



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n.77

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa

scala 1:10.000

Regione Emilia-Romagna

Comune di Castell'Arquato



Regione	Soggetto realizzatore	Data
	Dott. Geol. Gianluca Raineri Collaboratori: Dott. Geol. Marco Baldi Dott. Geol. Gianluca Cantarelli Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Gian Marco Veneziani	Dicembre 2018

INDICE

1 - PREMESSA	3
MICROZONAZIONE SIMICA DI LIVELLO 1	
2 - SINTESI GEOSTRUTTURALE E ASSETTO SISMOTETTONICO DI RIFERIMENTO	7
3 - CONTESTO SIMOGENETICO E PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE	15
3.1 - UNA NUOVA PROPOSTA DI ZONAZIONE SIMOGENETICA	17
3.2 - ZONAZIONE SIMOGENETICA DELL'AREA ARQUATESE	18
3.3 - STORIA SISMICA	20
3.4 - CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO COMUNALE	23
3.5 - AZIONE SISMICA E PERICOLOSITÀ SISMICA	24
4 - ASSETTO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO IN AMBITO COMUNALE	30
5 - ASSETTO GEOMORFOLOGICO	36
6 - FENOMENI DI DISSESTO	37
6.1 - DISSESTI GRAVITATIVI ATTIVI	39
6.2 - DISSESTI GRAVITATIVI QUIESCENTI	40
6.3 - DISSESTI POTENZIALI	41
7 - DATI GEOTECNICI E GEOFISICI	42
7.1 - BANCA DATI REGIONALE E COMUNALE	46
7.2 - INDAGINI SISMICHE E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	42
8 - MODELLO GEOLOGICO DEL SUBSTRATO	44
9 - INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE	45
10 - ELABORATI CARTOGRAFICI E RISULTATI	46
10.1 - CARTA DELLE INDAGINI	46
10.2 - CARTA GEOLOGICO-TECNICA PER LA MICROZONAZIONE SISMICA	46
10.3 - CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI DEI TERRENI	51
10.4 - CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA	55
MICROZONAZIONE SIMICA DI LIVELLO 2	
11 - APPROFONDIMENTO DI LIVELLO 2	69
11.1 - ELABORAZIONE DATI SISMICI	69
11.2 - CARTA DELLE VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO S	71
11.3 - CARTE DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE (CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA)	72
12 - COMMENTI FINALI, INCERTEZZE E CRITICITÀ	75
13 - ELABORATI CARTOGRAFICI	77



1 – PREMESSA

Su incarico del Comune di Castell'Arquato (Det. Dirig.le n°234 del 23.12.2017) e d'intesa con il Dirigente dell'Ufficio Tecnico lo scrivente ha redatto la presente Relazione Illustrativa a compendio dello studio di Microzonazione Sismica di livello 2 condotto sul territorio comunale e finanziato con contributi derivanti dall'Ordinanza del Capo del Dipartimento della Protezione Civile n.52 del 20/02/2013 *"Attuazione dell'art. 11 del Decreto Legge 28 aprile 2009 n.39, convertito, con modificazioni, dalla Legge 24 giugno 2009, n.77"* e assegnati dalla DGR del 16 dicembre 2013 n.1919 *"Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione dei contributi di cui all'OCDPC n.52/2013 a favore degli enti locali"*.

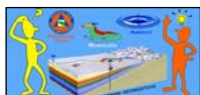
Come noto gli studi di Microzonazione Sismica (MS) hanno come obiettivo prioritario quello di incrementare le conoscenze e di migliorare le nozioni sul potenziale comportamento di un territorio sottoposto a sollecitazione sismica, ed in particolare sulle modificazioni e sui possibili incrementi che le onde sismiche subiscono approssimandosi alla superficie, onde fornire specifiche indicazioni da recepirsi in fase di pianificazione e programmazione territoriale, oltre che di nuove progettazioni o di recupero/ristrutturazione di manufatti esistenti, con l'intento di coadiuvare e di calibrare tecniche e strategie d'intervento mirate a ridurre il Rischio Sismico.

La Microzonazione Sismica consente infatti di suddividere il territorio in aree con caratteristiche litostratigrafiche, geomorfologiche e fisiografiche ritenute "omogenee" (in relazione ai dati via via disponibili) e quindi potenzialmente capaci di esprimere analoga "risposta sismica" (amplificazione dello scuotimento, instabilità gravitativa, fenomeni di liquefazione, deformazioni e fessurazioni ecc...) in caso di terremoto.

Tale partizione territoriale, per quanto ricalibrabile nel tempo in funzione di nuove conoscenze, è ad oggi un'indispensabile strumento di classificazione territoriale che, se opportunamente integrato con le indicazioni derivanti dal Piano di Protezione Civile Comunale, costituisce il substrato cognitivo su cui impostare una più attenta pianificazione urbanistica ed una programmazione territoriale "di prevenzione" tesa ad indirizzare le scelte di trasformazione verso le aree a minore pericolosità.

Il Comune di Castell'Arquato è dotato di un'analisi preliminare di *"Microzonazione Sismica"* elaborata dallo scrivente nell'ambito della variante 2013 al PSC e riferita alla D.A.L. E-R n.112/2007 *"Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica"*. Tale analisi non venne estesa all'intero territorio comunale, ma fu limitata a quegli areali che ricomprendevano gli ambiti di trasformazione urbanistica previsti nel PSC.

Partendo da tale base informativa, nel corso del presente studio si è pervenuti ad un secondo livello di approfondimento esteso anche ad altre aree del territorio comunale, implementando ed aggiornando le conoscenze pregresse mediante l'esecuzione di una nuova campagna d'indagini sismiche, costituita da n° 29 prove tromografiche e n° 4 MASW, e l'acquisizione di ulteriori dati geognostici reperiti sia presso l'archivio dell'Ufficio Tecnico comunale che nei database regionali.



Le attività di ricerca, acquisizione ed implementazione dati oltre che la predisposizione degli elaborati prodotti nell'ambito del presente studio, sono stati condotti in ottemperanza delle direttive in materia richiamate dalla DGR n.2193/2015 nonché delle normative oggi vigenti e delle rispettive disposizioni attuative oltre che dei software e delle strutture di archiviazione predisposte dalla Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica; i documenti di riferimento sono:

- *DGR 16 dicembre 2013 n.1919 "Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione dei contributi di cui all'OCDPC n.52/2013 a favore degli enti locali" e relativi allegati tecnici.*
- *Allegato C "Criteri per la realizzazione degli studi di microzonazione sismica, di cui all'Ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 52/2013 e Decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile del 15 aprile 2013"*
- *"Microzonazione sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica" - Versione 4.0b dell'ottobre 2015 - Approvato dalla Commissione tecnica per la microzonazione sismica, nominata con DPCM 21-04-2011 (di seguito "SRAI");*
- *"Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome e successive modifiche e integrazioni (di seguito "ICMS");*
- *Allegato A della D.G.R. 21 dicembre 2015, n. 2193: "Art.16 della L.R. n.20 del 24/3/2000. Approvazione aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica", di cui alla deliberazione dell'Assemblea legislativa 2 maggio 2007, n. 112".*

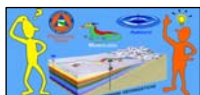
In ottemperanza ai riferimenti tecnici di cui sopra, lo studio è stato articolato in due distinti livelli di approfondimento:

LIVELLO 1, pedepedeutico, deputato a:

- definire il modello geologico di base per la microzonazione sismica (assetto tettonico di riferimento, contesto geologico locale, successioni lito-stratigrafiche e loro rapporti geometrici);
- individuare le aree potenzialmente più favorevoli allo sviluppo di "effetti locali" e/o più suscettibili ad essi, in cui eseguire specifiche indagini di microzonazione sismica;
- "definire" il tipo di effetti potenzialmente attesi;
- indicare, per le aree in esame, il livello di approfondimento necessario.

LIVELLO 2, mirato a :

- verificare/confermare le condizioni di pericolosità ipotizzate nell'analisi di primo livello ed eventualmente rivedere la perimetrazione delle aree oggetto di microzonazione sismica;
- suddividere il territorio, in base all'amplificazione attesa, in aree "omogenee" potenzialmente soggette ad una minore o ad un maggiore pericolosità sismica;
- verificare la necessità di approfondimenti di terzo livello per peculiari aree e, nel caso, indicare le indagini e le analisi da effettuare.



Le aree oggetto di MS corrispondono ad una superficie di circa 663 Ha, pari a circa il 12,6% del territorio comunale, in cui risiede la maggior parte dei residenti del Comune di Castell'Arquato.

Per l'inserimento e l'archiviazione dei dati alfanumerici dei siti, delle indagini e dei relativi parametri si è utilizzato il software "*MS – SoftMS versione 4.0.1*" mentre per l'editing dei documenti si sono seguiti gli standard di riferimento riportati nell'Allegato D della delibera regionale e dagli SRAI (Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica).

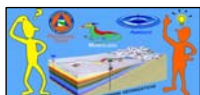
I dati cartografici sono stati organizzati e rappresentati in formato vettoriale (shapefile), gli elaborati sono stati prodotti sia in versione cartacea che digitale (pdf) con risoluzione di 300 dpi.

Per l'implementazione e l'archiviazione dei dati relativi alle analisi alle CLE si è fatto riferimento agli "*Standard di rappresentazione e archiviazione informatica dell'analisi della CLE*" ed in particolare a:

- *Strutture di archiviazione MS e CLE (versione 4.0, Shapefile)*
- *SoftCLE, versione 3.0.2, software per la compilazione delle schede CLE.*
- *SoftMS, versione 4.0, software per la compilazione delle tabelle per la Carta delle Indagini*



MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 1



2 - SINTESI GEOSTRUTTURALE E ASSETTO SISMOTETTONICO DI RIFERIMENTO

La pianura emiliano-romagnola deriva dal riempimento del "*Bacino Perisuturale Padano*", una vasta depressione oggi delimitata dai rilievi appenninici ed alpini che è stata gradualmente colmata nell'arco degli ultimi 6 milioni di anni, cioè tra il tardo Miocene e l'Olocene, da depositi di origine marina e fluvio-alluvionale. La conformazione del *Bacino Padano* trae origine dalla geodinamica eminentemente compressiva che a partire proprio dal Miocene superiore ha portato alla definitiva strutturazione ed emersione dell'Appennino settentrionale, secondo un modello generale a "falde sovrapposte ed embrici NE vergenti" (Pieri & Groppi, 1982), ed alla sua unione con la catena alpina, con conseguente delimitazione di una vasta area depressa di "avanfossa" oggi identificabile con il Bacino Padano.

L'odierno assetto geostrutturale è quindi riferibile al raccorciamento del margine appenninico e dell'antistante avanfossa ed è una conseguenza della genesi di quelle deformazioni plicative a vergenza appenninica (anticlinali e sinclinali talora fagliate e parzialmente sovrascorse) che coinvolgono le unità pre-quadernarie e che sono rilevabili sia in affioramento che nel sottosuolo, ove i tracciati sismici indicano l'esistenza di un fronte appenninico sepolto che sovrascorre verso nord sulla piattaforma padano-veneta (Boccaletti et al., 2004).

Pur essendo "ambienti geomorfologici" essenzialmente diversi, l'Appennino settentrionale, il margine appenninico-padano e la pianura padana condividono in realtà un comune assetto strutturale che dal crinale appenninico si spinge verso nord immergendosi al di sotto dei sedimenti quadernari padani, ove origina dorsali sepolte note in letteratura come "*Pieghe Emiliane e Ferraresi*" (Pieri e Groppi, 1981). Il vero fronte appenninico è quindi identificabile con i fronti degli accavallamenti sepolti che sovrascorrono sulla piattaforma padano-veneta e che sono oggi ubicati in prossimità della zona assiale del bacino, ove scorre il fiume Po.

