose, miscela di sabbia e limo di origine fluviale	$\gamma = 19,0 \div 19,5 \text{ kN/m}^3$ $\phi' = 28,0^\circ \div 30,0^\circ$	$V_s = 200 \div 250 \text{ m/s}$
	ML - Limi inorganici, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità	$\gamma = 18,0 \div 19,0 \text{ kN/m}^3$ $C_u = 0,04 \div 0,06 \text{ MPa}$ $\phi' = 24,0^\circ \div 26,0^\circ$	$V_s = 100 \div 220 \text{ m/s}$

Tabella 7 - principali parametri geotecnici e geofisici dei terreni di copertura (γ = peso di volume; ϕ' = angolo di attrito interno; C_u = coesione non drenata; V_s = velocità onde S).

I valori dei parametri fisici e meccanici riportati nella tabella n°6 riferiti ai terreni del substrato geologico sono stati desunti dalle indagini in situ ex-novo effettuate; precisamente dalle determinazioni in situ e di laboratorio eseguite durante il sondaggio geognostico.

I valori delle Vs sono stati ricavati dalle varie prove geofisiche effettuate nell'area, principalmente la downhole nel sondaggio e le M.A.S.W. all'interno del perimetro di III° livello.

I parametri geotecnici delle coperture (tabella 7) sono stati ricavati dalle indagini pregresse reperite e da prove dirette e di laboratorio effettuate sulle medesime litologie in aree limitrofe a quella di studio.

I valori della Vs sono stati ricavati per via indiretta dalle prove H/V effettuate e reperite durante lo studio di I° livello.

5.2. Sezioni geologico - tecniche

Nello studio di I° livello erano stati tracciati n°4 profili ritenuti rappresentativi delle caratteristiche litostratigrafiche delle aree investigate (n°2 per la zona Capoluogo e n°2 per la zona S. Silvestro); in questa fase i profili sono stati aggiornati in base alla revisione del modello di sottosuolo effettuata ed inoltre sono stati aggiunti ulteriori n°2 profili che attraversano quasi perpendicolarmente l'area di studio di III° livello (vedi tavole profili geologico - tecnici).

In essi è riportato l'andamento dei terreni del substrato geologico e delle coperture secondo il modello di sottosuolo descritto in precedenza.

In particolare nella zona di S. Silvestro è evidenziato l'andamento dell'interfaccia fra coperture alluvionali e substrato pelitico stratificato e sovraconsolidato.

Si tratta di un andamento discordante in quanto i terrazzi alluvionali hanno eroso il substrato pelitico quando questo aveva assunto la vergenza appenninica a seguito del sollevamento avvenuto nel Plio - Pleistocene.

Anche i depositi limosi di alterazione eluvio-colluviale risultano quasi sempre discordanti sul substrato geologico.

Le n°2 litofacies del membro di Offida della Formazione delle Argille Azzurre risultano essere concordanti tra loro e con le peliti di base in quando la loro deposizione è avvenuta prima del rapido sollevamento dell'area e della conseguente vergenza nord orientale assunta dai depositi.

Non si segnalano particolari morfologie sepolte ad eccezione di un'area situata nella porzione ovest del centro urbano caratterizzata da grotte scavate all'interno del deposito arenaceo - conglomeratico con possibilità di cedimenti delle volte.

Tutte le indagini geofisiche hanno evidenziato un'inversione di velocità delle Vs al passaggio fra la litofacies arenaceo - conglomeratica e quella arenaceo - pelitica del membro di Offida.

Alla profondità investigata con la dowhole (35,00 m) non è stato raggiunto il substrato simico; la modellazione 1D in quest'area lo pone a 50 m dal piano di campagna.

All'interno del perimetro di livello 3 il substrato simico, definito in base alla modellazione 1D, è ubicato a profondità comprese fra 30 m e 50 m.

Gli spessori delle varie unità geologico - tecniche sono stati indicati in precedenza (vedi paragrafo 5.1), mentre per quanto riguarda le zone interessate da instabilità queste non sono riportate nei profili geologico - tecnici in quanto trattate in deroga agli standard ver. 4.0b, secondo le indicazioni fornite dal centro MS.

Degli elementi tettonici si è detto in precedenza, il modello strutturale della zona non prevede la presenza di lineamenti tettonici all'interno delle aree di studio.

Nel territorio comunale non sono presenti depositi interessati da falda freatica arealmente continua ad eccezione del piccolo lembo di terrazzo alluvionale recente sul quale va ad insistere una parte dell'abitato di S. Silvestro.

Qui, per la limitata estensione dell'area alluvionale compresa all'interno del territorio comunale di Castorano e per l'assenza di pozzi di controllo, non è stato possibile individuare l'andamento della superficie piezometrica.

6. INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE

Il modello del sottosuolo delle aree oggetto di studio è abbastanza noto in letteratura ed è confermato sia dalle indagini reperite ed allegate al presente studio, sia dal rilevamento effettuato all'interno delle aree in esame.

Relativamente ai terreni di copertura le incertezze riguardano gli spessori; tali terreni infatti presentano una forte variabilità laterale passando da pochi metri a più di dieci metri di potenza su distanze molto brevi (dell'ordine di una cinquantina di metri), con variazioni significative delle loro caratteristiche meccaniche e simiche.

Per quanto concerne i terreni del substrato geologico, le incertezze sono dovute anche in questo caso alla variabilità degli spessori delle n°2 litofacies del membro di Offida in quanto, trattandosi di depositi sedimentatosi all'interno di canali sottomarini, presentano una pronunciata variabilità laterale.

Altra incertezza è data dalla situazione tettonica dell'area del capoluogo; qui dal rilevamento geologico effettuato in loco non si sono palesati gli elementi tettonico - strutturali riportati invece sulla carta geologica regionale di riferimento con il termine generico di "faglie".

Le aree che dovrebbero essere state interessate da questi lineamenti tettonici, così come riportati nella carta geologica regionale, sono sempre risultate coltivate e mascherate da terreni di copertura che non hanno permesso l'individuazione delle strutture caratteristiche associate alle faglie quali scarpate, piani di scorrimento ecc. e per tale motivo, in accordo con il gruppo di supporto, non sono state riportate nella carta geologico - tecnica.

7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

Come previsto dagli "ICMS" nello studio di microzonazione sismica di primo livello ci si basa essenzialmente sulle indagini già effettuate all'interno del territorio in esame, reperite presso gli archivi comunali; queste generalmente sono state elaborate dai vari operatori ed i risultati sono pubblicati all'interno dei lavori presentati dai colleghi a corredo delle varie pratiche edilizie, per studi di pianificazione ambientale od altro.

All'interno della struttura di archiviazione del presente lavoro (44013_Castorano) sono riportati tutti i dati desunti dalle indagini di I° livello censite, puntuali e lineari, con le relative metodologie di elaborazione ed i risultati ottenuti.

Come detto in precedenza, nel presente studio di III° livello sono state effettuate alcune indagini ex-novo (*vedi paragrafo 4.2*) i cui risultati sono stati aggiunti a quelli di I° livello del database di archiviazione *SoftMS v. 4.0.1*.

7.1. Zone stabili suscettibili di amplificazione

A seguito delle nuove indagini di tipo geofisico effettuate nell'area in esame è emerso che il substrato geologico dell'area non corrisponde al substrato sismico in quanto la velocità delle onde "S" (cosiddetta V_s) all'interno di tali litologie, almeno fino alle profondità investigate (30 ÷ 35 m), non raggiunge mai i valori di 800 m/s previsti per il substrato sismico stesso.

Di conseguenza, rispetto allo studio di I° livello, è stata rielaborata anche la carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (cosiddetta "MOPS") considerando tutte le litofacies del substrato geologico come: *"zone stabili suscettibili di amplificazione"*.

7.1.1 Scelta dell'input sismico

Per la modellazione sismica delle varie "MOPS" presenti all'interno del perimetro di studio di questo III° livello si è utilizzato un input sismico fornito dal Centro MS, composto da n°7 accelerogrammi contenuti nella cartella *"Input_CASTORANO_475yrs"* (44013_Castorano/Indagini/Documenti).

Gli spettri sono stati elaborati dall'INGV secondo gli standard del progetto "Itaca", forniti in formato file "ASCII" ed elaborati con il software specifico *"REXELite"* a cura di: Iervolino I., Galasso C., Paolucci R., Pacor F. (2011), Engineering ground motion record selection in the Italian ACcelerometric Archive - Bulletin of Earthquake Engineering 9(6):1761-1778, DOI: 10.1007/s10518-011-9300-4.

MARCHE3 - CASTORANO (475yrs)

Mon Jul 10 13:05:08 CEST 2017

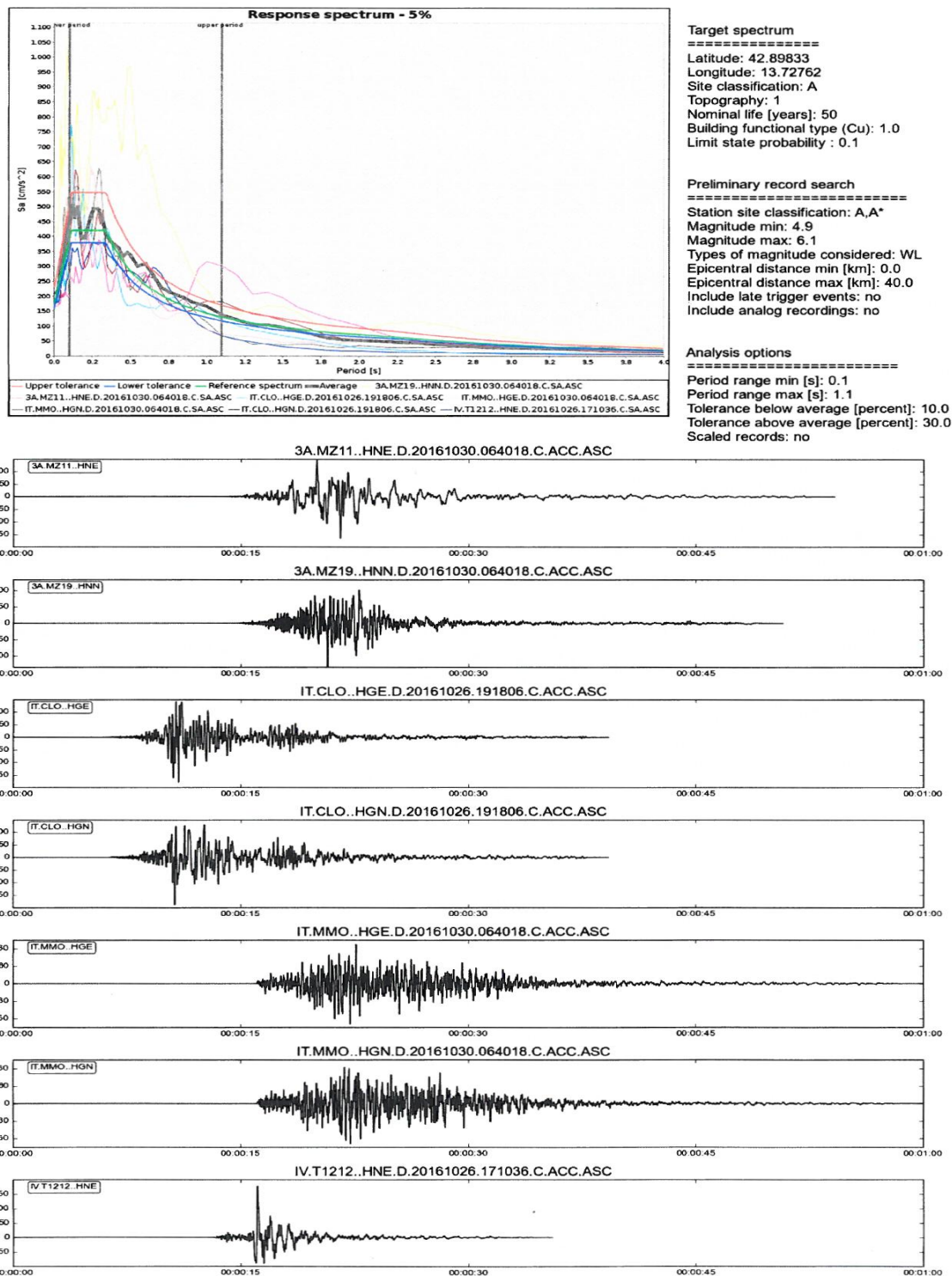


Figura 23 - Accelerogrammi usati l'input sismico dell'area (forniti dal Centro MS).