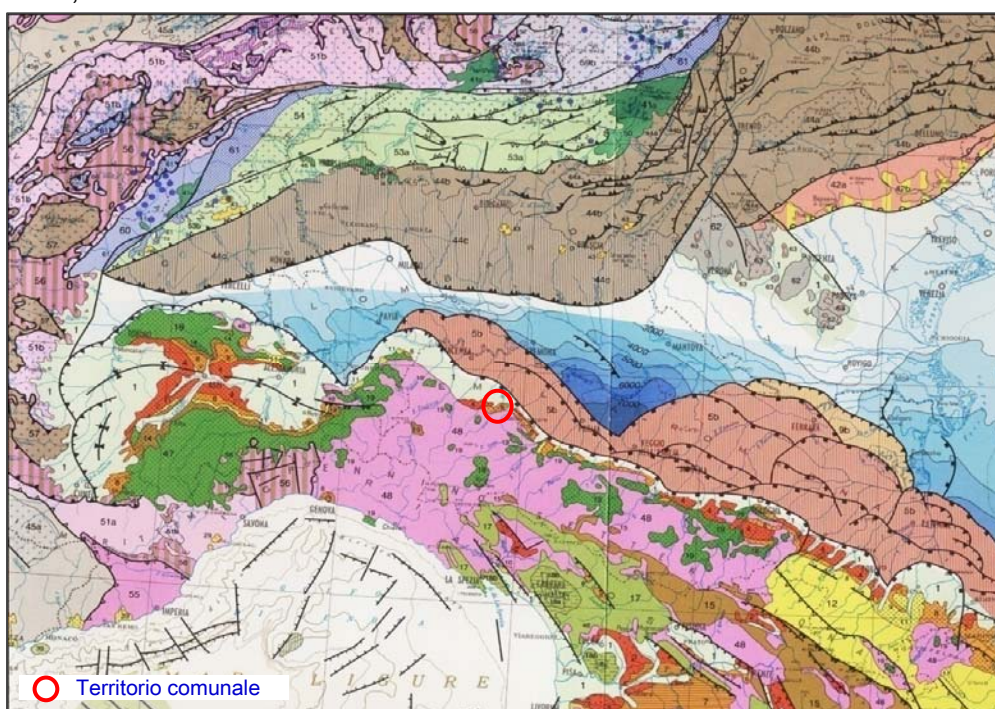
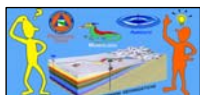


FIG. 1 - CARTA STRUTTURALE D'INSIEME DEL BACINO PADANO
Tratta da "Synthetic Structural-Kinematic Map of Italy



L'Appennino settentrionale è dunque una catena a thrust Nord-Est vergenti, pertinente al "sistema alpino", formatasi per lo più a spese della microplacca Adriatica compressa tra la placca Africana e la placca Euroasiatica (Mantovani et al., 2009). I movimenti orizzontali registrati dalle stazioni GPS (Serpelloni et al., 2006; Devoti et al., 2011; Cenni et al., 2012; Bennet et al., 2012) indicano tutt'ora movimenti preferenziali verso N-NE riconducibili a tre principali insiemi di velocità orizzontale, sulla base delle quali l'Appennino settentrionale è stato recentemente suddiviso in tre fasce parallele all'asse della catena (Viti et al., 2015):

- una fascia settentrionale ("esterna") comprendente i fronti padani sepolti (Pieri e Groppi, 1981), il fronte pedeappenninico (Boccaletti et al., 1985) ed il basso Appennino emiliano-romagnolo, caratterizzata da velocità di traslazione verso N-NE dell'ordine $2\div 6$ mm/anno;
- una fascia settentrionale centrale e orientale, identificabile con la zona assiale della catena e comprendente l'alto Appennino (tosco-emiliano e toso-romagnolo) ed i bacini intermontani toscani, in cui si registrano velocità di traslazione verso N-NE di circa $1\div 3$ mm/anno;
- una fascia meridionale ("interna"), corrispondente alla zona ligure-tirrenica, caratterizzata da velocità di traslazione minime di $0,5\div 2$ mm/anno in direzione E-ENE, in area ligure, e in direzioni variabili tra NW e NE in area tirrenica.

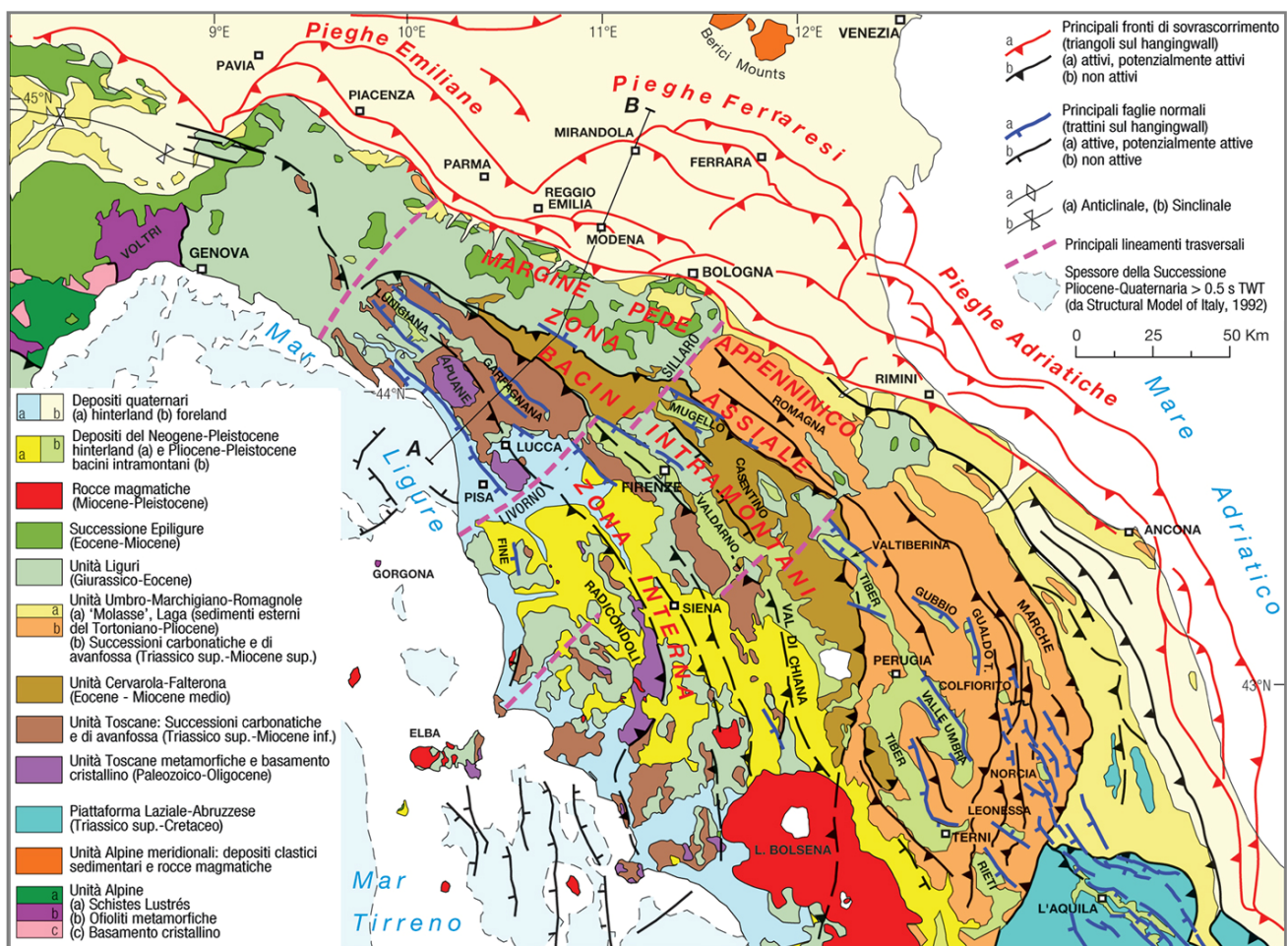


FIG. 2 - SCHEMA TETTONICO DELL'APPENNINO SETTENTRIONALE E DELLA PIANURA PADANA

Tratta da "Note illustrative della Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna....."



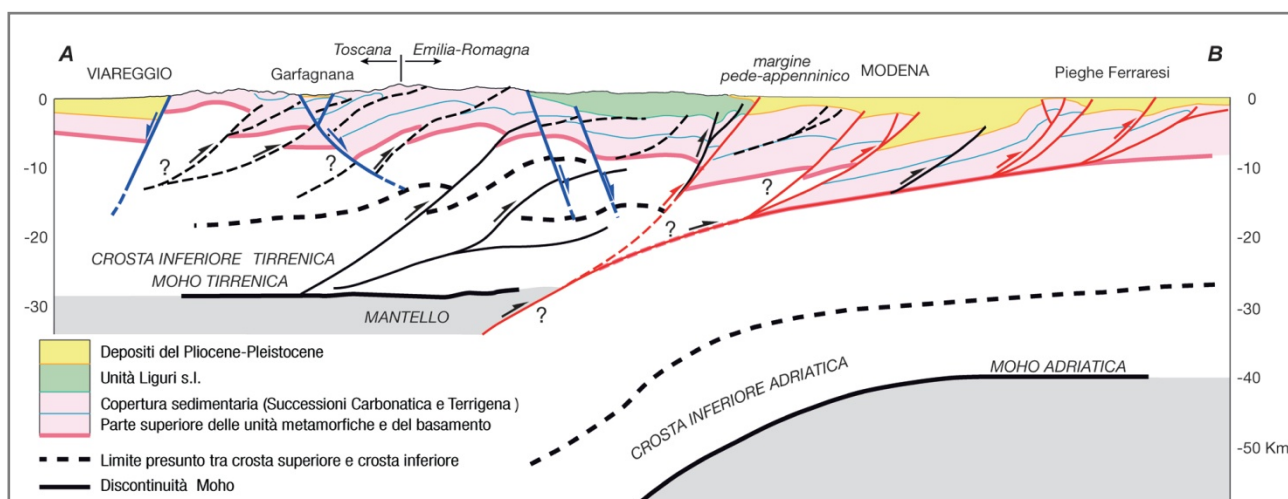


FIG. 3 - SEZIONE INTERPRETATIVA DELL' APPENNINO SETTENTRIONALE E DELLA PIANURA PADANA
Tratta da "Note illustrative della Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna....."

Da un punto di vista strettamente genetico, l'Appennino settentrionale è oggi identificabile come un insieme di unità tettoniche impilate l'una sopra all'altra e riferibili a due Domini principali:

- 1) il **Dominio Ligure**, depostosi direttamente su crosta oceanica (Liguridi s.l., Auctt.) e strutturatosi tra il Cretacico e l'Eocene attraverso diverse fasi tettoniche concomitanti con la subduzione della litosfera oceanica sotto l'Adria (Boccaletti et al., 1971; Boccaletti e Guazzone, 1974), con la chiusura dell'Oceano Ligure-Piemontese e con la conseguente formazione della catena alpina Europa-vergente (Boccaletti e Guazzone, 1970);
- 2) il **Dominio Tosco-Umbro-Marchigiano** formatosi, a partire dal Triass, con la deposizione di potenti successioni sedimentarie sul margine continentale della placca Adriatica.

Gli studi ad oggi condotti da diversi autori datano all'Oligocene superiore (circa 25 M.a. fa) le prime fasi di formazione dell'Appennino settentrionale attuatesi mediante un processo di "deformazione continentale polifasica" che ha interessato la placca Adriatica e la sua copertura sedimentaria.

Nell'ambito di tale processo, si possono individuare due principali eventi compressivi eterocroni:

- uno "stadio collisionale", protrattosi per circa 20 M.a (dall'Oligocene sup. al Pliocene inf.), che attraverso un sistema di avansassa migrante verso Est, in cui confluiscono prevalentemente i sedimenti di "origine alpina" che oggi compongono le principali unità marnoso-arenacee (Macigno, Cervarola, Marnoso-Arenacea, Laga), porta alla completa strutturazione della catena appenninica settentrionale. Nel corso di questo lungo e complesso stadio si verificano anche marcate riattivazioni di porzioni interne alla catena che coinvolgono strutture preesistenti o ne generano altre nuove, anche caratterizzate da trend decisamente diversi dalle precedenti (Boccaletti e Sani, 1998), dando luogo a complesse deformazioni oggi giustificabili solo ammettendo che ai processi di sovrascorrimento si siano affiancati fenomeni di trascorrenza lungo l'asse della catena (stadio post-collisionale).



Nel corso del Tortoniano in particolare, all'interno della catena si sviluppano una serie di bacini di tipo *thrust-top basin*, connessi al riattivarsi di sovrascorrimenti della copertura e/o alla attivazione di nuovi sovrascorrimenti nel basamento (Boccaletti et al., 1995, 1997; Finetti et al., 2001), delimitati da faglie normali ad essi associate che sono tuttora potenzialmente sismogeniche (Piccardi et al., 1997; Sani et al., 2009; Di Naccio et al., 2013).

- uno "stadio di jumping" con un marcato avanzamento del fronte compressivo che, a partire dal Piacenziano (Pliocene sup.), coinvolge il fronte della catena ed il suo settore esterno modificandone la struttura al punto da provocare anche un mutamento tipologico dei sedimenti che colmano le avanfosse, ora di tipo "molassico" con apporto prevalentemente appenninico (Sabbie di Asti, sensu AGIP 1982, ecc...).

Come già accennato, il fronte appenninico è identificabile con i fronti degli accavallamenti sepolti che sovrascorrono sulla piattaforma padano-veneta che sono oggi ubicati in prossimità della zona assiale del bacino, ove scorre il fiume Po. Tale fronte è caratterizzato da un andamento NW-SE (parallelo alla catena emersa) ed è composto da quattro archi strutturali di accavallamento, simmetrici e tra loro simili, rispettivamente detti "*Arco del Monferrato*", "*Arco delle Pieghe Emiliano-Romagnole*", "*Arco delle Pieghe Ferraresi*" e "*Arco Adriatico*"; ogni arco è costituito da gruppi di anticlinali separati da ampie zone sinclinaliche fortemente subsidenti in cui si riconoscono piani di scollamento e accavallamento (*thrusts*) per lo più vergenti verso SO con inclinazioni $20^{\circ} < i < 30^{\circ}$.

I settori occidentali di questi archi sono interessati da sovrascorrimenti Ovest-vergenti mentre nei settori orientali si notano insiemi Nord-Est vergenti di pieghe e faglie inverse ad alto angolo e profondamente radicate (Costa, 2003).