Questi contengono un'intestazione di n°64 righe nelle quali vengono riportate informazioni su l'evento registrato fra le quali coordinate, data, durata, intensità, distanza epicentrale, ecc.

Di seguito si riportano le referenze degli accelerogrammi forniti: Luzi L, Puglia R, Russo E Working Group ESM (2015) ORFEUS WG5 (2016). Engineering Strong Motion Database, version 1.0.

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Observatories European strong motion database Research Facilities for European Seismology. doi: 10.13127/ESM - <http://esm.mi.ingv.it>.

7.1.2 Simulazioni numeriche

Per le simulazioni numeriche 1D (le 2D vengono fornite direttamente dal Centro MS ed al momento non sono disponibili) si è utilizzato il codice di calcolo "STRATA" previa taratura dello stesso per ognuna delle n°8 "MOPS" presenti all'interno del perimetro di studio di III° livello.

La procedura utilizzata è stata la seguente:

- Scelta della prova HVSR realizzata all'interno di ciascuna "MOPS" ritenuta significativa della "MOPS" stessa.
- Confronto fra la frequenza del primo picco della curva H/V e quella della curva di accelerazione (Acceleration Transfer Function) fra la superficie ed il basamento sismico ottenuta con il software "STRATA" utilizzando il metodo di calcolo "lineare elastico" su uno dei n°7 accelerogrammi forniti (generalmente il primo) e taratura della profondità del basamento sismico dell'area, utilizzando la stratigrafia ed i valori di velocità Vs ricavati dalle indagini e prove in situ e di laboratorio, mediando tali valori quando necessario (quando su una "MOPS" si ha più di una prova ritenuta significativa).

- Elaborazione con il software "STRATA" per ogni "MOPS" presente all'interno del perimetro di III° livello degli spettri di risposta utilizzando il metodo di calcolo "Lineare Equivalente" sulla stessa stratigrafia geologica e simica utilizzata per la taratura (spettro di risposta dell'accelerazione al bedrock ed in superficie con registrazione di tipo *Outcrop*).
- Calcolo ed esportazione in formato file di testo *.txt* degli spettri di output caratteristici di ogni "MOPS" (n°7 spettri per ciascuna "MOPS"), archiviati nella sottocartella "*Spettri*" della cartella "*MS23*" dell'architettura di QGis (*44013_Castorano*).
- Calcolo ed esportazione in formato csv di "*Excel*" degli accelerogrammi caratteristici di ogni "MOPS" (n°8 per ogni "MOPS") riportati nella cartella "*Accelerogrammi*" (*44013_Castorano/Indagini/Documenti*).
- Calcolo dei vari Fattori di Amplificazione stratigrafica relativi ad ogni "MOPS" negli intervalli di periodo 0,1÷0,5 s; 0,4÷0,8 s e 0,7÷1,1 s utilizzando un foglio elettronico di tipo "*Excel*" fornito dal gruppo di supporto (*44013_Castorano/Indagini/Documenti/FA*).
- Redazione della carta di Microzonazione nei n°3 intervalli di periodo di FA.

SIGLA HVSR (da carta Frequenze)	Zona MOPS
P54	Zona 2003
P58	Zona 2007
P62	Zona 2005
P61	Zona 2006
P60	Zona 2012
P59	Zona 2008
P54	Zona 2009
P49	Zona 2010

Tabella 8 - Corrispondenza fra prove HVSR e "MOPS" per taratura software "STRATA"

PARAMETRI "STRATA"	VALORI
Metodo di calcolo	Lineare equivalente
Approach	Time Series
Error tolerance	2,0%;
Maximum number of iterations	10
Effective strain ratio	0,65
Maximum frequency	20 Hz
Wavelength fraction	0,2
Unit weight (Bedrock)	22,0 kN/m ³
Damping (Bedrock)	1,00 %
Curva G/G_0 per depositi con sabbia in prevalenza (da letteratura)	Seed and Idriss, Sand Mean (consigliato dal gruppo di supporto)
Curva G/G_0 per depositi con argilla in prevalenza (da letteratura)	Vucetic and Dobry IP = 15 (consigliato dal gruppo di supporto)
Damping Model per depositi con sabbia in prevalenza (da letteratura)	Seed and Idriss, Sand Mean (consigliato dal gruppo di supporto)
Damping Model per depositi con argilla in prevalenza (da letteratura)	Vucetic and Dobry IP = 15 (consigliato dal gruppo di supporto)

Tabella 9 - Principali parametri utilizzati per l'elaborazione con software "STRATA"

La scelta di utilizzare le curve di letteratura è stata dettata dal fatto che all'interno del territorio in esame ed in quello dei comuni limitrofi non sono presenti curve sperimentali per le litologie in esame.

7.1.3 Risultati

Come detto i risultati delle analisi numeriche monodimensionali (cosiddette analisi 1D) sono riportati in specifiche cartelle e *shapefiles* dell'architettura di QGis (44013_Castorano).

Precisamente nella cartella "Accelerogrammi" (44013_Castorano/Indagini/Documenti) sono riportati n°8 files per ogni "MOPS" rappresentativi della storia temporale dell'accelerazione orizzontale in superficie (n°7 file specifici più uno riassuntivo).

Gli spettri di risposta, anch'essi calcolati per ogni "MOPS" presente all'interno del perimetro di III° livello, sono riportati nella sottocartella "Spettri" della cartella "MS23" dell'architettura di QGis (44013_Castorano/MS23/Spettri).

Essi sono in formato di testo .txt, nei quali le prime n°2 righe contengono le informazioni relative agli spettri stessi e dalla quarta in poi i valori; per la denominazione dei vari files si è fatto riferimento agli *standard di rappresentazione e archiviazione informativa ver. 4.0b*.

Per ciascuna verticale corrispondente alle varie "MOPS" presenti all'interno del perimetro di III° livello è stato calcolato il Fattore di Amplificazione stratigrafica al fine di definire la risposta sismica locale nei n°3 intervalli di periodo previsti ed indicati al *paragrafo 7.1.2*.

Tali fattori sono riportati nello *shapefile* "stab" di MS3 del file MS_Aree_EQ_rev_02 di QGis e permettono la realizzazione della carta di microzonazione di livello 3.

All'interno dell'architettura del programma di elaborazione cartografico (44013_Castorano/Indagini/Documenti) è presente una cartella denominata "FA" contenente, per ogni "MOPS", il file del programma di calcolo delle analisi numeriche 1D ("STRATA") ed il relativo foglio di calcolo di FA.

Nella tabella che segue vengono riassunti i valori del Fattore di Amplificazione stratigrafica per ogni zona "MOPS", nei n°3 intervalli di periodo, calcolati come media logaritmica dei valori di FA relativi ai n°7 accelerogrammi utilizzati, secondo la relazione di figura 24.

$$m_{ln} = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^7 \ln(FA_i)$$

$$FA_{rif} = e^{m_{ln}}$$

Figura 24 - relazione utilizzata per il calcolo dei valori di FA.

ZONA "MOPS"	FA		
	0,1 ÷ 0,5 s	0,4 ÷ 0,8 s	0,7 ÷ 1,1 s
ZONA 2003	1,61	1,76	1,81
ZONA 2005	1,69	1,33	1,16
ZONA 2006	1,42	1,57	1,31
ZONA 2007	1,21	1,52	1,34
ZONA 2008	1,46	1,43	1,23
ZONA 2009	1,30	1,50	1,32
ZONA 2010	2,00	1,91	1,47
ZONA 2012	1,77	1,83	1,53

Tabella 10 - Fattori di Amplificazione di ogni "MOPS" nei n°3 intervalli di periodo.

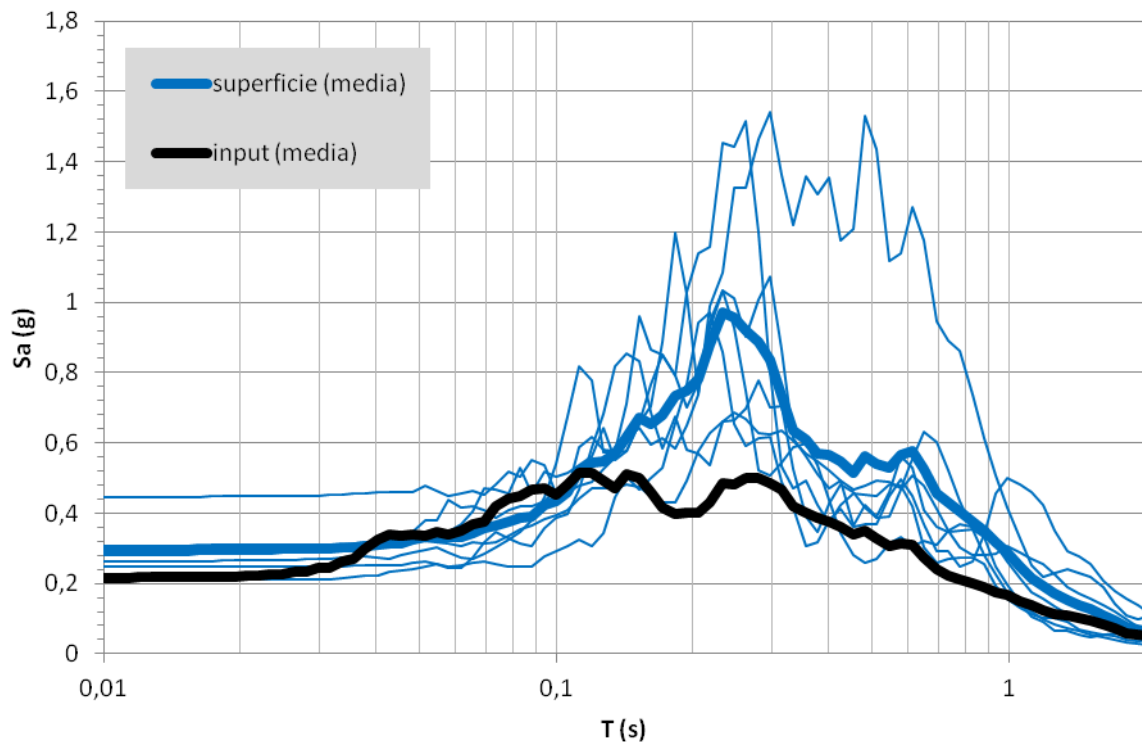


Grafico 1 - Accelerogrammi di "input" ed "output" con relativi valori medi MOPS 2003.

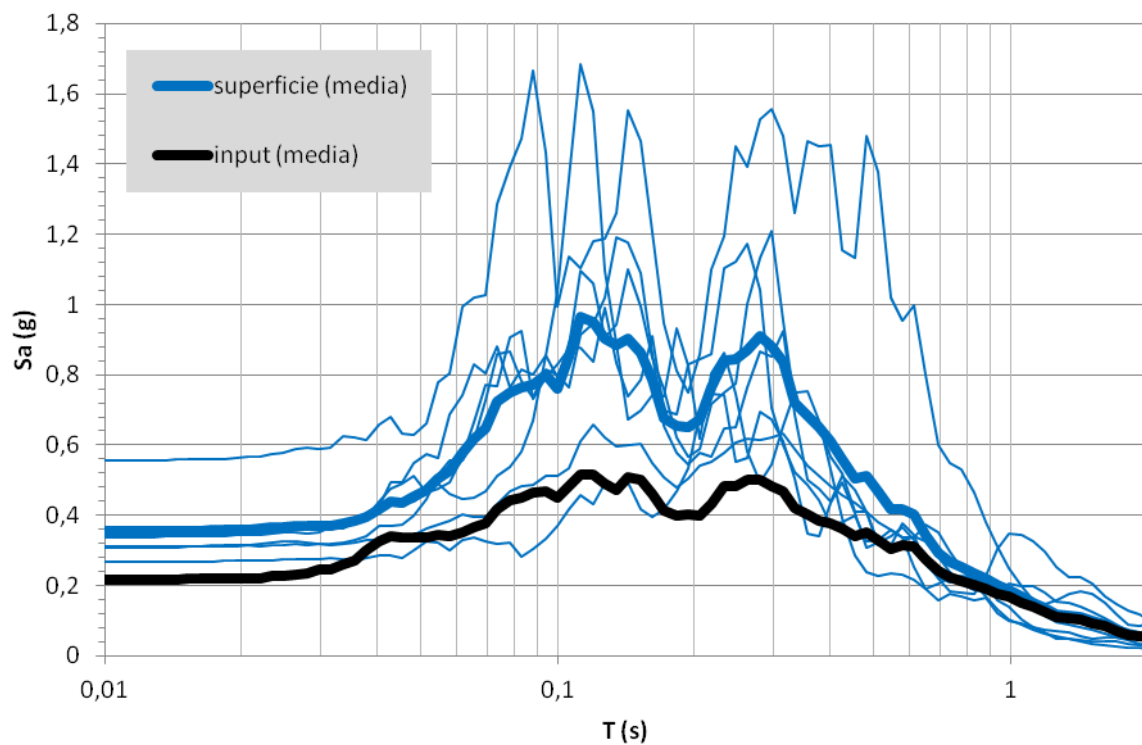


Grafico 2 - Accelerogrammi di "input" ed "output" con relativi valori medi MOPS 2005.

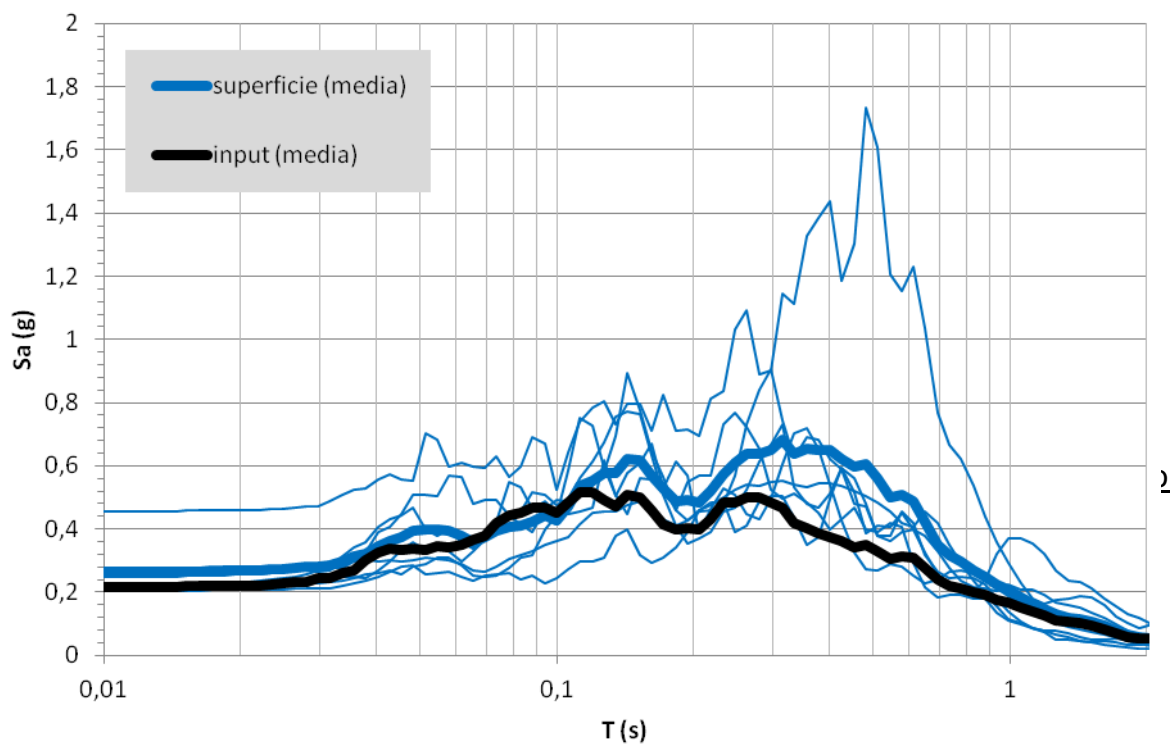


Grafico 3 - Accelerogrammi di "input" ed "output" con relativi valori medi MOPS 2006.

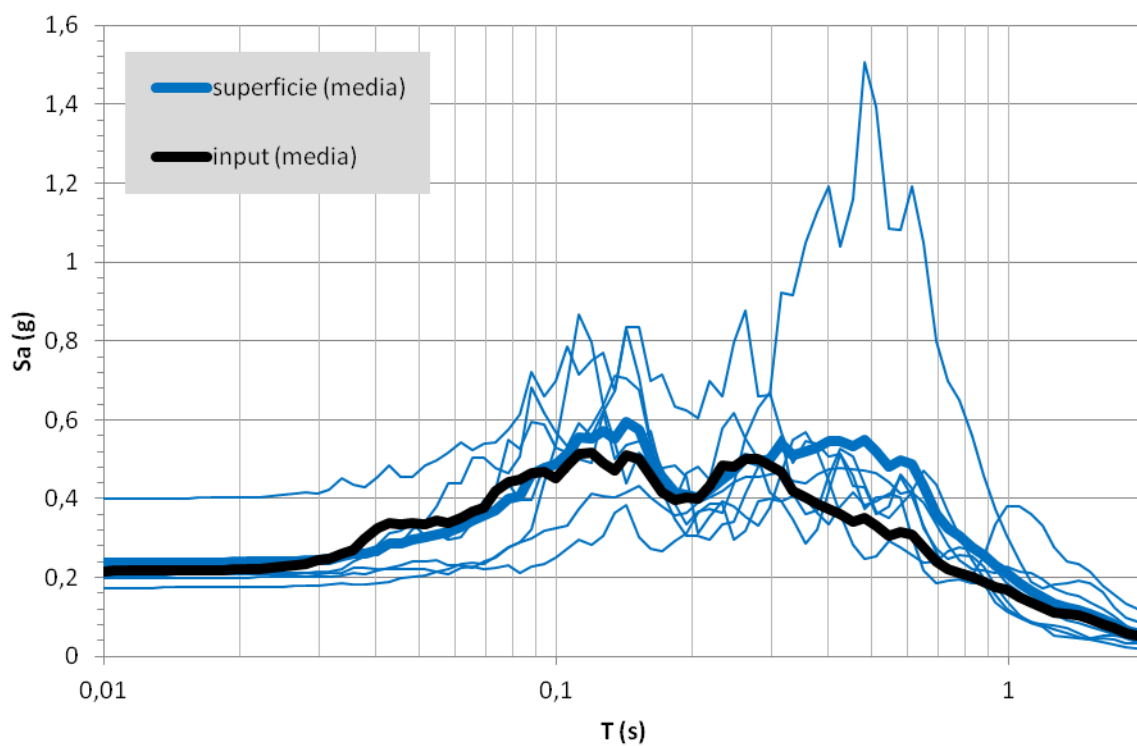


Grafico 4 - Accelerogrammi di "input" ed "output" con relativi valori medi MOPS 2007.

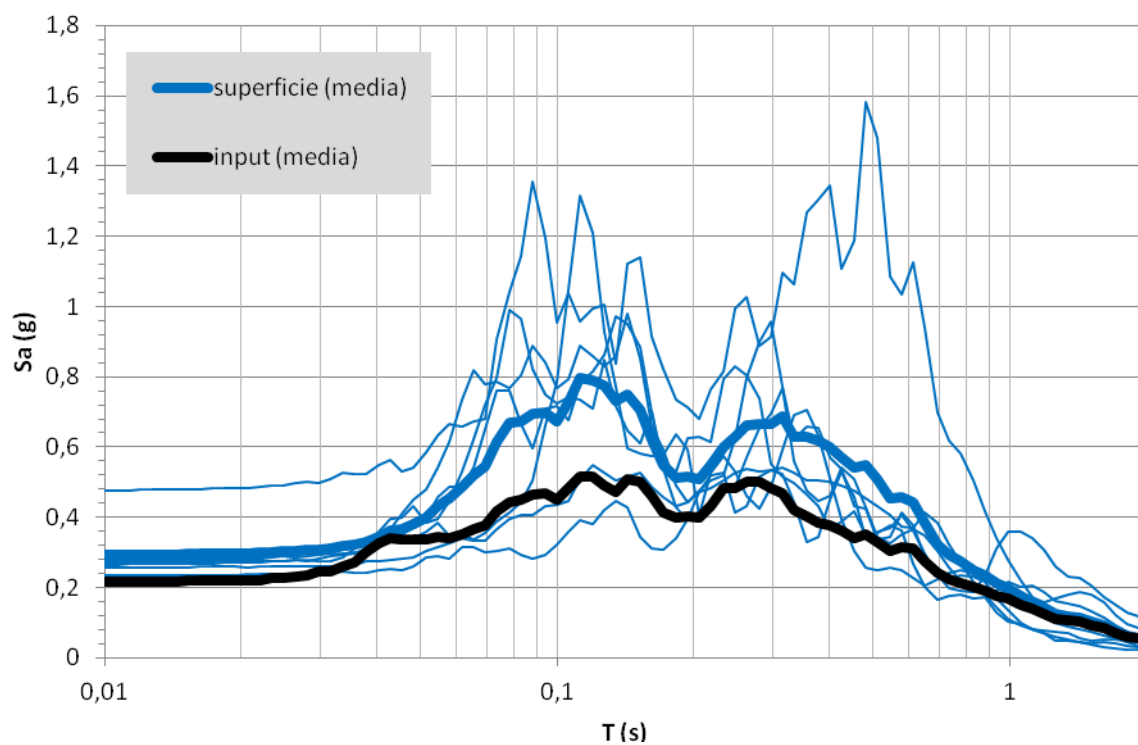


Grafico 5 - Accelerogrammi di "input" ed "output" con relativi valori medi MOPS 2008.

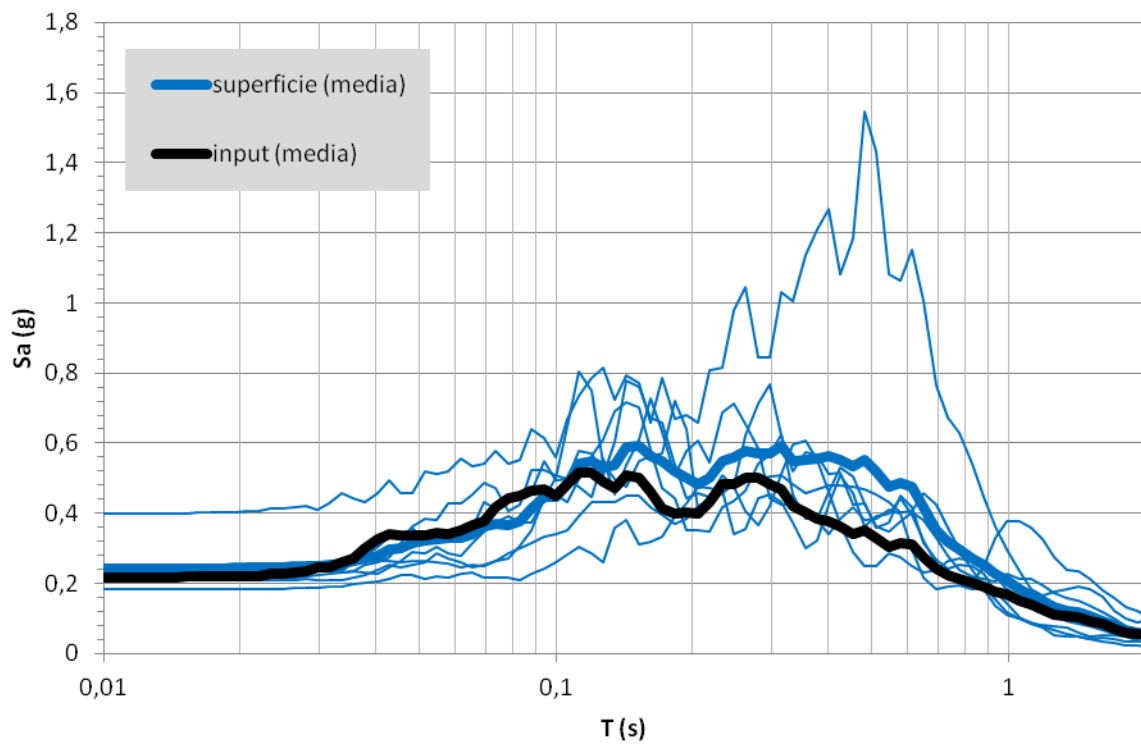


Grafico 6 - Accelerogrammi di "input" ed "output" con relativi valori medi MOPS 2009.