L'insieme più meridionale, noto in letteratura come "*Fronte di Sovrascorrimento Pedeappenninico*" (*Pedeappenninic Thrust Front* o PTF), permette la sovrapposizione delle Liguridi ai complessi sedimentari dell'Avanfossa Padana e coincide con il margine morfologico della catena appenninica. Esso è caratterizzato da lineamenti trasversali di discontinuità strutturale con probabili movimenti trascorrenti che delimitano settori a diverso comportamento tettonico-sedimentario lungo i quali si sono impostati i principali corsi d'acqua emiliani.

L'insieme più settentrionale, noto come "*Fronte di Sovrascorrimento Esterno*" (*External Thrust Front*, ETF), coincide con l'allineamento Cremona-Parma-Reggio Emilia ed è parte integrante delle "*Pieghe Emiliane*", cioè di quell'arco di accavallamenti sepolti costituito da "*thrust ciechi ed arcuati in pianta*" interessati da discontinuità trasversali con probabili movimenti trascorrenti, tutt'ora attivi come documentato dai recenti sismi, che dall'Appennino vogherese si estendono sino alla linea del Sillaro.

In considerazione della sua ubicazione, l'area in esame può essere suscettibile sia agli eventi che possono svilupparsi in concomitanza del PTF che dell'ETF.

Come visibile nelle seguenti cartografie, gli studi ad oggi condotti documentano l'esistenza di pochi elementi lineari di discontinuità nel territorio arquatese tra cui, nel settore Sud, un fronte di sovrascorrimento ad andamento appenninico ed età Plio-Pleistocenica che pare sia stato attivo in un



arco di tempo compreso tra 4,5 e 1,0 milioni di anni fa, oltre ad alcune faglie di età incerta e di non chiara rilevanza ancora attive sino al Pleistocene inferiore, oggi visibili nella successione Pleistocenica del torrente Arda a valle del ponte di Castell'Arquato.

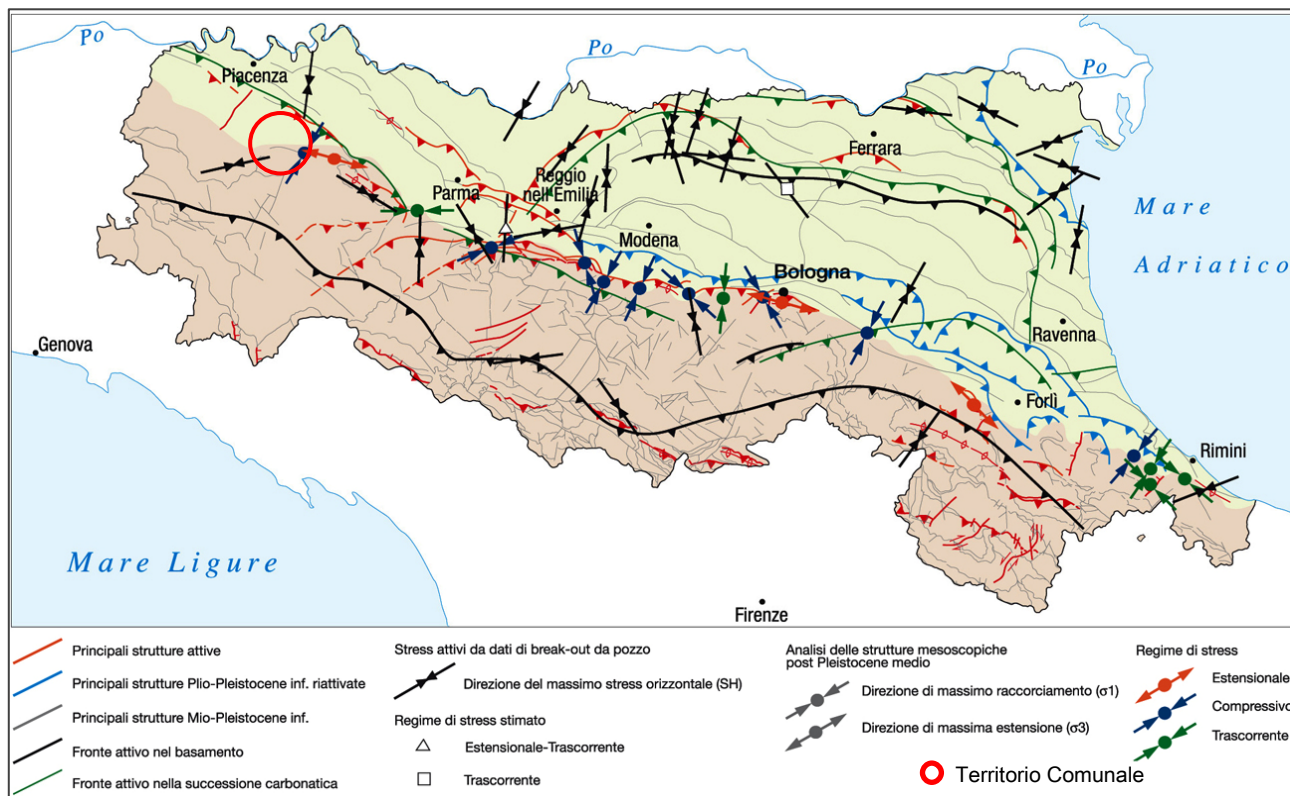


FIG. 4 - PRINCIPALI CAMPI DI PALEOSTRESS E DI STRESS ATTUALI

Tratta da "Note Illustrative alla Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna edizione 2004"

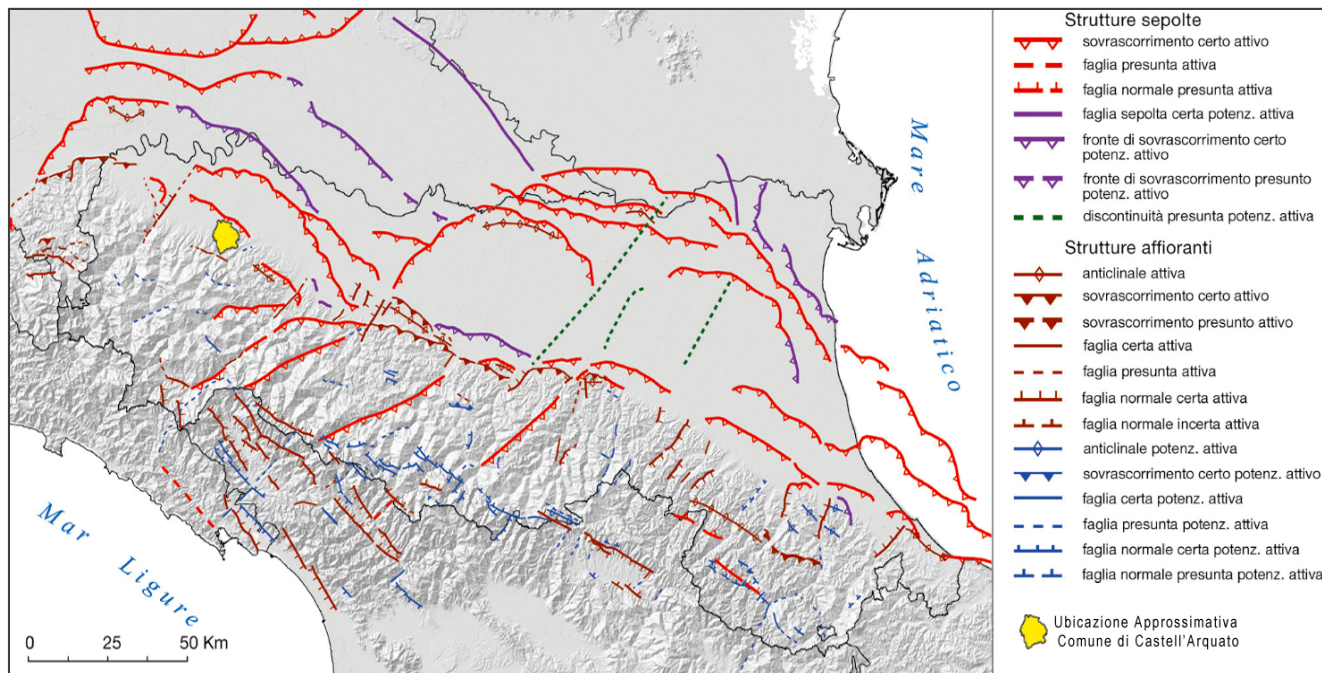
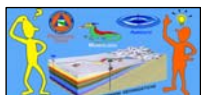


FIG. 5 - SINTESI DELLE STRUTTURE TETTONICHE ATTIVE E POTENZIALMENTE ATTIVE RICONOSCIUTE

Tratto da "Note illustrative della Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna..." Ediz. 2016"



Un quadro sismotettonico d'insieme dell'area arquatese è riscontrabile anche sulla "Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna ed Aree Limitrofe" (ed. 2017) della quale si riporta il seguente stralcio con indicata l'estensione del territorio comunale.

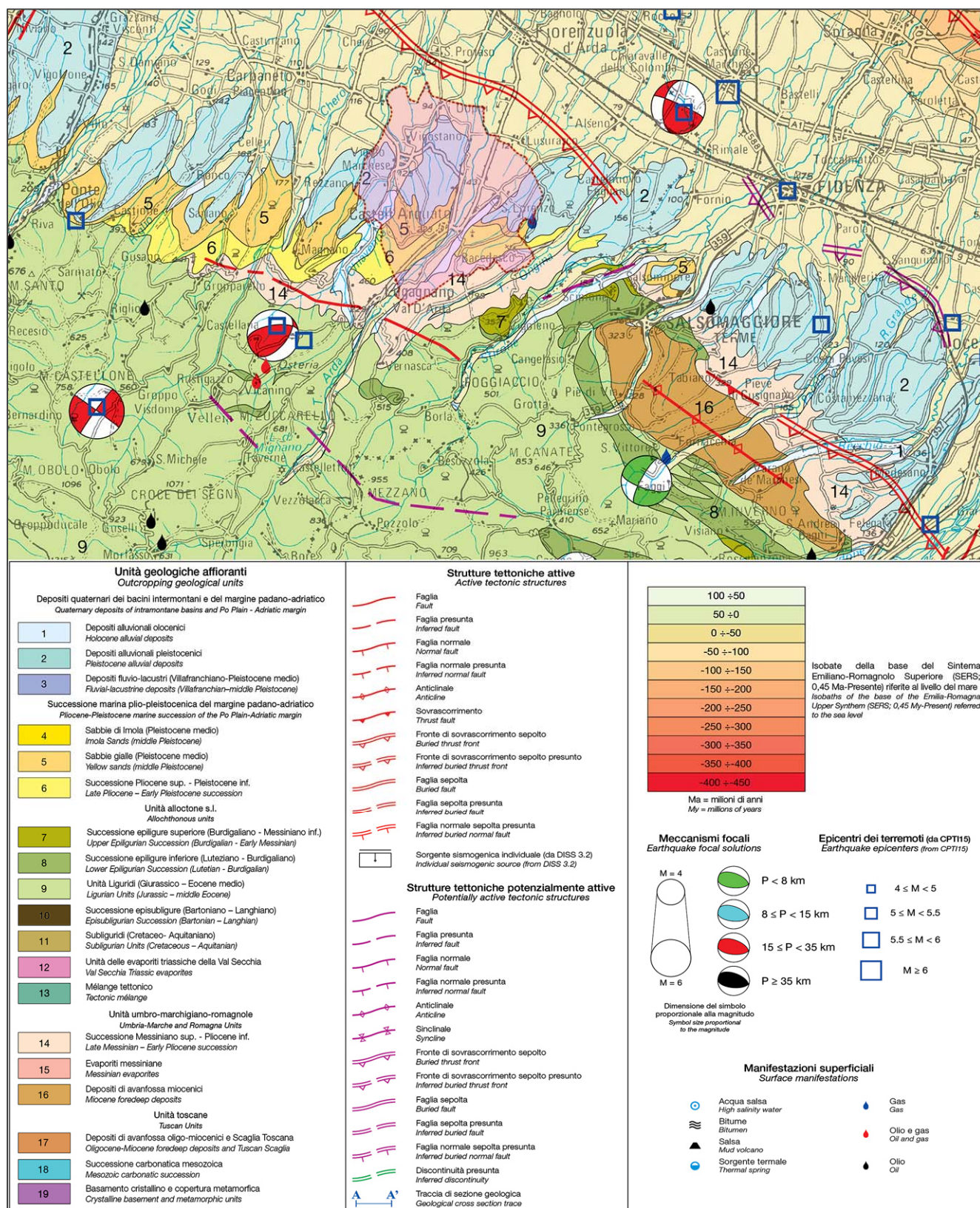
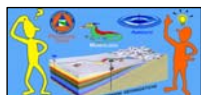


FIG. 6 - STRALCIO CARTA SISMOTETTONICA REGIONE EMILIA-ROMAGNA
Tratta da "Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna ed aree limitrofe"



Da quest'ultima emerge la presenza di un fronte di sovrascorrimento sepolto ubicato a Nord dei confini comunali così come visibile nelle sezioni geologiche interpretative n. 4, n. 5 e n. 71 di seguito riportate ed elaborate dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale; oltre a queste ultime il territorio comunale è anche attraversato dalle sezioni geologiche interpretative n. 1 e n. 72.