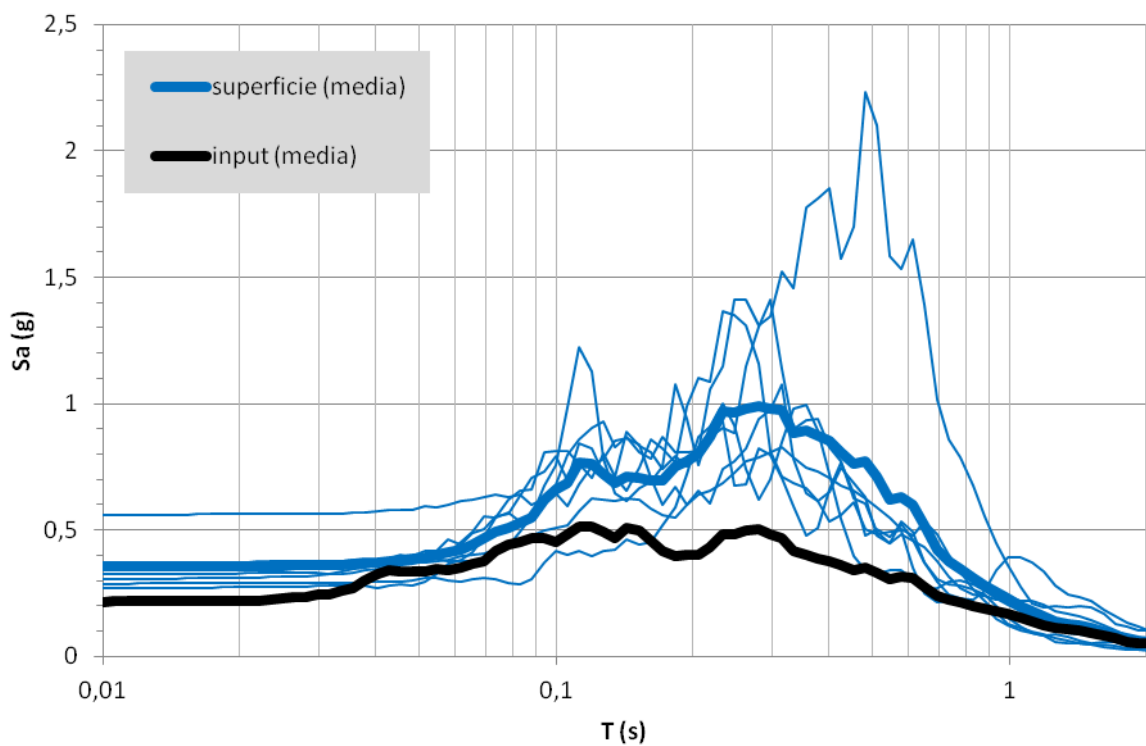


Grafico 7 - Accelerogrammi di "input" ed "output" con relativi valori medi MOPS 2010.

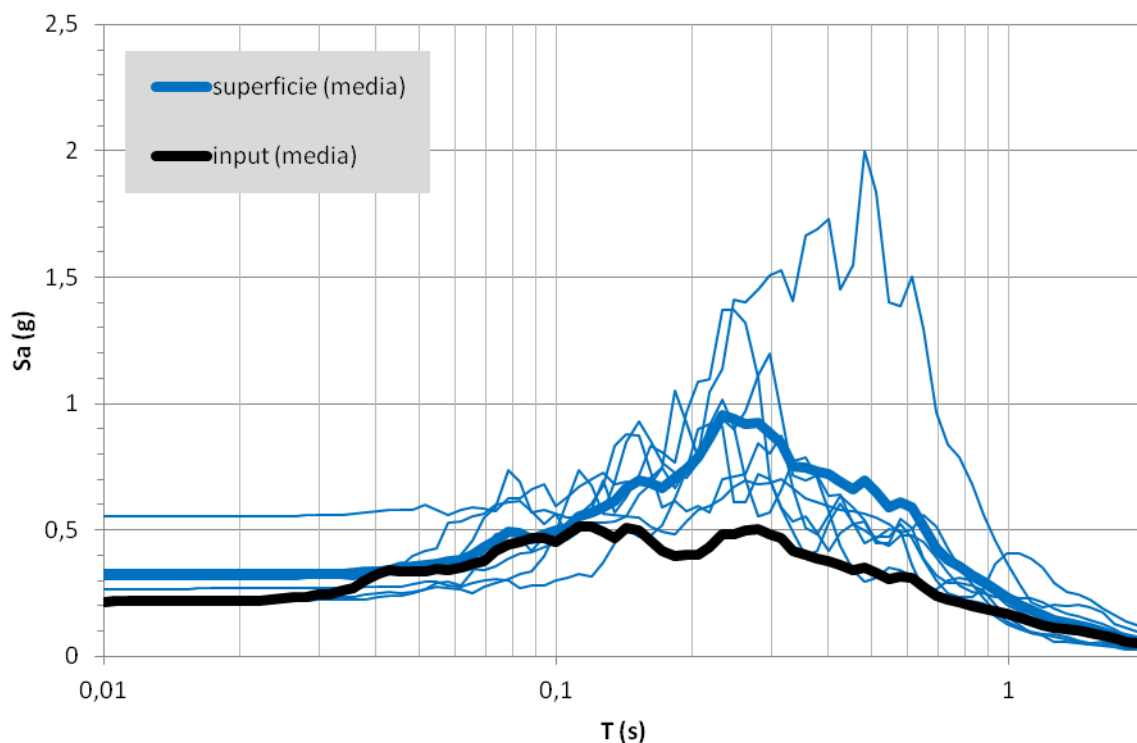


Grafico 8 - Accelerogrammi di "input" ed "output" con relativi valori medi MOPS 2012.

7.2. Zone instabili

Nell'area in esame, come detto, non sono presenti faglie attivi e capaci e terreni potenzialmente liquefacibili per cui le analisi di tali fenomenologie sono omesse.

Per quanto concerne le instabilità di versante, queste sono riportate nella carta geologico - tecnica, in quella delle MOPS ed in quella di microzonazione di livello 3.

Quest'ultime tuttavia, come da indicazioni del centro MS e del gruppo di supporto, vengono trattate in deroga agli *standard di rappresentazione* e

archiviazione informativa ver. 4.0b, riconducendo la loro analisi a quanto previsto per il I° livello.

8. ELABORATI CARTOGRAFICI

Secondo le indicazioni dell'ultima versione degli "ICMS" gli elaborati a corredo del presente studio di microzonazione sismica comprendono quelli di I° livello rivisti ed aggiornati, integrati con quelli specifici per il III° livello.

Questi sono articolati in:

- Carta delle indagini;
- Carta geologico - tecnica;
- Profili geologico - tecnici;
- Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica ("MOPS");
- Carta delle frequenze naturali dei terreni;
- Carta di microzonazione sismica di livello 3

Per la cartografia di base è stato utilizzato un rilievo a curve di livello del territorio comunale desunto dalla carta tecnica regionale e georeferenziato secondo il sistema *"WGS_1984_UTM_Zone_33N"*.

Tale rilievo si basa sull'ultima edizione della Carta Tecnica Regionale (CTR) in scala 1 : 10.000 ed interessa le sezioni n°327050, 327060, 327090 e 327100.

I perimetri delle aree di studio di primo livello sono stati definiti dall'Amministrazione Comunale con apposito atto deliberativo, mentre quello di

terzo livello è stato definito dal Gruppo di Supporto, dal Centro MS ed approvato dall'Amministrazione Comunale di Castorano.

Su tutte le carte l'area indagata è stata estesa oltre tali perimetri, ad un intorno ritenuto significativo per la definizione della forma.

Per la digitalizzazione delle varie carte tematiche è stato utilizzato il software open source "QGis" seguendo l'architettura di archiviazione dei files prevista negli standard di rappresentazione e archiviazione informatica versione 4.0b, elaborata dalla Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica e fornita dal Centro MS.

Per una visione ottimale delle tavole cartografiche è stata scelta una scala di rappresentazione 1 : 5.000 delle aree oggetto di studio; questo ha impedito di riportare nella stessa tavola della carta geologico - tecnica i profili geologico - tecnici.

Detti profili, elaborati a scala 1 : 2.000 per meglio evidenziare i rapporti stratigrafici fra le varie unità del substrato geologico e delle coperture, sono riportati su una tavola separata denominata "profili geologico - tecnici"; le tracce di detti profili sono indicate nella carta geologico - tecnica.

Per motivi di *editing* (massimo supporto stampabile in formato "A0"), ogni elaborato cartografico già previsto per il primo livello si compone di n°2 tavole distinte per la zona del Capoluogo e per quella di S. Silvestro.

Gli elaborati cartografici specifici per il III° livello si compongono di una sola tavola in quanto il perimetro di studio è relativo solo al Capoluogo.

8.1. Carta delle Indagini

In questa carta sono riportate tutte le indagini reperite o effettuate ex-novo all'interno delle aree oggetto di studio, estese ad un intorno significativo delle stesse, sia puntuali, sia lineari.

Dette indagini sono state estrapolate dagli elaborati geologici presenti negli archivi comunali riferiti in massima parte agli ultimi 20 anni di lavori; successivamente sono state catalogate con l'apposito software di archiviazione *SoftMS v. 4.0.1*.

La maggior parte delle indagini reperite sono state quelle contenute negli elaborati geologici del P.R.G. comunale definitivamente approvato il 02-04-2008 mentre sono risultate poche quelle recenti effettuate per interventi pubblici o privati all'interno delle aree oggetto di esame.

Infine, ad integrazione di tutti i dati raccolti, sono state eseguite ex-novo le indagini già descritte al *paragrafo 4.2* e riferite al solo perimetro di studio di livello 3.

Di tutte le indagini si è provveduto ad effettuare la scansione o la trasformazione dei *files* di elaborazione in formato *.pdf* e la loro archiviazione nella cartella "Indagini", sottocartella "documenti" come da indicazioni della Commissione Tecnica; questi sono stati divisi per aree e per tipologia d'indagine (puntuale, lineare) secondo la seguente corrispondenza:

AREA	NOME FILE	
	Indagini Puntuali	Indagini Lineari
Castorano Capoluogo	<i>Capoluogo_Puntuali.pdf</i>	<i>Capoluogo_Lineari.pdf</i>
S. Silvestro	<i>S. Silvestro_Puntuali.pdf</i>	<i>S. Silvestro_Lineari.pdf</i>

Tabella 11 - corrispondenza aree di studio e *files* di archiviazione indagini.










INDAGINI PUNTUALI		
<i>Simbolo in carta</i>	<i>Tipo d'Indagine</i>	<i>N°</i>
	S - Sondaggio a carotaggio continuo	1
	SS - Sondaggio a carotaggio continuo che intercetta il substrato	23
	SDS - Sondaggio a distruzione di nucleo che intercetta il substrato	1
	SPT - Prova penetrometrica in foro	3
	DP - Prova penetrometrica dinamica pesante	11
	DS - Prova penetrometrica dinamica super pesante	2
	SR - Verticale Virtuale lungo profilo sismico a rifrazione	1
	DH - Prova sismica in foro tipo <i>Dowhole</i>	1
	HVSR - Stazione microtremore a stazione singola	25
TOTALE		68

Tabella 12 - Tipologia e numero di indagini puntuali pregresse ed ex-novo censite o effettuate sulle aree oggetto di studio.



INDAGINI LINEARI		
<i>Simbolo in carta</i>	<i>Tipo d'Indagine</i>	<i>N°</i>
	SR - Profilo sismico a rifrazione	1
	MASW	3
	SGE - Sezione geologica	6
TOTALE		10

Tabella 13 - Tipologia e numero di indagini lineari pregresse ed ex-novo censite o effettuate sulle aree oggetto di studio.

Dalla tabella n°12 si evince che fra le indagini puntuali la tipologia di prova maggiormente utilizzata è il "sondaggio a carotaggio continuo" (n°24 prove).

L'alternativa a questa tipo di prova è rappresentata dalla "penetrometrica dinamica pesante" la quale, più economica e più semplice da installare, è stata utilizzata su n°11 siti.

Poche sono state le "penetrometriche super pesanti" (n°2), mentre è stato censito un solo sondaggio a distruzione di nucleo

In generale negli archivi comunali sono state rinvenute un discreto numero di prove ma di tipologia poco assortita, per esempio mancano del tutto le prove penetrometriche medie, così come le analisi di laboratorio sui campioni di terreno prelevati durante i carotaggi, nonostante il buon numero di quest'ultimi.

Le indagini effettuate ex-novo all'interno del perimetro di livello 3 hanno aggiunto n°3 prove geotecniche in situ di tipo *SPT* (prima inesistenti).

Per quanto riguardano le indagini geofisiche puntuali, se si esclude la verticale virtuale riferita all'unico profilo sismico a rifrazione reperito (indagini lineari), sono state individuate n°25 rilevazioni HVSR di microtremore con strumentazione a stazione singola, di queste n°6 sono state effettuate in occasione del presente studio.

È stata inoltre eseguita una prova sismica di tipo *downhole*, tipologia di prova non presente fra quelle reperite.

In riferimento alle indagini lineari (vedi tabella n°13), si tratta di solo tre tipologie, due di natura geofisica ed una di carattere geologico; per la prima si ha un solo profilo sismico a rifrazione, mentre per la seconda si hanno n°6 sezioni geologiche.

In questo studio di III° livello sono state eseguite ex-novo n°3 prove sismiche di tipo *MASW* tutte ubicate all'interno del perimetro indicato per tale livello di studio.

8.2. Carta delle frequenze naturali dei terreni

Questa carta si riferisce solo al perimetro oggetto di studio di livello 3 e ad un suo intorno ritenuto significativo in quanto non presente in quello di I° livello.

Per la definizione delle frequenze fondamentali dei terreni si è fatto ricorso alle prove di tipo HVSR microtremore a stazione singola, effettuate come descritto al *paragrafo 4.2.3*.

Ad integrazione di queste sono state utilizzate alcune prove eseguite nell'area in esame durante lo studio di primo livello, ritenute significative in quanto effettuate con la medesima attrezzatura di quelle ex-novo e quindi reinterpretabili con il medesimo software.

Dall'analisi delle frequenze fondamentali si può notare che in tutte le prove è presente un primo picco, seppur poco evidente, della curva H/V compreso fra 2,0 Hz e 4,0 Hz; questo può essere interpretato come contrasto d'impedenza che si genera tra il substrato sismico ($V_s > 800$ m/s) e i terreni soprastanti.

Nei processi di taratura del software utilizzato per la modellazione 1D infatti il basamento sismico è risultato compreso fra 30,00 m e 50,00 m, in accordo con quanto emerso dalle indagini HVSR.

In quasi tutte le prove non si evidenziano forti contrasti di impedenza nel *range* ritenuto significativo (2,0 ÷ 20,0 Hz), con picchi della curva H/V di ampiezza generalmente inferiore a 3,0.

Fa eccezione la prova "P48", realizzata all'interno del centro urbano in zona sommitale, nella quale si evidenzia un picco della curva H/V di ampiezza pari a 6,0 ad una frequenza di 8,178 Hz (rispetto dei criteri SESAME).

L'interpretazione geologico - stratigrafica della prova porta a pensare alla presenza di una coltre superficiale di natura limoso - sabbiosa molto alterata e quindi dotata di bassa V_s , giacente su un substrato arenaceo - conglomeratico piuttosto addensato ($V_s \approx 500$ m/s).

Il modello interpretativo della prova è suffragato dalla presenza in quest'area dell'edificio sede della scuola materna il quale risulta piuttosto

danneggiato dagli eventi simici, con chiari segni di cedimento fondali presumibilmente dovuti alle scarse caratteristiche fisiche e meccaniche dei terreni di copertura presenti in loco.

Come indicato negli "ICMS" i valori dei picchi (massimo n°4) in termini di frequenza ed ampiezza della curva H/V di ogni prova sono riportati nello *shapefile* "HVSR" della carta delle frequenze naturali dei terreni e sono utilizzati per la redazione di tale carta.

Di seguito viene riportato uno *screenshot* della tabella attributi dello *shapefile* "HVSR" dal quale si possono verificare i valori di frequenza ed ampiezza ricavati dalle prove effettuate all'interno del perimetro di livello 3.

OBJECTID	Name	qualit	Tipo	Note	Label	comune	localit	F0	A0	F1	A1	F2	A2	F3	A3
0	1 P54	NULL	NULL	NULL	NULL	Castorano	Capoluogo	1.7560000000	2.3570000000	2.4820000000	2.3310000000	3.1290000000	2.2680000000	19.7850000000	1.7320000000
1	2 P57	NULL	NULL	NULL	NULL	Castorano	Via B. Cellini	1.3150000000	1.5410000000	1.8390000000	1.5670000000	4.8850000000	1.3890000000	6.4580000000	1.4390000000
2	3 P58	NULL	NULL	NULL	NULL	Castorano	via B. Cellini	1.5270000000	1.7770000000	2.6880000000	2.3500000000	4.0560000000	2.4650000000	19.7210000000	2.7520000000
3	4 P61	NULL	NULL	NULL	NULL	Castorano	via del Sole	2.7950000000	2.8280000000	3.2140000000	2.8540000000	4.8850000000	2.1910000000	5.8840000000	2.0000000000
4	5 P62	NULL	NULL	NULL	NULL	Castorano	via del Sole	4.0560000000	1.7360000000	6.1640000000	1.9430000000	7.4250000000	1.9110000000	13.5930000000	1.7830000000
5	6 P59	NULL	NULL	NULL	NULL	Castorano	Centro Urbano	3.5270000000	2.6750000000	4.6630000000	2.8180000000	6.7660000000	2.1660000000	15.6290000000	3.3280000000
6	7 P60	NULL	NULL	NULL	NULL	Castorano	Scuola Elementare	1.3910000000	1.4970000000	8.1490000000	2.1660000000	13.5930000000	3.2640000000	17.1520000000	3.0250000000
7	8 P48	NULL	NULL	NULL	NULL	Castorano	Capoluogo	6.1640000000	5.6820000000	8.1490000000	5.9870000000	NULL	NULL	NULL	NULL
8	9 P49	NULL	NULL	NULL	NULL	Castorano	Capoluogo	2.2150000000	2.1180000000	3.5270000000	2.4200000000	6.4580000000	2.1020000000	13.5930000000	3.3280000000
9	10 P54	NULL	NULL	NULL	NULL	Castorano	Pescola	2.2200000000	1.7200000000	4.0660000000	3.1530000000	5.6170000000	3.1270000000	12.3850000000	2.0220000000

Figura 24 - *screenshot* della tabella attributi dello *shapefile* "HVSR".

8.3. Carta geologico - tecnica per la microzonazione simica (CGT MS)

La carta tematica in esame è stata redatta facendo riferimento all'ultima versione (4.0b) degli "ICMS" prendendo come base di riferimento le sezioni n°327050, 327060, 327090 e 327100 della carta geologica regionale edizione CTR (progetti CARG, Docup e Ob. 5B) scaricate dal seguente link:

["www.ambiente.marche.it/Territorio/Cartografiaeinformazioniterritoriali/Archiviocartograficoeinformazioniterritoriali/Cartografie/CARTAGEOLOGICAREGIONALE110000.aspx"](http://www.ambiente.marche.it/Territorio/Cartografiaeinformazioniterritoriali/Archiviocartograficoeinformazioniterritoriali/Cartografie/CARTAGEOLOGICAREGIONALE110000.aspx).

Questa carta di base è stata utilizzata per la definizione delle unità litotecniche del substrato, dei terreni di copertura e delle principali forme geomorfologiche.

I dati in essa contenuti sono stati successivamente confrontati con quelli desunti dalle indagini reperite in archivio ed effettuate ex-novo, operando alcuni aggiustamenti dei limiti formazionali, soprattutto per la zona del Capoluogo.

Come detto, rispetto alla MS di 1° livello, si è provveduto ad una diversa caratterizzazione delle unità litostratigrafiche differenziando, quando è stato possibile, il membro di Offida della Formazione delle Argille Azzurre (*Auct.*) nelle sue n°2 litofacies (arenaceo - pelitica ed arenaceo - conglomeratica).

I rapporti stratigrafici fra queste litofacies sono evidenziati nei profili riportati in n°2 tavole specifiche (profili geologico - tecnici) realizzate in scala 1:2.000 e nelle colonne stratigrafiche "tipo" (vedi Figure n°15 e n°16).

Per quanto riguarda le unità del substrato geologico, come detto in precedenza, all'interno delle aree oggetto di studio è presente una successione pelitica ed arenaceo - pelitica o arenaceo - conglomeratica di origine marina e risalente al Plio-Pleistocene.

Secondo lo "*standard di rappresentazione e archiviazione informatica*" ver. 4.0b prodotto dalla Commissione Tecnica per la Microzonazione sismica a tale unità del substrato geologico è stata assegnata la sigla "COS" (coesivo, sovraconsolidato, stratificato).

Lungo i crinali principali che si sviluppano ad andamento nord - sud e nelle porzioni superiori dei versanti che da essi hanno origine si rinviene un'altra

unità del substrato litologicamente composta facies arenaceo - conglomeratiche ed arenaceo - pelitiche (membro di Offida) costituenti il tetto del ciclo regressivo pleistocenico.

A tali litofacies, sempre secondo gli "ICMS", sono state attribuite le sigle "GRS" (granulare, cementato, stratificato) per quella arenaceo - conglomeratica ed "ALS" (alternanza di litotipi, stratificato) per quella arenaceo - pelitica.

I rapporti stratigrafici fra queste unità litotecniche sono evidenziati nelle tavole "profili geologico - tecnici" e nelle "figura n°15 e n°16"; questi sono stati ampiamente illustrati in precedenza.

Per quanto concerne i terreni di copertura, se si tiene conto della loro origine, questi rientrano in n°4 classi che essenzialmente diventano n°3 per la granulometria dei depositi.

Infatti i terreni a grana grossa quali ghiaie e sabbie (GM) possono avere una duplice origine: di terrazzo fluviale (GMtf - poco addensati) e di piana inondabile (GMpi - sciolti).

I depositi a grana fine quali limo, sabbie fini ed argille invece hanno sempre un'origine di tipo eluvio - colluviale, ossia legata ai fenomeni di erosione e di accumulo che interessano le facies del substrato geologico, risultando prevalentemente poco addensati (MLec).

All'estremità ovest della zona di S. Silvestro è stato individuato un lembo di terrazzo alluvionale prodotto dal Torrente Lama (Affluente del F. Tronto) composto da terreni a granulometria fine quali sabbie e limi (SMpi).

A questo punto è necessario fare alcune considerazioni sugli spessori delle coperture in quanto nelle zone oggetto del presente studio risulta assai difficile trovare estesi affioramenti delle unità del substrato; la litofacies arenaceo - conglomeratica risulta ben visibile solo nei dintorni del capoluogo,

lungo la strada di accesso al centro urbano e nella incisione generata dal fosso Collina a nord est di esso.

Sulla maggior parte di queste aree infatti è quasi sempre presente una coltre di copertura spessa da qualche decina di centimetri fino ad un massimo di 1,50 m che va a rappresentare il riporto storico all'interno dell'abitato od il suolo vegetale nelle zone coltivate.

Tale coltre non viene evidenziata in carta in quanto, come specificato negli "ICMS", risulta inferiore a 3,0 m di spessore.

Una situazione simile si verifica nelle aree di terrazzo alluvionale, qui i depositi ghiaioso - sabbiosi di origine fluviale risultano sempre ricoperti da una coltre limosa che in parte costituisce il suolo agrario dell'area; anche in questo caso si tratta di spessori inferiori a 3,0 m e per tale motivo non evidenziati in carta.