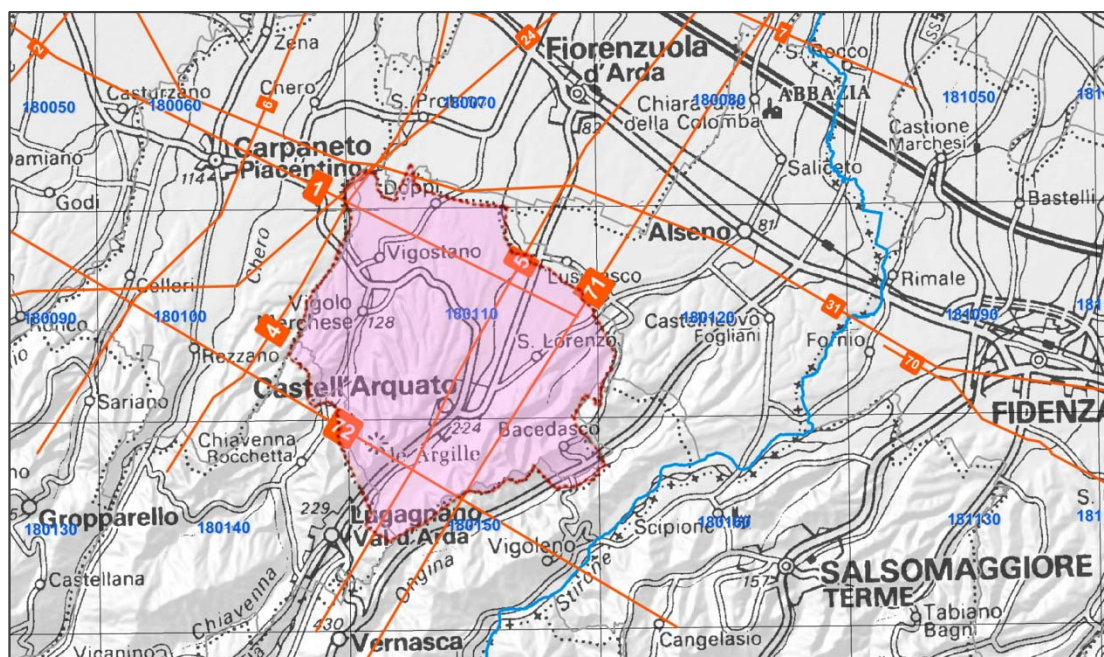


FIG. 7 - STRALCIO CARTA SEZIONI GEOLOGICHE REGIONE EMILIA-ROMAGNA

Scala 1:200.000

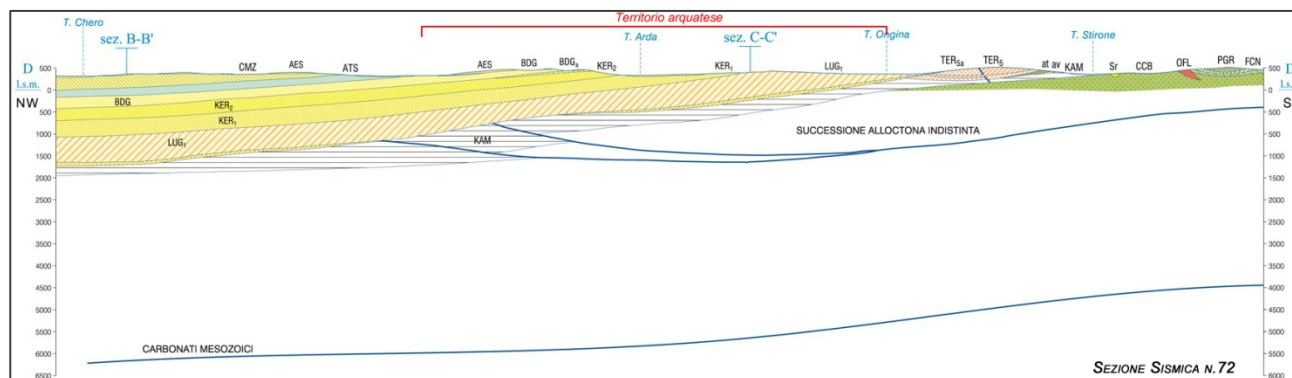
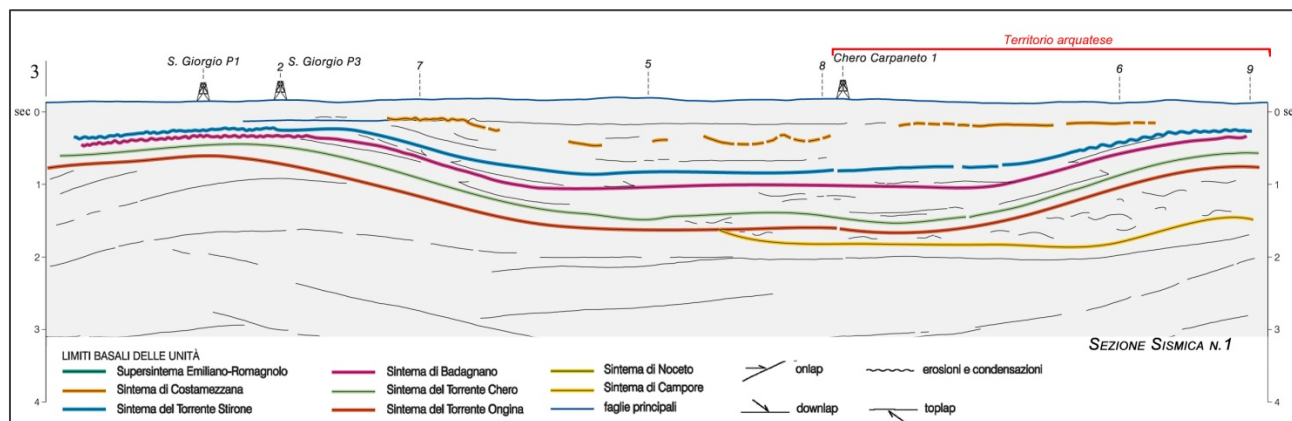
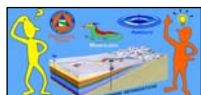


FIG. 8 - STRALCIO SEZIONI SISMICHE N.1 E N.72

Tracciato sezioni da NW a SE



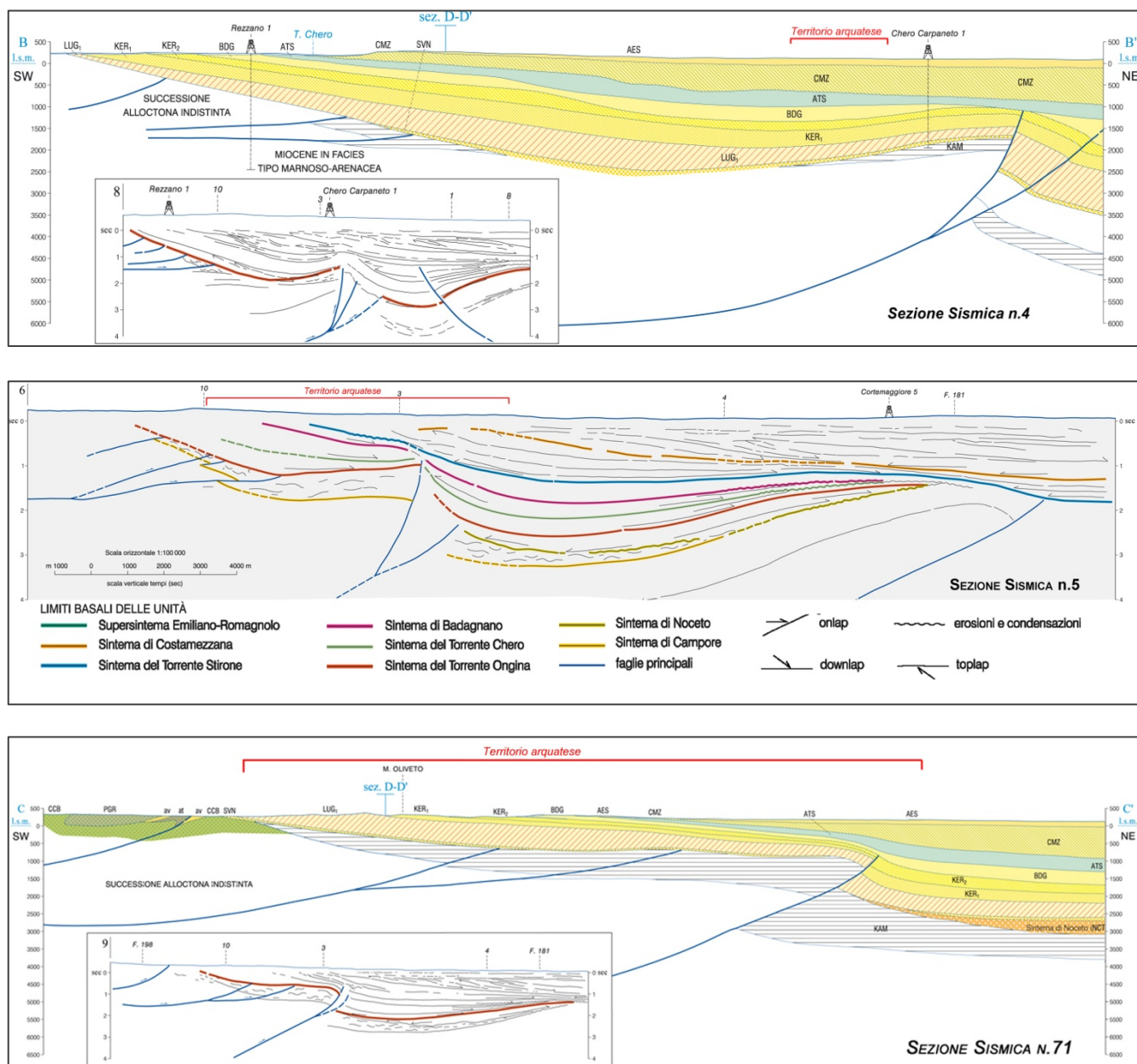


FIG. 9 - STRALCIO SEZIONI SISMICHE N.4, N.5 E N.71
TRACCIATO SEZIONI DA SW A NE

Dai profili sismici elaborati da diversi autori emerge come il suddetto fronte di accavallamento interessi la successione carbonatica meso-cenozoica sepolta sino a coinvolgere i depositi marini pliocenici entro i quali si riscontrano discontinuità tettoniche (faglie inverse) tipiche di una thrust fault (sovrascorrimento). Tra queste pare presentino attività tettonica recente solo quelle del fronte sepolto delle Pieghe Emiliane e non tanto quelle più prossime al margine morfologico appenninico.



3 - CONTESTO SISMOGENETICO E PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

Comprendere a fondo l'assetto geologico di un'area è di fondamentale importanza per verificare la presenza di faglie, definirne, per quanto possibile, il loro stato di attività e in relazione a ciò valutare il rischio sismico. Come noto infatti, per quanto esistano anche strutture a lento movimento asismico (*fault creep* o *tectonic creep*), le faglie attive sono da considerarsi sorgenti sismiche dato che al superamento della resistenza opposta dalle rocce al movimento si libera energia che, sotto forma di onde elastiche, si propaga in tutte le direzioni. Non è tuttavia semplice definire il reale stato di attività e l'estensione di una faglia, ragion per cui si tende oggi a far riferimento al fatto che essa risulti attiva in tempi geologicamente se non addirittura nell'arco della più recente storia umana; una delle definizioni più accettate è quella della *U.S Nuclear Regulatory Commission* (1982) che definisce attive tutte quelle faglie che hanno generato movimenti nell'arco degli ultimi 500.000 anni e, ancor più, quelle il cui ultimo evento risale a meno di 35.000 anni.

Un profilo della pericolosità sismica d'insieme del territorio italiano è emerso dalla zonazione sismogenica ZS9 (Meletti e Valensise, 2004; Meletti et al., 2008), attuale riferimento per gli studi di pericolosità sismica, che ha individuato nell'Appennino settentrionale zone sismogeniche molto estese e sub-parallele all'asse della catena, nonostante siano noti importanti settori governati da dinamiche deformative trasversali all'asse.

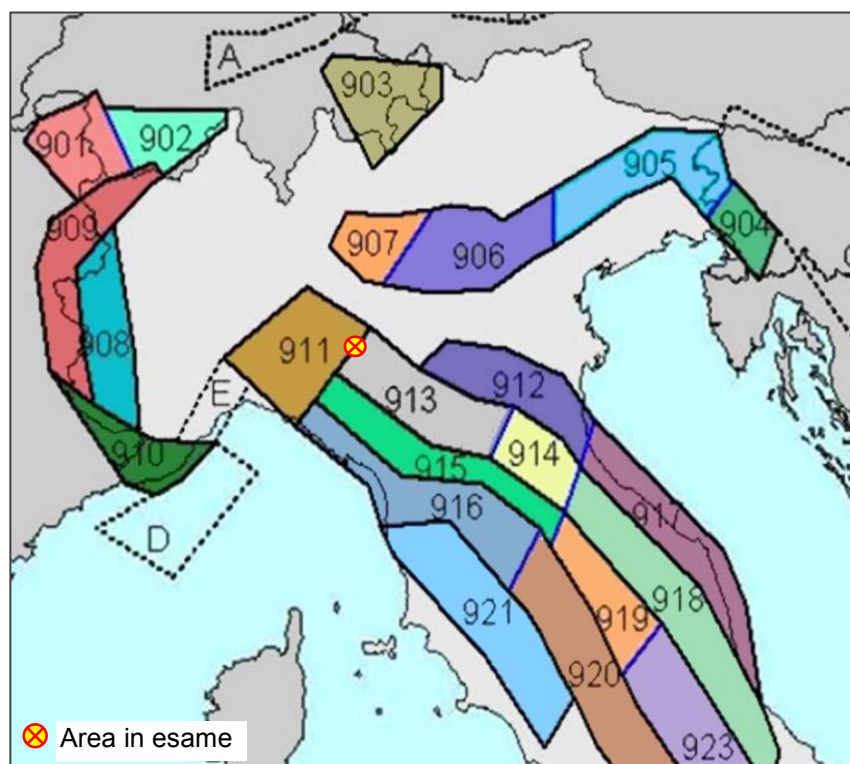
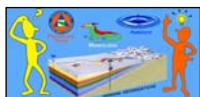


FIG. 11 - ZONAZIONE SISMOGENETICA ZS9

Tratta da "Mappa di Pericolosità Sismica -Rapporto conclusivo"- INGV 04/2004

All'interno di questa zonazione inoltre non risultano comprese vaste aree della Pianura Padana storicamente interessate da importanti eventi sismici che hanno causato ingenti danni così come anche la più recentemente sequenza sismica distruttiva del 2012.



In relazione agli studi condotti su quest'ultima oltre che sugli eventi occorsi nel 2016-2017 in Italia centrale, il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli in collaborazione con l'Istituto di Geoscienze e Georisorse del CNR (sez. di Firenze), con il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Firenze e con l'INGV (sez. di Bologna), hanno ricalibrato e ridefinito le zone potenzialmente sismogeniche dell'Appennino settentrionale al fine di individuare le strutture, attive o potenzialmente attive, capaci di influenzare la pericolosità sismica dell'Emilia-Romagna.

In questo aggiornamento sono state considerate attive tutte quelle strutture che mostrano di aver chiaramente influenzato l'evoluzione morfologica del paesaggio attuale o che hanno deformato orizzonti stratigrafici non più antichi di 450.000 anni, età attribuita al limite inferiore del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore la cui base è stata assunta come riferimento per classificare il grado di attività delle strutture, in quanto marker stratigrafico ben rappresentato su scala regionale.

Tutte quelle strutture che hanno inciso in minor modo o con più incertezza sulla deformazione degli orizzonti stratigrafici non più antichi di 450.000 o sull'assetto morfologico del paesaggio attuale sono state invece definite potenzialmente attive. Il risultato ottenuto è la seguente mappa di sintesi:

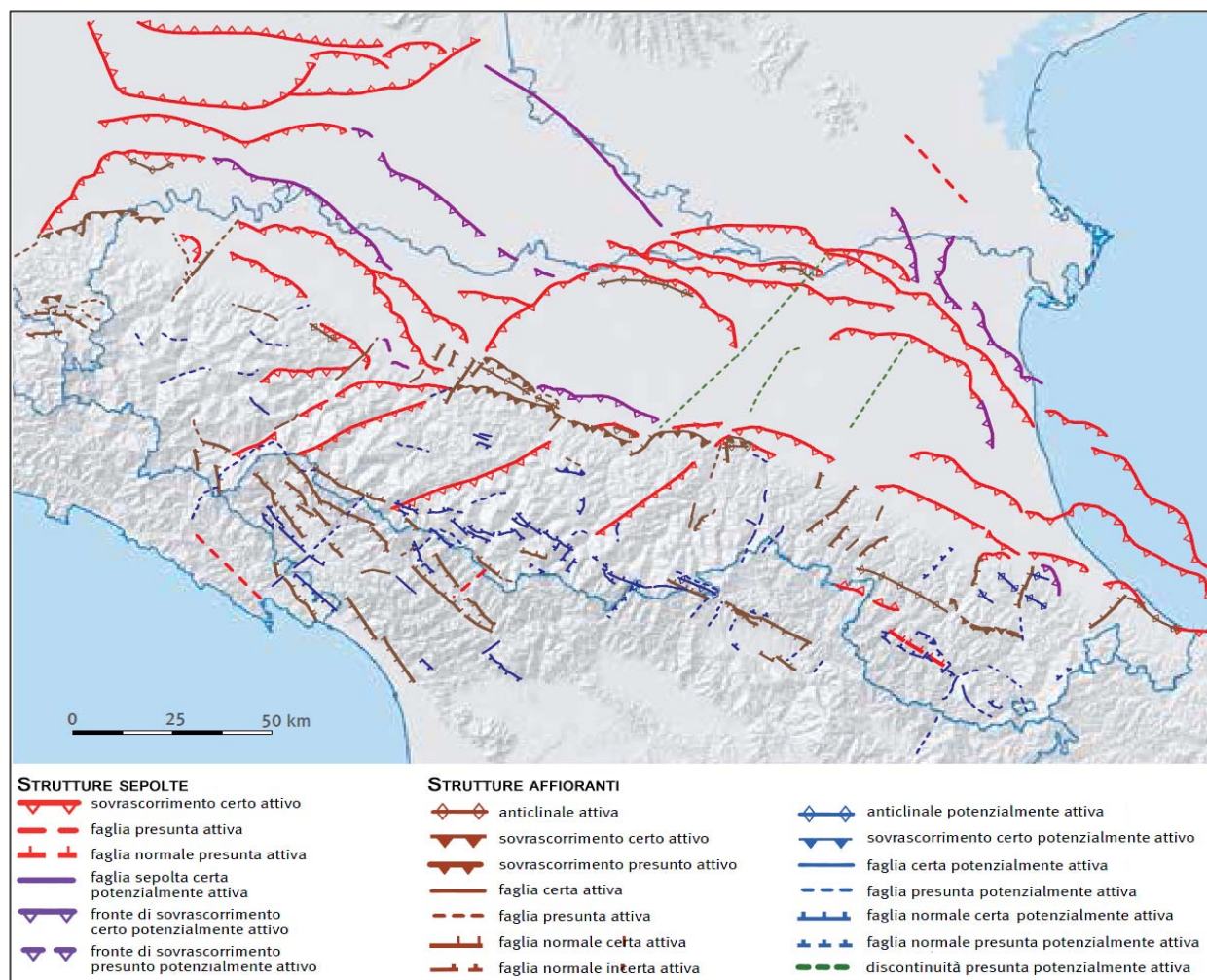
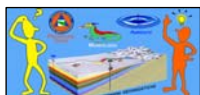


FIG. 12 - STRUTTURE ATTIVE O POTENZIALMENTE ATTIVE

Tratta da "Analisi 3D della Pericolosità Sismica dell'Appennino Settentrionale" - Martelli et Alii 2017



3.1 - UNA NUOVA PROPOSTA DI ZONAZIONE SISMOGENETICA

Alla luce di quanto sopra è stata recentemente proposta da Martelli et Alii 2017 una revisione della zonazione sismo-genetica per l'Appennino settentrionale ([Analisi 3D della pericolosità sismica dell'Appennino settentrionale](#)) con modifica dei perimetri precedenti e inserimento di nuove zone la cui ripartizione sismo-genetica è essenzialmente basata:

- sul contesto sismico di appartenenza, con particolare riguardo alla distribuzione epicentrale dei terremoti macrosismici e strumentali ($M > 3$), alla magnitudo massima osservata o stimata, ai meccanismi focali e alla profondità ipocentrale;
- sull'assetto geologico di riferimento, con particolare riguardo alla geometria, tipologia e cinematica delle strutture attive e potenzialmente attive riconosciute.

Le zone infatti differiscono tra loro per diversa geometria (immersione e inclinazione) e tipologia delle strutture e dei piani di rottura osservati, per il meccanismo di rottura ipotizzato (normale, inverso, trascorrente, misto), per la profondità degli ipocentri oltre che per il numero degli eventi osservati e la loro magnitudo (la magnitudo massima attesa coincide con le magnitudo massime attribuite alle zone, siano esse stimate da terremoti storici o determinate da dati strumentali). Tali zone sono poi state raggruppate in fasce sismotettoniche subparallele all'asse della catena ognuna delle quali è caratterizzata, secondo gli autori, da un proprio regime sismico pressoché "omogeneo"; tre di queste ricadono nel territorio emiliano romagnolo:

Fascia 3 - versante adriatico della zona assiale (Emilia-Romagna sud-occidentale e Marche orientali);

Fascia 4 - margine appenninico-padano;

Fascia 5 - zona dei fronti sepolti padani e adriatici.

La continuità longitudinale di queste fasce viene meno in corrispondenza di settori trasversali in cui operano strutture attive che paiono giocare un ruolo decisamente importante nella distribuzione della sismicità tanto da meritare una propria perimetrazione. Per quanto non ancora formalmente accreditata, si è qui ritenuto opportuno riportare la mappa della nuova proposta.

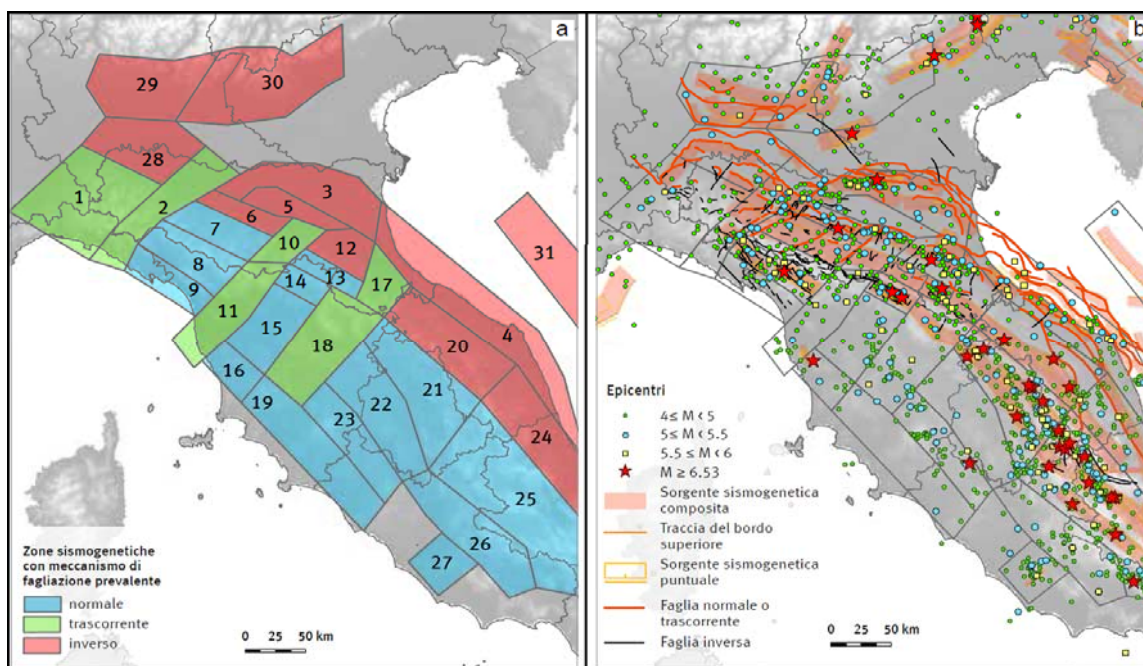
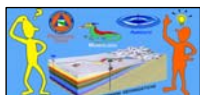


FIG. 13 - PROPOSTA DI NUOVA ZONAZIONE SISMOGENETICA (MARTELLI ET ALII 2014)

Tratta da "[Analisi 3d della pericolosità sismica dell'Appennino settentrionale](#)"



3.2 - ZONAZIONE SISMOGENETICA DELL'AREA ARQUATESE

Essendo la nuova proposta di zonazione sismogenica ancora in fase di accreditamento, si è fatto qui riferimento alla precedente Zonazione ZS9. Secondo quest'ultima, il territorio comunale di Castell'Arquato ricade in parte nella Zona Sismogenetica 911 "Tortona-Bobbio" ed in parte nella Zona Sismogenetica 913 "Appennino Emiliano-Romagnolo"; queste zone sono parte di una fascia di transizione caratterizzata da meccanismi essenzialmente compressivi, nel settore NW, e distensivi, nel settore SE, a cui si associano meccanismi trascorrenti nelle zone di svincolo che dissecano la continuità longitudinale delle strutture (.....di nuova perimetrazione nella proposta "Analisi 3D..").

Nella *Zona Sismogenetica 911*, che corrisponde alla parte occidentale della fascia compressiva dell'Appennino settentrionale governata dallo sprofondamento passivo della placca "Adria" al di sotto del sistema "Northern Apenninic Arc", gli ipocentri sismici paiono per lo più concentrarsi a profondità comprese tra 8 e 12 Km, con profondità efficace a 8 km. Il massimo valore di magnitudo registrato è stato di $M_d=4,1$ mentre, in considerazione degli studi ad oggi condotti sui meccanismi focali, per questa zona è stato previsto un valore massimo di magnitudo pari a $M_{w_{max2}}=6,14$.