Nelle zone medio basse dei versanti che hanno origine da questi rilievi, per accumulo dovuto principalmente alla gravità, gli spessori delle coperture limose diventano maggiori di 3,0 m, arrivando anche a superare i 10,0 m di potenza (sono riportate in carta con la sigla "MLec").

Sulle sezioni della carta geologica regionale indicate in precedenza sono evidenziate anche le principali instabilità di versante; queste sono state riportate anche nella carta in esame, integrate con quelle riportate negli elaborati del Piano Stralcio di Bacino per L'Assetto Idrogeologico del Fiume Tronto e con altre evidenziate direttamente durante il rilevamento *in loco*.

Si tratta di frane per scorrimento quasi sempre attive (o indefinite) che interessano i terreni di copertura.

Per quanto concerne le forme di superficie o sepolte la porzione occidentale del caseggiato di Castorano capoluogo necessita di particolare

attenzione in quanto nel sottosuolo è presente una serie di grotte e cunicoli che in tutti i centri di origine medioevale come quello in esame hanno ricoperto nel tempo diverse funzioni (nascondiglio, captazioni per acqua potabile, magazzini naturali per la conservazione dei prodotti alimentari, ecc.).

Attualmente molte di queste grotte sono franate o sono state parzialmente ostruite dai lavori di ristrutturazione degli edifici urbani, ma rimangono sempre pericolose e sedi di possibili cedimenti differenziali del terreno.

Essendo di fatto impossibile ricostruire l'andamento planimetrico di queste gallerie, tutta la zona sottostante la porzione ovest del centro storico di Castorano è stata indicata in carta come "area con cavità sepolte".

Le profonde incisioni del reticolo idrografico in prossimità del capoluogo sono caratterizzate dalla presenza di orli di scarpate morfologiche la cui altezza risulta essere compresa fra 10 m ÷ 20 m.

Nella zona di S. Silvestro si segnala un orlo di terrazzo alluvionale (II° ordine) la cui altezza è compresa fra 10 m ÷ 20 m

In carta sono poi riportate altre forme di superficie come le linee di cresta ed alcuni picchi isolati presenti all'interno delle aree oggetto di studio di livello 1.

Relativamente agli elementi tettonico - strutturali, come detto, dal rilevamento geologico effettuato in loco non si sono palesate le faglie riportate invece sulla carta geologica regionale.

Le aree che dovrebbero essere interessate da questi lineamenti tettonici, così come riportati nella carta geologica regionale, sono sempre risultate coltivate e mascherate da terreni di copertura che non hanno permesso l'individuazione delle strutture caratteristiche associate alle faglie quali scarpate, piani di scorrimento ecc.

Considerando che secondo l'ultima versione degli standard di rappresentazione e archiviazione informatica di microzonazione sismica (ver. 4.0b) in carta devono essere riportate solo le faglie attive e capaci o potenzialmente attive e capaci, tali lineamenti tettonici, del tutto incerti, non erano presenti in carta già negli elaborati di I° livello e, in accordo con il gruppo di supporto, non vengono riportate anche in questa successiva fase di approfondimento di III° livello.

Durante il rilevamento geologico delle aree sono state effettuate alcune misure della giacitura dei piani di strato della formazione argillosa stratificata e delle alternanze arenaceo - pelitiche; questi presentano un'immersione verso nord - est (N45°E) ed inclinazione generalmente inferiore a 20° (i valori misurati di immersione ed inclinazione sono riportati nello "*shapefile*" di riferimento del simbolo).

Sulla carta sono riportati anche elementi geologici ed idrogeologici rappresentati da tutti i sondaggi presenti nelle aree oggetto di studio, divisi fra quelli che hanno e che non hanno raggiunto il substrato geologico.

Sono infine riportate le tracce dei n°6 profili geologici editati su n°2 tavole specifiche (Capoluogo e S. Silvestro).

8.4. Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)

Questa carta tematica rappresenta la sintesi di tutti gli studi eseguiti sulle n°2 aree in cui è stato suddiviso il territorio comunale di Castorano nel I° livello di studio ed ha lo scopo di individuare qualitativamente le zone con comportamento omogeneo in prospettiva di un evento sismico.

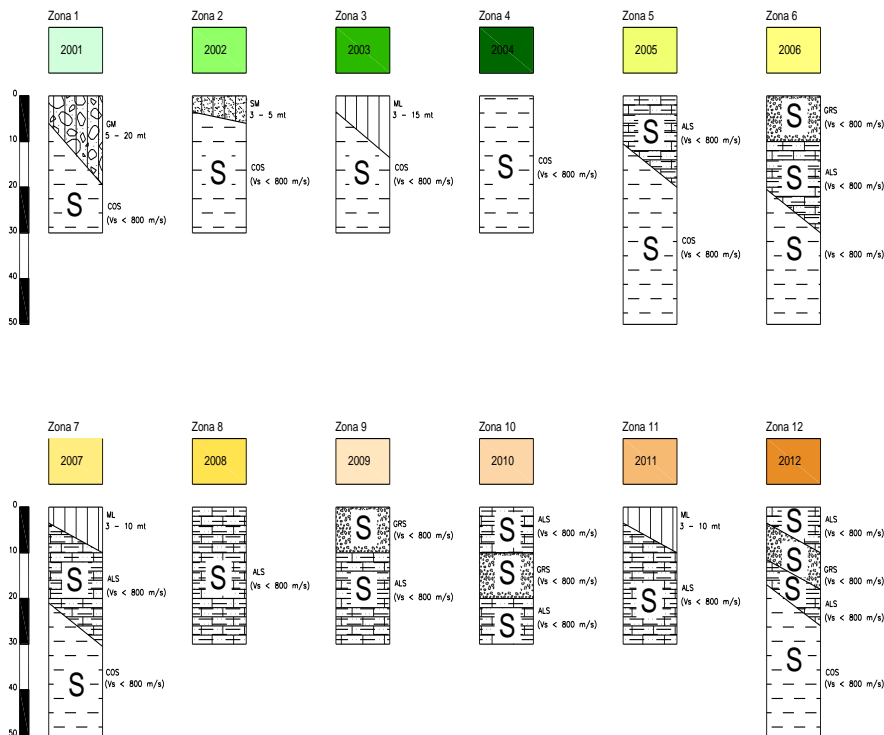
Lo schema procedurale per la redazione della carta in oggetto ha avuto come riferimento gli "ICMS" (ultimo aggiornamento) formulati dal Dipartimento della Protezione Civile, gli "Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica" (versione 4.0b) elaborati dalla Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica nell'ottobre 2015 ed il continuo e costruttivo confronto con il gruppo di supporto.

Sono state riclassificate tutte le zone individuate come stabili nello studio di primo livello in quanto dalle numerose indagini geofisiche eseguite all'interno del territorio in esame il substrato geologico, almeno fino alle profondità investigate (30,0 ÷ 35,0 m), è stato sempre caratterizzato da bassa rigidità ($V_s < 800$ m/s).

Per tale motivo, secondo gli "ICMS" ver. 4.0b (pag. 27), anche le litofacies del substrato geologico devono essere classificate come "zone stabili suscettibili di amplificazioni locali".

- Individuazione delle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali: sono derivate dalle unità litotecniche del substrato geologico e dei terreni di copertura individuate nella carta geologico - tecnica; nelle aree di I° livello sono state individuate n°12 zone indicate con numerazione progressiva da "2001" a "2012" e con colori differenti. Queste corrispondono alle diverse combinazioni di situazioni stratigrafiche riscontrate all'interno del territorio indagato.

ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI



LEGENDA

Terreni di copertura

- Ghiaie limose, miscela di ghiaia sabbia e limo (GM)
- Sabbie limose, miscela di sabbia e limo di origine alluvionale (SM)
- Limo inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi di bassa plasticità (ML)

Substrato geologico

- Substrato costituito da alternanze di litotipi stratificato (ALS)
- Substrato granulare cementato stratificato (GRS)
- Substrato coesivo sovraconsolidato stratificato (COS)

Figura 25 - Colonne rappresentative delle n°12 zone (vedi carta delle MOPS).

- Individuazione delle zone di attenzione per instabilità: corrispondono ai siti indicati come "instabilità di versante" nella carta geologico - tecnica; nelle aree oggetto di studio sono state indicate con questa terminologia tutte le tipologie di frane rilevate (scorrimento attivo e/o non definito). In questa classe è stato inserito anche la porzione ovest del centro storico di Castorano capoluogo per la presenza di cavità sotterranee le quali, a seguito di un evento sismico, possono dare origine a crolli e/o cedimenti differenziali.

In questa carta delle MOPS vengono anche riportate le forme di superficie e sepolte presenti all'interno delle aree in esame, già indicate nella carta geologico - tecnica.

Infine vengono riportati su questa carta i punti nei quali sono state eseguite misure HVSR di microtremore con strumentazione a stazione singola.

8.5. Carta di microzonazione sismica (MS) di livello 3

Dall'analisi numerica monodimensionale (1D) si sono ricavati gli spettri di risposta ed i fattori di amplificazione stratigrafica (FA) nei n°3 periodi di tempo previsti; questi hanno consentito l'elaborazione delle n°3 carte di microzonazione di livello 3.

È bene precisare che l'analisi ha riguardato solo le aree comprese all'interno del perimetro di livello 3 che comprende n°8 delle n°12 zone MOPS nelle quali è stato suddiviso il territorio comunale secondo il perimetro definito in sede di studio di livello 1.

Gli accelerogrammi calcolati in superficie, gli spettri di risposta ed i fattori di amplificazione stratigrafia per le n°8 zone MOPS sono stati ampiamente descritti nel capitolo 7 (vedi tabella 10 e grafici 1 - 8).

Di seguito viene proposta una tabella riassuntiva della categoria di sottosuolo secondo le NTC 2008 con indicazione della velocità delle onde "S" nei primi 30,0 m di profondità (cosiddetta $V_{s,30}$) per ognuna delle n°8 zone MOPS presenti all'interno del perimetro di III° livello.

Per il calcolo della $V_{s,30}$ si fa riferimento alle condizioni stratigrafiche definite in sede di calcolo degli spettri di risposta con il codice "STRATA", utilizzando la relazione prevista nelle NTC 2008

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

con:

h_i = spessore dello strato i esimo;

V_i = velocità delle onde "S" nello strato i esimo.

Zona MOPS	Vs,30	Categoria Sottosuolo (NTC 2008)
Zona 2003	313,0 m/s	C
Zona 2005	394,7 m/s	B
Zona 2006	395,7 m/s	B
Zona 2007	469,6 m/s	B
Zona 2008	416,0 m/s	B
Zona 2009	443,1 m/s	B
Zona 2010	309,7 m/s	C
Zona 2012	333,6 m/s	C

Tabella 14 - Valori di Vs,30 e categoria di sottosuolo secondo le NTC 2008 per le zone MOPS comprese nel perimetro di livello 3.

Sul lato ovest del centro urbano principale è presente una zona con cavità sotterranee, questa situazione può indurre un'amplificazione del moto sismico relativamente alla zona 2012 e zona 2008 presenti in quest'area.

8.6. Commenti finali e criticità

Dall'analisi dei dati riportati nelle carte descritte in precedenza si evince che non vi sono zone stabili così come definite dagli "ICMS" ver. 4.0b in quanto il substrato geologico dell'area presenta valori di rigidezza tali da non costituire basamento sismico ($V_s < 800$ m/s), almeno fino alle profondità investigate (30,0 ÷ 35,0 m).

Di conseguenza tutte le aree esaminate (ad eccezione di quelle instabili) rientrano nella classe di "zone stabili suscettibili di amplificazioni locali".

Le zone di attenzione per instabilità di versante risultano quasi sempre piuttosto limitate ed ubicate lontano dai centri urbani.

Per il capoluogo è importante segnalare che nella sua porzione ovest sono presenti una serie di cunicoli e grotte, con possibili crolli di queste cavità a seguito di eventi sismici, che ha portato ad indicare l'area come "Zona di Attenzione per cedimenti differenziali/crollo di cavità/*sinkhole*".

9. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI

La storia sismica di Castorano è riportata in "figura 2"; chiaramente, come detto, manca tutta la sequenza sismica iniziata il 26/08/2016 e tutt'ora in corso, che ha coinvolto il versante occidentale della catena dei Monti Sibillini e della Laga, generando sismi con massima magnitudo MW 6.5, registrata nella zona epicentrale.

In relazione a tali eventi sismici, con la legge n°229 del 15/12/2016, il territorio comunale di Castorano è stato inserito nel cosiddetto "cratere sismico".

Se la ricostruzione della distribuzione dei danni degli eventi passati risulta assai ardua in quanto, stante il tempo trascorso, non si hanno più evidenze degli stessi, il censimento di quelli prodotti dalla crisi sismica in atto è ancora in via di definizione.

Tuttavia si può tentare una correlazione fra le varie zone MOPS e la distribuzione dei danni di quest'ultimo sisma utilizzando l'applicativo "Erikus"

con il quale vengono georeferenziate le segnalazioni di danni agli edifici od alle attività produttive provenienti dalle schede "Fast" ed "AeDES".

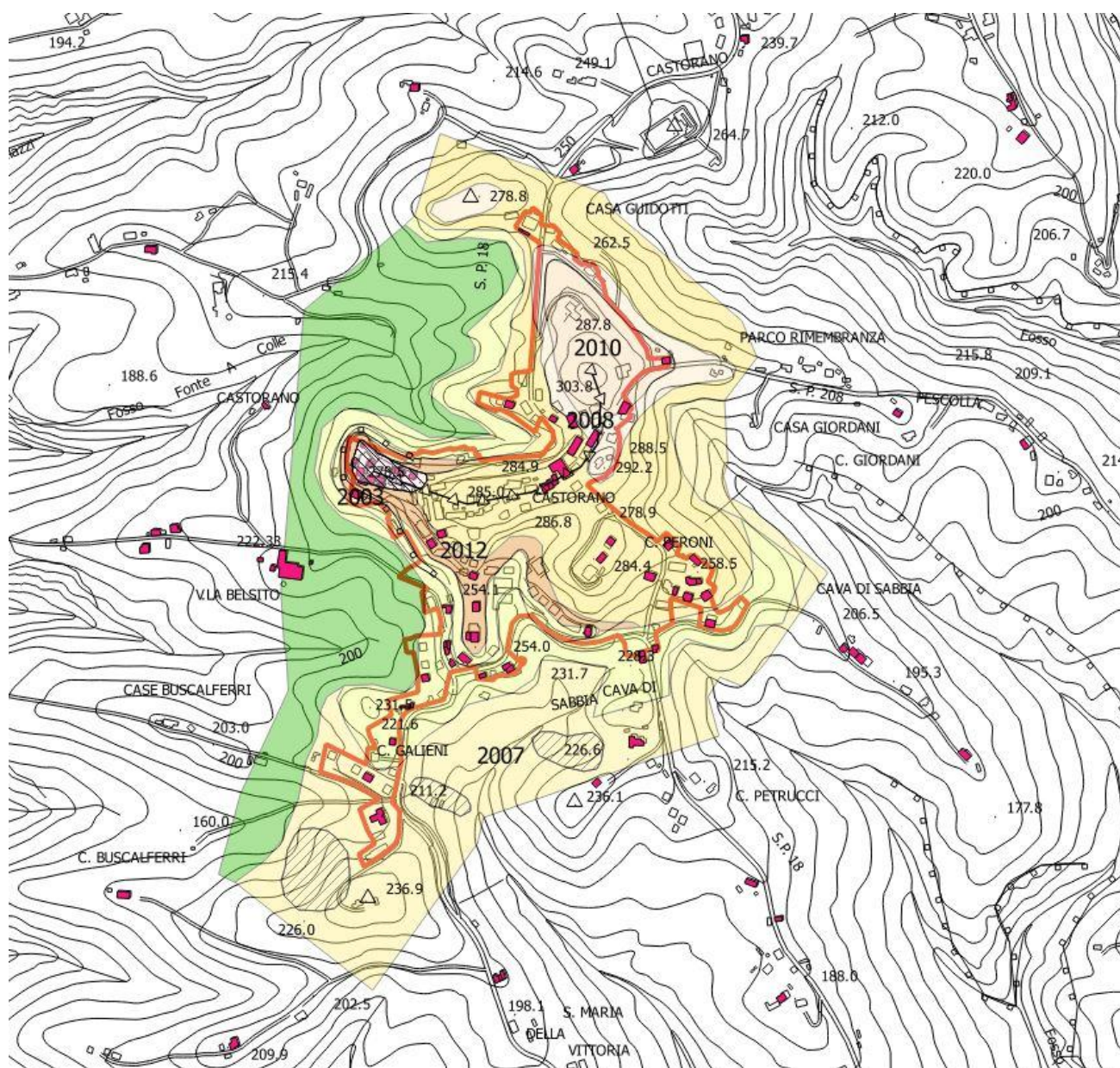
Quantunque, come detto, il censimento è ancora in corso e quindi la rilevazione dei danni risulta *"work in progress"* si posso fare alcune considerazioni circa la distribuzione dei danni.

Innanzitutto occorre precisare che la distribuzione delle segnalazioni dipende anche dalla densità degli edifici e che quindi nelle zone urbane del territorio comunale queste risultano più concentrate per la presenza di un maggior numero di edifici.

In rapporto alla sua estensione, relativamente al perimetro di livello 3 si evidenziano il maggior numero di segnalazioni all'interno della MOPS 2012 che comprende anche una zona di attenzione per la presenza di cavità soggette a possibili cedimenti differenziali.

Diverse segnalazioni di edifici danneggiati si rilevano anche nelle zone contigue (2006, 2007 e 2008) ed in generale risultano piuttosto diffusi all'interno del centro abitato di Castorano (vedi figura 26).

Più interessante risulta la correlazione fra edifici con segnalazione di danni e fattori di amplificazione; sovrapponendo detti edifici con le carte di MS relative ai n°3 intervalli di tempo si nota come la concentrazione maggiore degli edifici che hanno riportato danni sia correlabile alle aree con FA più elevato (vedi figure n°27 - 28 - 29).



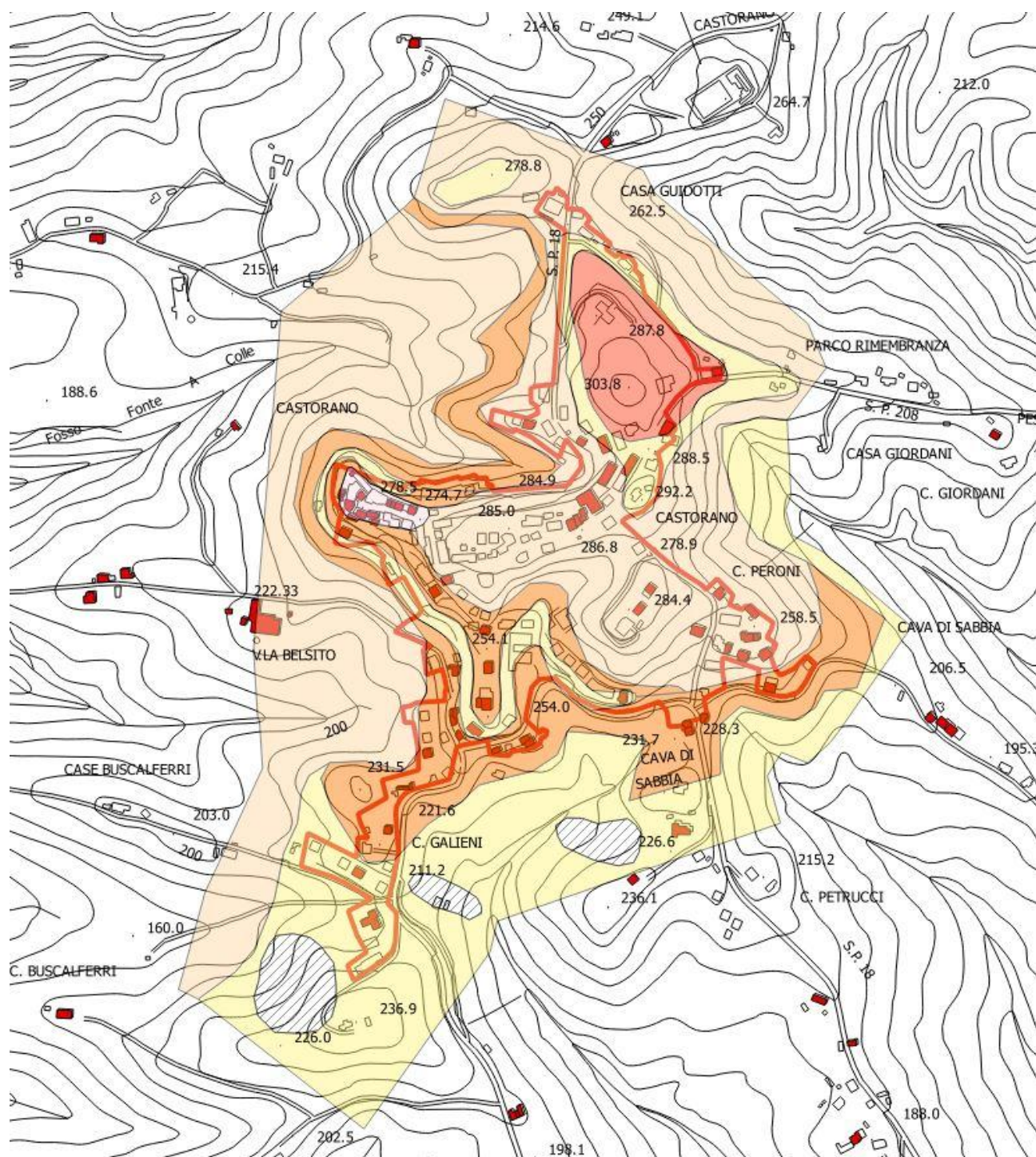


Figura 27 - Distribuzione degli edifici con segnalazione di danni (in rosso) in relazione ai fattori di amplificazione nell'intervallo 0.1 - 0.5 s presenti all'interno del perimetro di livello 3 (per la legenda si veda la carta di MS FA 0.1-0.5).