Nella *Zona Sismogenetica 913*, i terremoti storici hanno raramente raggiunto valori particolarmente elevati di magnitudo tant'è che la massima magnitudo rilevata è stata di $M_d=4,8$; le zone ipocentrali si verificano generalmente a profondità comprese tra 12 e 20 Km, con profondità efficace a 13 km; anche per questa zona, sulla base dei meccanismi focali è stato previsto un valore di massima magnitudo pari a $M_{w_{max2}}=6,14$.

ZONA	NUMERO EVENTI MD>2.0	NUMERO EVENTI MD>2.5	NUMERO EVENTI MD>3.0	MAGNITUDO MASSIMA (MD)	CLASSE DI PROFONDITÀ (KM)	PROFONDITÀ EFFICACE (KM)
911	126	91	18	4,1	8-12	8
913	767	362	100	4,8	12-20	13

All'interno della ZS911 e ZS913 il "[Database of individual seismogenic sources - DISS 3.2.1](#)" individua diverse sorgenti sismogenetiche tra cui la composta [ITCS045 "San Giorgio Piacentino - Fornovo Taro"](#) su cui si sviluppa l'intero territorio comunale come visibile nelle seguenti immagini.

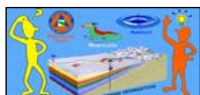
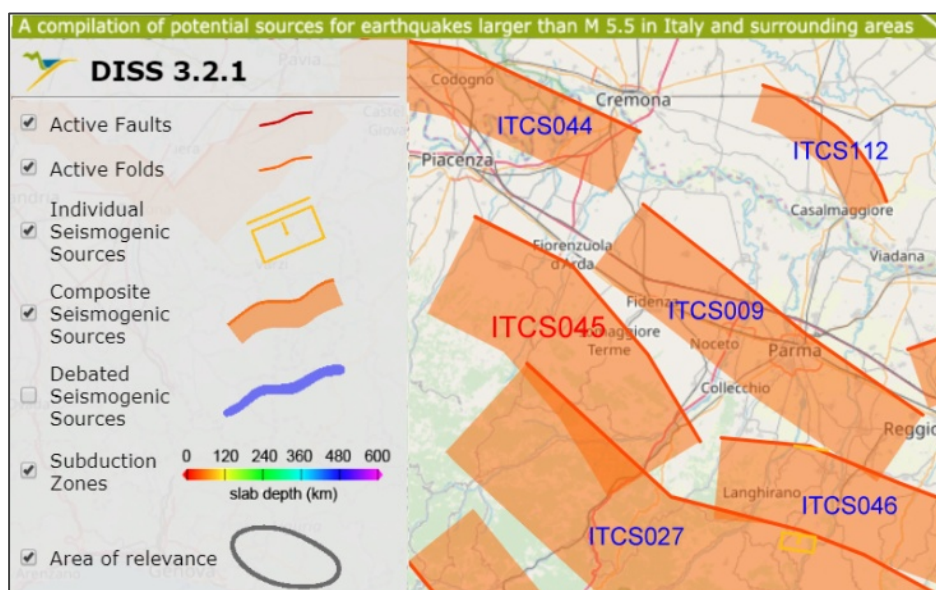
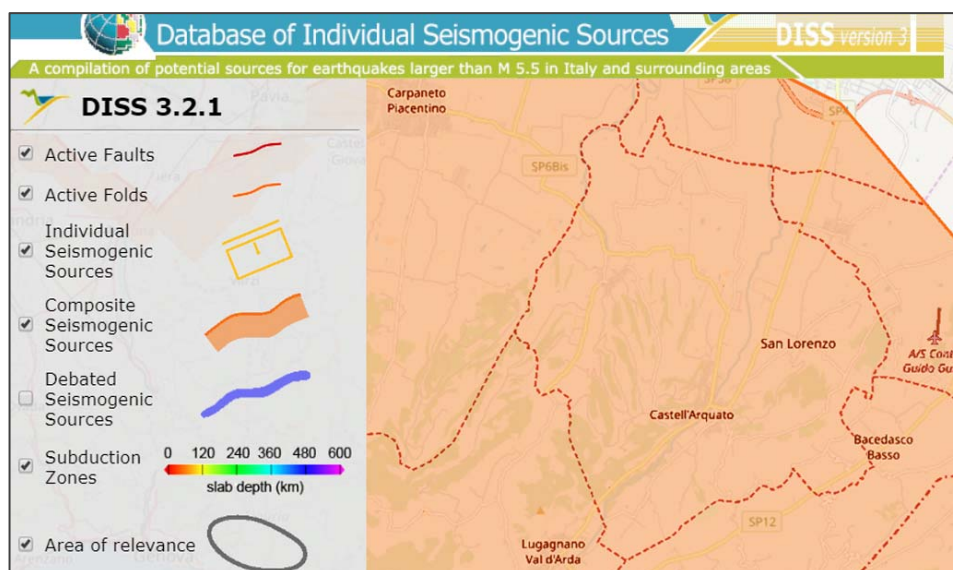


FIG. 14A



FIGG. 14A E 14B - DISS 3.2.1 - ITCS045 E CONFINI COMUNALI

Tratta da "Database of Individual Seismogenic Sources - DISS 3.2.1" - INGV 2018

Alla composita ITCS045 "San Giorgio Piacentino - Fornovo di Taro" sono oggi assegnate le seguenti caratteristiche parametriche:

Database of Individual Seismogenic Sources

DISS version 3

HOME MAP SEARCH HELP

COMPOSITE SEISMOGENIC SOURCES

COMMENTARY

PICTURES

REFERENCES

USER COMMENTS

GENERAL INFORMATION

DISS-ID

ITCS045

Name

San Giorgio Piacentino-Fornovo di Taro

Compiler(s)

Burrato P.(1)

Contributor(s)

Burrato P.(1), Basili R.(1)

Affiliation(s)

1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy

Created

08-Jan-2005

Updated

26-Jun-2015

Display map ...

Related sources

PARAMETRIC INFORMATION

PARAMETER	QUALITY	EVIDENCE
Min depth [km]	2.0	OD
Max depth [km]	10.0	OD
Strike [deg] min... max	110...150	OD
Dip [deg] min... max	20...40	OD
Rake [deg] min... max	80...100	EJ
Slip Rate [mm/y] min... max	0.24...0.63	EJ
Max Magnitude [Mw]	5.5	EJ

COMMENTARY

COMMENTS

This Composite Source straddles the region to the northwest of the Taro R. valley, and lies at the passage between the Pedapenninic Thrust Front (to the southeast) and the Northern Apennines outer thrust front (to the north and northwest). It is a NE-verging fault system, in part made of small arcs, on the higher Emilia-Romagna foothills of the Northern Apennines chain.

Historical and instrumental catalogues (Boschi et al., 2000; Gruppo di Lavoro CPTI, 2004; Pondrelli et al., 2006; Guidoboni et al., 2007) show a lack of significant seismicity in this region, except for a few intermediate (4.5 < Mw 5.0) earthquakes to the west and east of the area.

This source represents the hypothesized westerly termination of the active Pedapenninic Thrust Front where it gives way to the outer arc of the Northern Apennines, and may account for the intermediate seismicity of the region and its seismogenic potential.

The strike of this source was based on that of the mapped regional structures. The dip was based on geological observations and geometrical considerations. The rake represents pure thrusting, based on geological observations. The minimum and maximum depth were based on geological observations and on geometrical considerations concerning the thrust geometry. The slip rate was based on geological data. The maximum magnitude was assumed from regional seismicity.

LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;

Come visibile in tabella, la profondità delle sorgenti sismogenetiche che compongono la composita ITCS045 si ritiene compresa tra circa 2.0 e i 10.0 km, così come valutata su basi geometriche e tettoniche relative alla morfologia del thrust; la magnitudo massima ad oggi registrata è Mw=5,5.



3.3 - SISMICITÀ STORICA

La sismicità storica del territorio arquatese, così come riportata nella seguente tabella e nel successivo grafico, è reperibile nel *Database Macrosismico Italiano DBMI15*¹ che contiene dati relativi a 122.701 osservazioni macrosismiche riferite a 15213 località italiane, occorse in un arco di tempo che va dall'anno 1000 sino al 2014.

PlaceID	IT_34719	Provincia	Piacenza
Coordinate (lat, lon)	44.852, 9.868	Regione	Emilia-Romagna
Comune (ISTAT 2015)	Castell'Arquato	Numero di eventi riportati	14
Effetti	In occasione del terremoto del		
Int.	Anno	Me Gi Ho Mi Se	Area epicentrale
HD	1117	01 03 15 15	Veronese
4	1898	03 04 21 05	Parmense
5	1910	01 23 01 50	Piacentino
NF	1912	10 01 18 10	Piacenza
2	1961	08 13 22 34 1	Parmense
2	1961	08 14 01 03 0	Parmense
5	1971	07 15 01 33 2	Parmense
6-7	1980	12 23 12 01 0	Piacentino
4	1983	11 09 16 29 5	Parmense
NF	1986	12 06 17 07 1	Ferrarese
NF	1991	10 31 09 31 1	Emilia occidentale
1-2	1995	10 10 06 54 2	Lunigiana
NF	2000	06 18 07 42 0	Pianura emiliana
3-4	2005	04 18 10 59 1	Valle del Trebbia

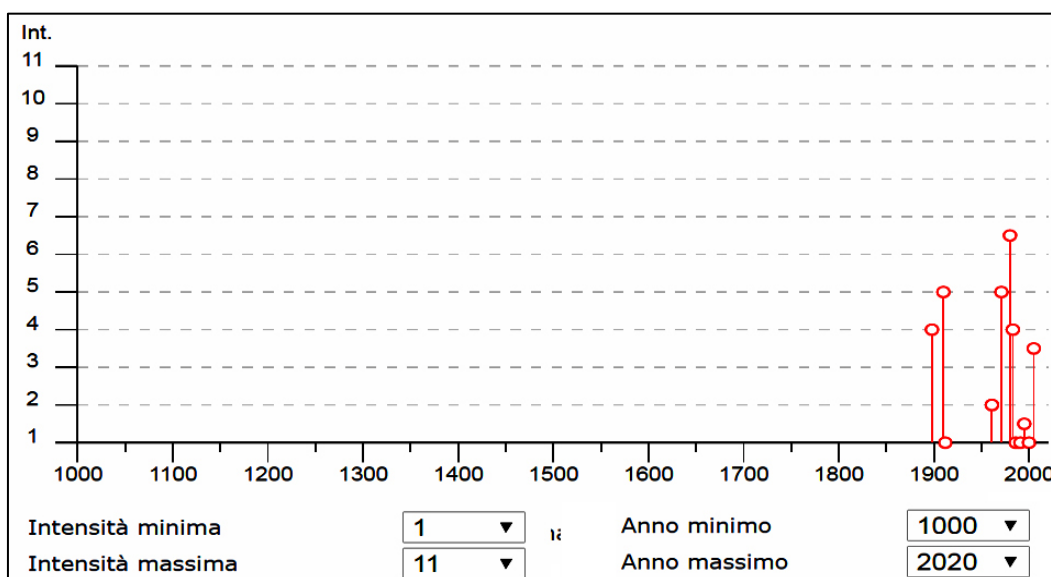
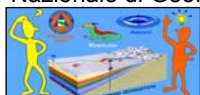


FIG. 15 - STORIA SISMICA DI CASTELL'ARQUATO

Tratta da: INGV, Data Base Macrosismico Italiano 2015 - DBMI15

¹ 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 Macroscopic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>



Nella tabella sono elencati gli eventi di maggiore intensità e, per ciascuno di essi, gli effetti provocati al sito, espressi in scala macrosismica MCS (Mercalli-Cancani-Sieberg, 1930), la data e l'ora in cui si è verificato l'evento, l'area epicentrale, il numero di Data Point Macrosismici relativi all'evento (NMDP), l'intensità massima epicentrale in scala MCS (I_0) e la magnitudo momento (M_w). Nel grafico sono riportati i terremoti verificatisi da fine 1800 ad oggi.

Tra questi spiccano il terremoto con epicentro nel veronese del 03-01-1117, a cui è stata attribuita una $M_w=6,52$ ed effetti locali altamente distruttivi (HD), il terremoto con epicentro nel Piacentino del 23-01-1910 con $M_w=4,39$ ed effetti pari al 5° grado della scala MCS, il terremoto con epicentro nel Parmense del 15-07-1971 con $M_w=5,51$, anch'esso con effetti pari al 5° MCS, ed infine il terremoto con epicentro nel Piacentino del 23-12-1980, con $M_w=4.57$ ed effetti pari al 6-7° della scala MCS.

Gli altri eventi riportati nel database hanno avuto risentimenti decisamente più modesti e compresi tra 5° e 2° grado MCS.

Altre notizie sulla sismicità storica sono reperibili al sito [Italian Seismological Instrumental and Parametric Data-Base \(ISIDe\)](http://Italian.Seismological.Instrumental.and.Parametric.Data-Base.ISIDe) che contiene i dati parametrici di tutti i terremoti registrati dal 01/01/1985 ad oggi dalla Rete Sismica Nazionale gestita dall'INGV, e di altre reti gestite da istituzioni ed enti internazionali e regionali, conservati presso la sala di sorveglianza sismica dell'INGV di Roma.

I dati parametrici contenuti in ISIDe completi di tutte le informazioni (incertezze, varie versioni della localizzazione e della magnitudo, dalle determinazioni automatiche a quelle riviste in sala, a quelle perfezionate dal BSI) possono essere scaricati dalla pagina cnt.rm.ingv.it nel formato QuakeML mentre le forme d'onda relative ad ogni evento sono disponibili in SEED.

La tabella alla pagina seguente si riferisce ad una ricerca in ISIDe di tutti gli eventi sismici con magnitudo maggiore di 3 verificatisi dal 1985 ad oggi nel raggio di 30 km dal centro del nucleo abitato di Castell'Arquato (latitudine 44,85 e longitudine 9,87).

Tra questi solo 4 hanno raggiunto o superato una magnitudo $M_w=4$, il più vicino dei quali si è verificato il 30/07/2007 nel comune di Alseno ed ha raggiunto una $M_w=4,2$.



▼ Fuso Orario: Italia ▼ Dal 01-10-1985 ▼ Magnitudo: 3+ ▼ Punto: (44.85, 9.87) - Raggio: 30 km Visualizzati terremoti da 1 a 30 dei 57 trovati (Ordinamento Tempo Decrescente)						
Data e Ora (Italia) 📅	Magnitudo 📊	Zona 📍	Profondità 📏	Latitudine	Longitudine	
2018-05-19 18:41:21	Mw 3.9	4 km W Gropparello (PC)	29	44.82	9.68	
2017-11-19 13:37:44	Mw 4.4	3 km SE Varano de' Melegari (PR)	22	44.66	10.03	
2017-11-19 13:10:12	ML 3.3	3 km SE Varano de' Melegari (PR)	23	44.67	10.04	
2017-09-10 20:00:55	ML 3.7	4 km W Gropparello (PC)	25	44.82	9.69	
2014-09-26 19:38:15	ML 3.0	3 km E Varsi (PR)	26	44.66	9.89	
2012-10-03 19:18:00	ML 3.2	5 km E Bettola (PC)	26	44.79	9.67	
2012-10-03 16:41:29	Mw 4.3	5 km E Bettola (PC)	24	44.78	9.67	
2011-10-09 14:23:17	ML 3.1	4 km NW Varano de' Melegari (PR)	22	44.72	10.00	
2011-04-28 22:14:38	ML 3.0	2 km NE Solignano (PR)	25	44.63	10.00	
2009-10-19 12:08:49	Mw 3.9	4 km SE Gropparello (PC)	24	44.81	9.77	
2008-04-03 07:07:29	ML 3.2	3 km N Solignano (PR)	18	44.64	9.98	
2007-07-30 21:05:43	Mw 4.2	3 km E Aiseno (PC)	21	44.90	10.00	
2005-04-19 10:27:39	ML 3.5	5 km N Morfasso (PC)	26	44.77	9.69	
2005-04-19 09:42:01	ML 3.8	5 km NE Morfasso (PC)	25	44.77	9.72	
2003-05-25 10:07:55	Md 3.0	5 km NW Medesano (PR)	5	44.79	10.10	
2002-04-26 18:19:46	Md 3.0	3 km SE Pellegrino Parmense (PR)	10	44.71	9.94	
2001-06-17 12:18:50	Md 3.0	4 km NW Fornovo di Taro (PR)	5	44.71	10.06	
1999-07-06 08:43:22	Md 3.0	3 km N Varano de' Melegari (PR)	4	44.72	10.00	
1998-09-02 00:51:10	Md 3.0	5 km S Varsi (PR)	8	44.62	9.86	
1998-07-16 17:31:11	Md 3.4	2 km SW Fornovo di Taro (PR)	8	44.68	10.08	
1998-06-03 07:34:58	Md 3.2	4 km NW Terenzo (PR)	3	44.64	10.07	
1998-05-13 02:12:02	Md 3.8	2 km W Fornovo di Taro (PR)	6	44.69	10.07	
1998-05-06 03:27:14	Md 3.2	4 km NW Terenzo (PR)	5	44.64	10.06	
1998-05-06 00:48:35	Md 3.4	4 km NW Terenzo (PR)	5	44.64	10.06	
1997-09-12 02:35:35	Md 3.0	6 km S Gropparello (PC)	15	44.78	9.72	
1997-09-09 02:48:23	Md 3.0	2 km S Fornovo di Taro (PR)	9	44.67	10.10	
1997-08-11 08:58:09	Md 3.2	2 km W Fornovo di Taro (PR)	8	44.70	10.08	
1997-08-11 08:40:11	Md 3.5	5 km SE Varano de' Melegari (PR)	6	44.65	10.05	
1996-03-14 08:01:41	Md 3.4	2 km E Castell'Arquato (PC)	5	44.86	9.89	
1995-06-14 07:27:03	Md 3.2	2 km NW Lugagnano Val d'Arda (PC)	5	44.84	9.82	
1995-02-11 05:22:26	Md 3.1	3 km SE Besenzone (PC)	5	44.97	9.98	
1994-12-27 04:12:57	Md 3.0	3 km NW Lugagnano Val d'Arda (PC)	8	44.84	9.81	
1994-10-10 18:59:41	Md 3.1	3 km SE Morfasso (PC)	10	44.70	9.73	
1994-08-18 08:39:12	Md 3.1	2 km N Lugagnano Val d'Arda (PC)	8	44.84	9.83	
1994-08-13 05:12:31	Md 3.2	5 km NW Lugagnano Val d'Arda (PC)	5	44.86	9.80	
1994-02-02 02:44:39	Md 3.0	3 km N Lugagnano Val d'Arda (PC)	7	44.85	9.83	
1993-11-06 16:12:48	Md 3.0	3 km NE Varano de' Melegari (PR)	4	44.70	10.04	
1992-01-02 14:44:59	Md 3.4	3 km SE Besenzone (PC)	4	44.97	9.98	
1992-01-02 13:30:48	Md 3.2	4 km SE Besenzone (PC)	5	44.96	9.98	
1992-01-01 11:12:19	Md 3.4	1 km SE Besenzone (PC)	5	44.98	9.97	
1991-12-04 14:31:29	Md 3.1	2 km SW Besenzone (PC)	5	44.98	9.95	
1991-11-22 08:57:44	Md 3.2	3 km SE Besenzone (PC)	5	44.97	9.99	
1991-11-22 08:40:01	Md 3.5	2 km SE Besenzone (PC)	7	44.98	9.97	
1991-11-17 02:26:04	Md 3.4	3 km W Busseto (PR)	5	44.99	10.00	
1991-11-08 14:44:09	Md 3.0	3 km E Besenzone (PC)	5	44.98	9.99	
1991-11-02 11:42:26	Md 3.2	4 km SE Besenzone (PC)	5	44.96	9.98	
1991-11-01 14:17:44	Md 3.0	3 km S Besenzone (PC)	4	44.96	9.96	
1991-11-01 07:17:09	Md 3.2	3 km SE Besenzone (PC)	5	44.97	9.99	
1991-10-31 10:31:18	Md 4.0	3 km W Busseto (PR)	5	44.98	10.01	
1991-10-30 17:24:20	Md 3.0	2 km SE San Pietro in Cerro (PC)	5	45.01	9.96	
1991-10-30 16:35:51	Md 3.1	1 km N Besenzone (PC)	5	45.00	9.95	
1990-07-09 06:30:56	Md 3.2	4 km NW Solignano (PR)	9	44.65	9.97	
1990-05-07 11:06:26	Md 3.2	4 km E Pellegrino Parmense (PR)	5	44.73	9.98	
1990-04-12 00:16:42	Md 3.1	5 km N Varano de' Melegari (PR)	10	44.73	10.01	
1990-04-11 23:38:33	Md 3.7	5 km E Pellegrino Parmense (PR)	5	44.75	9.99	
1989-02-22 08:09:03	Md 3.3	5 km W Solignano (PR)	20	44.62	9.92	
1987-04-12 05:18:41	Md 3.0	5 km NW Pellegrino Parmense (PR)	5	44.77	9.89	



3.4 - CLASSIFICAZIONE SISMICA TERRITORIALE

La classificazione sismica dei comuni italiani è reperibile nell'All.1, com.3 dell'OPCM 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" che ha aggiornato quella risalente al 1998. Nell'OPCM 3274/2003 il Comune di Castell'Arquato è stato inserito in Zona sismica di categoria 3, tra quelle zone cioè a bassa sismicità cui corrisponde un valore di ancoraggio dell'accelerazione orizzontale al suolo, con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, pari a $a_g=0,15g$.

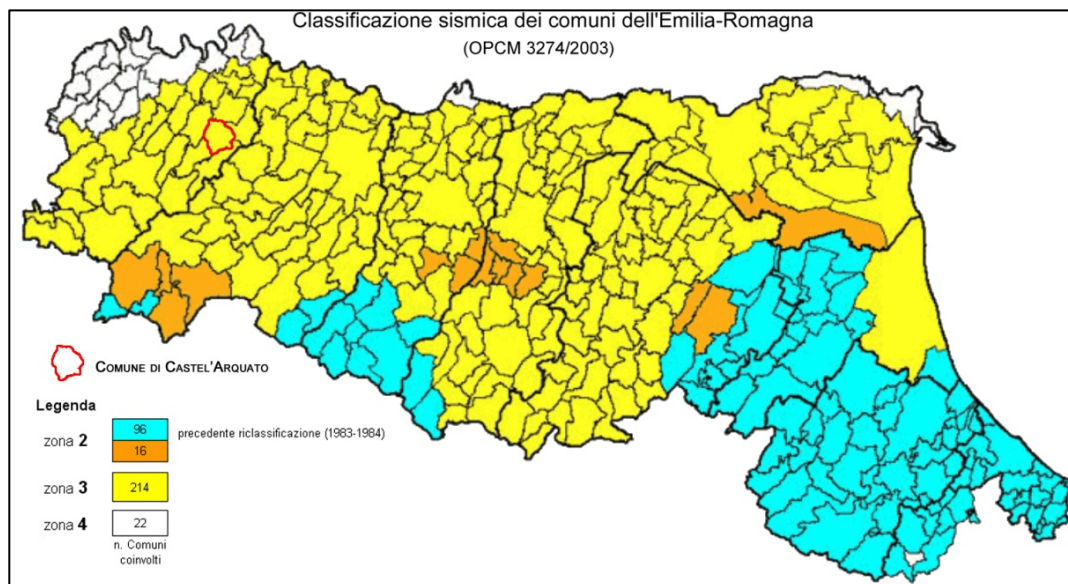


FIG. 16 - CLASSIFICAZIONE SISMICA REGIONALE (OPCM 3274/2003)

Successivamente l'O.P.C.M. n.3519 del 28.04.2006 recependo i contenuti della *Mappa di Pericolosità Sismica* elaborata dall'INGV, ha aggiornato la precedente "zonazione sismica" del territorio nazionale facendo rientrare il territorio del Comune di Castell'Arquato tra quelli con valore di ancoraggio compreso tra $0,100 < a_g < 0,150g$, come visibile nella seguente immagine.

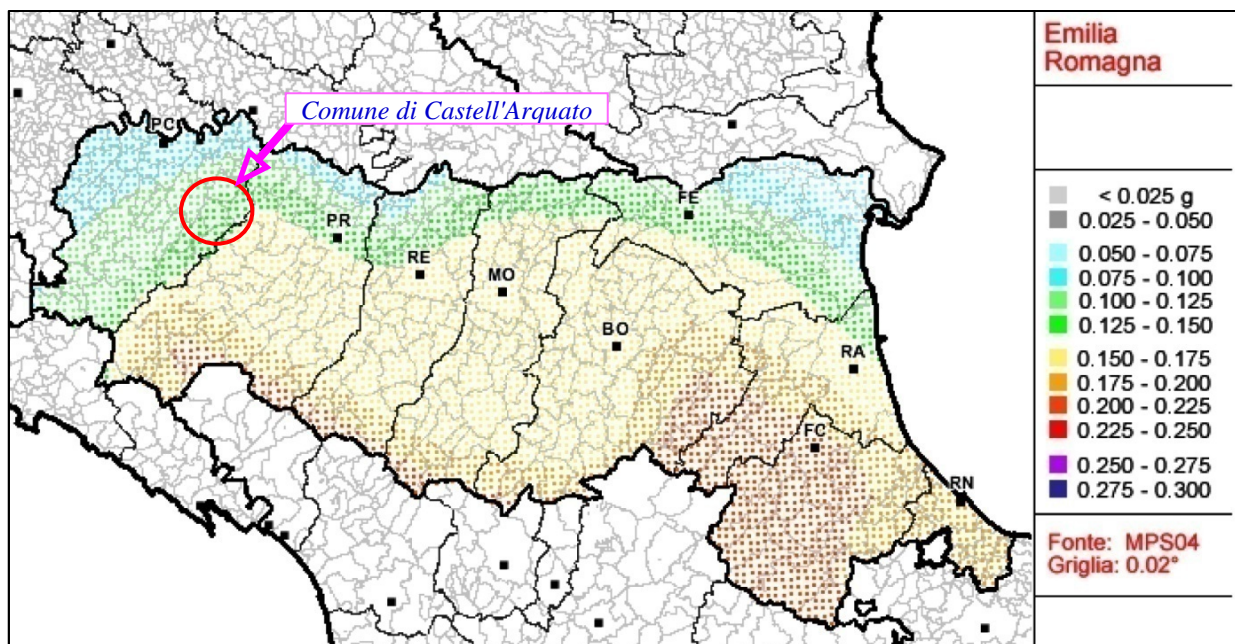
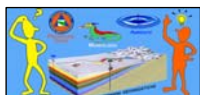