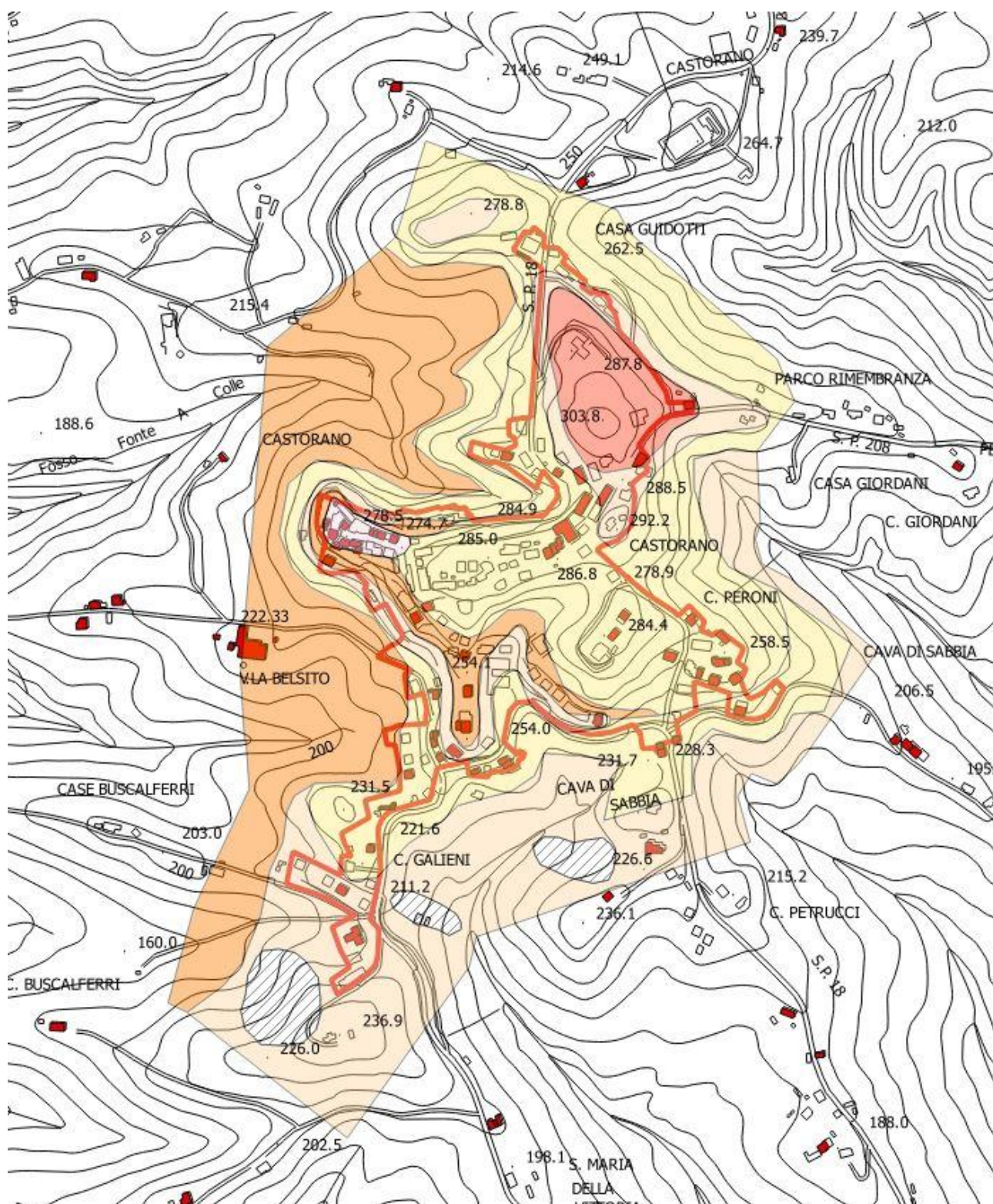


Figura 28 - Distribuzione degli edifici con segnalazione di danni (in rosso) in relazione ai fattori di amplificazione nell'intervallo 0.4 - 0.8 s presenti all'interno del perimetro di livello 3 (per la legenda si veda la carta di MS FA 0.4-0.8).

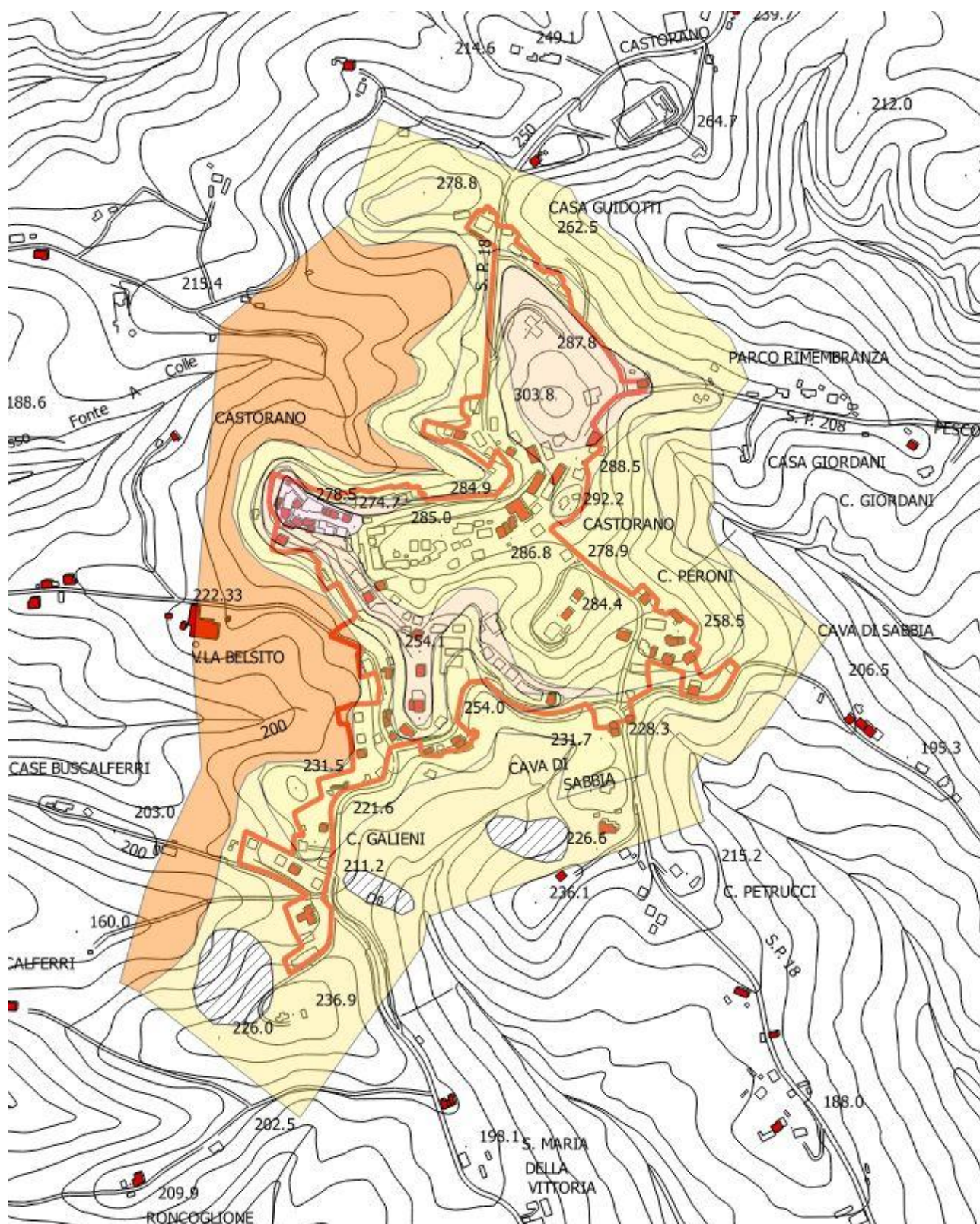


Figura 29 - Distribuzione degli edifici con segnalazione di danni (in rosso) in relazione ai fattori di amplificazione nell'intervallo 0.7 - 1.1 s presenti all'interno del perimetro di livello 3 (per la legenda si veda la carta di MS FA 0.7-1.1).

In conclusione quindi si può affermare che, quantunque parziali, i dati relativi alle segnalazioni di danneggiamenti degli edifici adibiti ad abitazione o ad attività produttiva ricavati dalle schede "FAST" sono piuttosto diffusi nell'area oggetto di studio.

La distribuzione di tali edifici evidenzia una maggiore concentrazione nelle aree caratterizzate da valori del fattore di amplificazione stratigrafica più elevato nei n°3 periodi di valutazione di tale fattore.

Naturalmente un confronto dettagliato fra la distribuzione dei danni e le risultanze del presente studio potrà essere effettuato in modo analitico solo dopo il censimento di tutte le strutture danneggiate dal sisma del 26/08/2016 e seguenti, correlando anche gli eventuali livelli di danno con le zone MOPS individuate ed i relativi Fattori di Amplificazione stratigrafica.

10. BIBLIOGRAFIA

- AUTORI VARI - Studi a carattere geologico riguardante il territorio comunale di Castorano messi a disposizione dall'Amministrazione Comunale.
- ING. CRESCENZI E. - GEOLOGO MANCINI G. - Piano Regolatore Generale in adeguamento al PPAR ed al PTC - Amministrazione Comunale, 02/04/2008
- REGIONE MARCHE Giunta Regionale Assessorato Urbanistica, Ambiente, Ecologia, Programmazione – L'ambiente Fisico delle Marche edit. S.E.L.C.A. Firenze.
- REGIONE MARCHE Posizione di Funzione Urbanistica, Paesaggio ed Informazioni Territoriali - Carta Geologica Regionale edizione CTR, sezioni n°327050, 327060, 327090 e 327100.
- GIT - Offida 2008 Geologia e Geomorfologia del settore fermano del bacino Periadriatico Marchigiano-Abruzzese - guida all'escursione del 5 giugno 2008 a cura di Centamore E., Farabollini P. e Angelini S.
- DISTRETTO IDROGRAFICO DELL'APPENNINO CENTRALE (Ex Autorità di Bacino Interregionale del Fiume Tronto) - Piano stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico del Fiume Tronto - Approvato con Deliberazione del Comitato Istituzionale n°3 del 07/06/2007.
- Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi: <http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>.

- OPCM 3274/2003, Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274/2003 - “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”. G.U. n. 155, 08/05/2003, suppl. ord. N°72.
- INGV, Gruppo di Lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza PCM 20.03.03 n. 3274) - Zonazione sismogenetica ZS9.
- INGV - Database of Individual Seismogenic Sources (DISS) versione 3.2.0, 30-06-2015.
- INGV - Observatories European strong motion database Research Facilities for European Seismology. doi: 10.13127/ESM - <http://esm.mi.ingv.it>.
Luzi L, Puglia R, Russo E Working Group ESM (2015) ORFEUS WG5 (2016). Engineering Strong Motion Database, version 1.0.
- “REXELite”- Iervolino I., Galasso C., Paolucci R., Pacor F. (2011), Engineering ground motion record selection in the ITalian ACcelerometric Archive - Bulletin of Earthquake Engineering 9(6):1761-1778, DOI: 10.1007/s10518-011-9300-4.
- Dipartimento della Protezione Civile e Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome - Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica Editore dal Dipartimento della Protezione Civile, anno 2008 (ICMS 2008).
- AUTORI VARI - Contributi per l'aggiornamento degli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica", Editore Pàtron, anno 2011.
- COMMISSIONE TECNICA PER LA MICROZONAZIONE SISMICA (Art. 5, comma 7 dell'OPCM 13-11-2010, n°3907) - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica di microzonazione sismica, versione 4.0b, Roma ottobre 2015.

- COMMISSIONE TECNICA PER LA MICROZONAZIONE SISMICA (Art. 5, comma 7 dell'OPCM 13-11-2010, n°3907) - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica di microzonazione sismica, "SoftMS" manuale del software per l'inserimento dei dati versione 4.0.1, Roma novembre 2015.
- Presidenza del Consiglio dei Ministri, Commissario del Governo per la ricostruzione nei territori interessati dal sisma del 24 agosto 2016 - Ordinanza n°24 del 12 maggio 2017, registrata il 15 maggio 2017 al n°1065.
- Centro MS, ISPRA, Politecnico di Torino et Alti - Supporto e coordinamento tecnico scientifico per le attività di microzonazione sismica dei territori colpiti dagli eventi sismici a far data dal 24 agosto 2016 - Corso di Formazione UOT Marche 3.

Allegati:

- Schede catalogazione indagini puntuali e lineari da SoftMS v. 4.0.1 (files: "CdI_Tabelle; Schede_indagini.pdf e cartaceo);
- Carta delle indagini - scala 1:5.000 (files: Carta_Indagini_Capoluogo.pdf; Carta_Indagini_S.Silvestro.pdf e n°2 tavole cartacee);
- Carta delle frequenze naturali dei terreni - scala 1:5.000 (file: Carta_delle_Frequenze.pdf e tavola cartacea);
- Carta geologico - tecnica per la MS (CGT_MS) - scala 1:5.000 (files: Carta_Geologico_Tecnica_Capoluogo.pdf; Carta_Geologico_Tecnica_S.Silvestro.pdf e n°2 tavole cartacee);
- Tavola profili geologico - tecnici - scala 1:2.000 (files: Profili_Geologico_Tecnici_Capoluogo.pdf; Profili_Geologico_Tecnici_S.Silvestro.pdf e n°2 tavole cartacee);
- Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) - scala 1:5.000 (files: Carta_MOPS_Capoluogo.pdf; Carta_MOPS_S.Silvestro.pdf e n°2 tavole cartacee);
- Carte di Microzonazione Sismica (MS) di livello 3 - scala 1:5.000 (files: Carta_MS_FA_01_05.pdf; Carta_MS_FA_04_08.pdf; Carta_MS_FA_07_1.1.pdf e n°3 tavole cartacee);
- Accelerogrammi calcolati in superficie (files cartella: Indagini/Documenti/Accelerogrammi);
- Spettri di risposta in accelerazione (files cartella: MS23/Spettri).