FIG. 17 - PERICOLOSITÀ SISMICA REGIONALE
Carta espressa in PGA con tempi di ritorno di 475 anni



Più recentemente la regione Emilia-Romagna, a seguito degli eventi sismici che hanno interessato il territorio regionale oltre che delle unificazioni tra comuni e dell'entrata di alcuni comuni marchigiani nel territorio romagnolo, la regione ha aggiornato con propria D.G.R. n. 1164 del 23/07/2018 la classificazione sismica del territorio regionale così come visibile in mappa

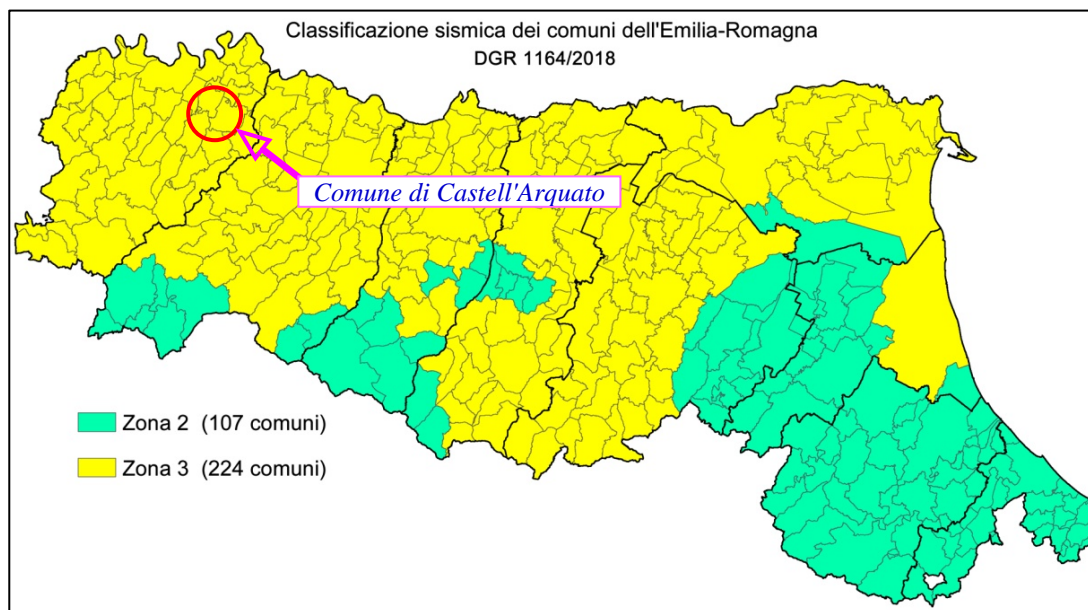


FIG. 18 - CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI COMUNI DELL'EMILIA-ROMAGNA

La *classificazione sismica* tuttavia non interferisce con la determinazione dell'*azione sismica* necessaria a progettare e realizzare gli interventi di prevenzione del rischio sismico in quanto *"costituisce un riferimento tecnico-amministrativo per graduare l'attività di controllo dei progetti e la priorità delle azioni e delle misure di prevenzione e mitigazione del rischio sismico"*.

3.5 - AZIONE SISMICA E PERICOLOSITÀ SISMICA

Un evento sismico è un processo complesso caratterizzato dalla propagazione tridimensionale nel suolo di onde elastiche innescate da un rilascio istantaneo di energia accumulatasi lungo strutture che dissecano la crosta terrestre; tali onde possono minare la stabilità o determinare il crollo delle costruzioni antropiche causando la morte di persone.

In ambito di pianificazione territoriale così come in ambito progettuale risulta quindi necessario poter valutare l'*azione sismica* indotta da un terremoto su una particolare porzione di territorio ai fini della prevenzione del rischio sismico. L'*azione sismica* è caratterizzata da 3 componenti traslazionali, di cui due orizzontali contrassegnate da X ed Y ed una verticale contrassegnata da Z, da considerarsi tra loro indipendenti; essendo tuttavia il sisma un evento di tipo stocastico in quanto dipendente da variabili aleatorie nello spazio e nel tempo, è possibile stabilirne i potenziali effetti solo in termini statistici riferendosi cioè ad un ipotetico terremoto che ha una certa probabilità di accadimento in un dato intervallo di tempo (terremoto di progetto).

Va da sé che nella progettazione strutturale non interessino esclusivamente le caratteristiche (intensità, magnitudo, durata, massima accelerazione....) dell'evento sismico in sé, quanto piuttosto gli effetti che esso può produrre sulle strutture.



Come noto infatti un evento sismico può indurre effetti decisamente diversi sia su edifici strutturalmente differenti sia su edifici molto simili tra loro ma immorsati su terreni litologicamente e/o stratigraficamente diversi in relazione sia all'energia da esso sviluppata, sia alle varie frequenze dei fronti d'onda in rapporto ai periodi di vibrazione delle strutture sollecitate.

Secondo la normativa italiana (NTC 2018) le *azioni sismiche "di progetto"* devono essere definite in considerazione della "*pericolosità sismica*", un parametro che quantifica i livelli di scuotimento attesi in un determinato sito, in funzione di una componente "di base" e di una "locale" così definite:

- 1) la pericolosità sismica di base è espressa da un parametro di scuotimento (accelerazione di picco, accelerazione spettrale, intensità, ecc.) che viene calcolato al "bedrock sismico", ovvero su una superficie rigida e piana;
- 2) la pericolosità sismica locale è espressa da un parametro modificatore della pericolosità di base che consente di valutare l'amplificazione, o l'attenuazione, attesa sulla base delle caratteristiche geologiche e morfologiche locali, come già ampiamente detto in precedenza.

La pericolosità sismica di base costituisce quindi "*l'elemento primario per la determinazione delle azioni sismiche di progetto*" su cui valutare la sicurezza nei confronti dei diversi Stati Limite, cioè di quelle condizioni superate le quali l'opera non soddisfa più i criteri e le esigenze per cui è stata progettata.

Sempre le NTC prevedono che la *pericolosità sismica di base* sia espressa tramite forme spettrali definite su sito di riferimento rigido orizzontale in funzione di tre parametri :

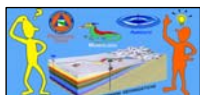
- a_g - *accelerazione orizzontale massima attesa al suolo, espressa in g/10;*
- F_O - *valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;*
- T_C^* - *periodo, in secondi, di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.*

Questi parametri sono desumibili, in funzione dei periodi di ritorno prestabiliti ricadenti nell'intervallo di riferimento compreso tra 30 e 2475 anni, dai valori di *pericolosità sismica sul reticolo di riferimento* riportati nelle Tabelle delle NTC ad essi inerenti.

Per tutti i punti del territorio non corrispondenti ai nodi del reticolo i valori di a_g , F_O e T_C^* possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra quest'ultimo ed i quattro vertici mediante la seguente relazione:

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

dove: p è il valore del parametro di interesse nel punto in esame;
 p_i è il valore del parametro di interesse nell' i -esimo punto della maglia elementare contenente il punto in esame;
 d_i è la distanza del punto in esame dall' i -esimo punto della maglia suddetta.



Per il Comune di Castell'Arquato la pericolosità sismica di base è ricavabile utilizzando il foglio elettronico "Spettri NTC ver. 1.0.3", predisposto dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, che ha fornito i seguenti elaborati relativi alla così detta "Fase 1":

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

☐ Ricerca per coordinate

LONGITUDINE
9,8734

LATITUDINE
44,8533

☒ Ricerca per comune

REGIONE
Emilia-Romagna

PROVINCIA
Piacenza

COMUNE
Castell'Arquato

Elaborazioni grafiche

Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Reticolo di riferimento



La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

Nodi del reticolo intorno al sito



INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0,043	2,486	0,227
50	0,055	2,478	0,247
72	0,064	2,480	0,258
101	0,074	2,470	0,263
140	0,085	2,470	0,268
201	0,098	2,468	0,273
475	0,135	2,500	0,281
975	0,171	2,535	0,287
2475	0,226	2,578	0,299

FIG. 19 - PARAMETRI DELLA FORMA SPETTRALE DEL COMUNE DI CASTELL'ARQUATO, IN FUNZIONE DEI PERIODI DI RITORNO (T_R)



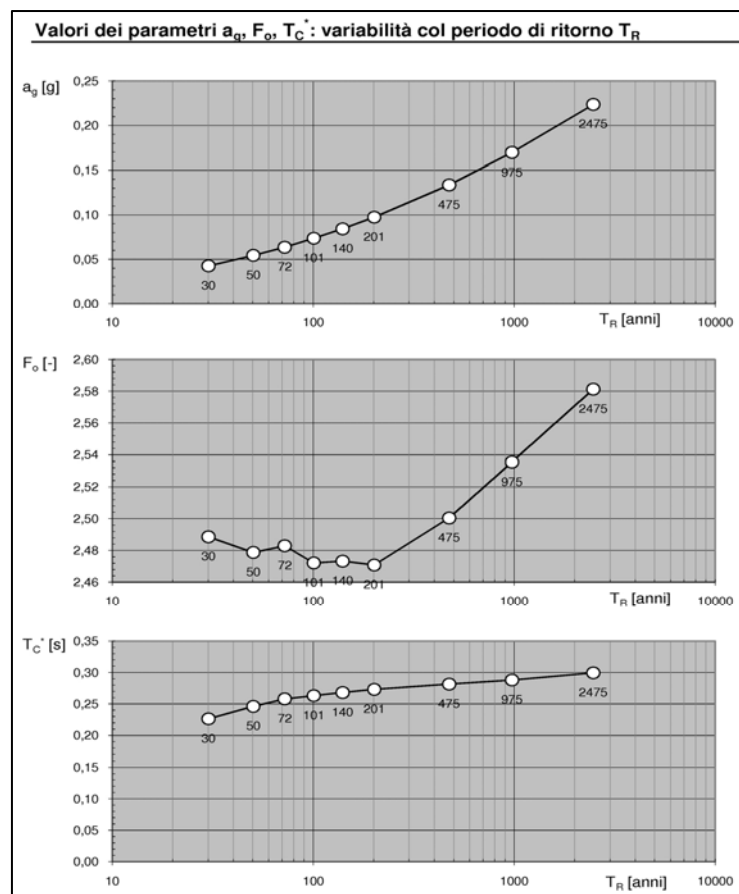


FIG. 20 - VARIABILITÀ DEI PARAMETRI a_g , F_o , T_C^* IN FUNZIONE DEI PERIODI DI RITORNO
(da "Spettri NTC ver. 1.0.3")

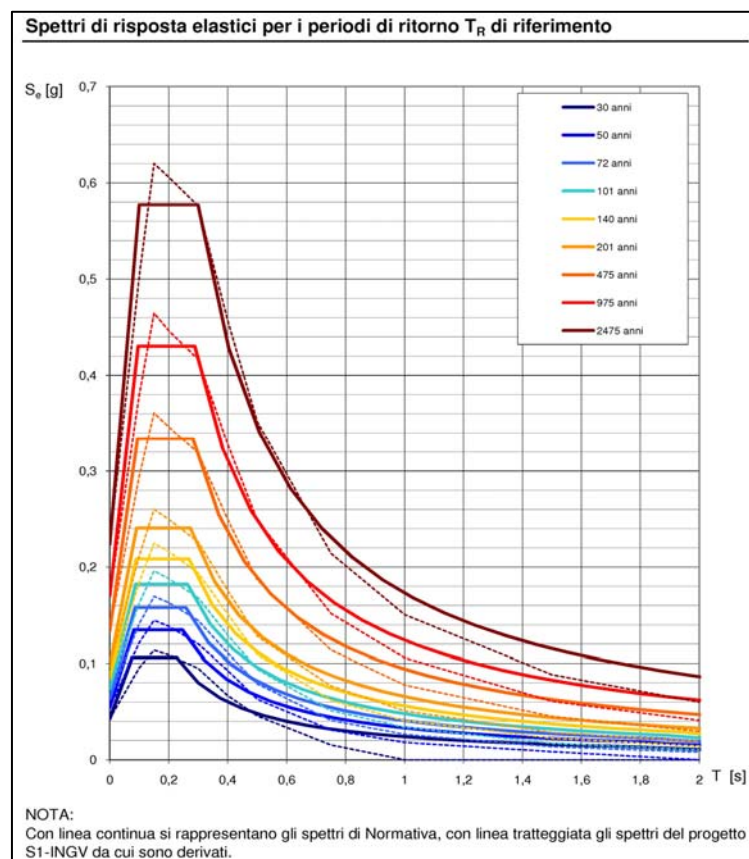
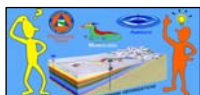


FIG. 21- SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI IN ACCELERAZIONE DELLE COMPONENTI ORIZZONTALI SU SITO DI RIFERIMENTO RIGIDO
(da "Spettri NTC ver. 1.0.3")



La pericolosità sismica del Comune di Castell'Arquato, su reticolo di riferimento e nell'intervallo considerato, emerge anche dal sito esse1-gis.mi.ingv.it che fornisce *Mappe Interattive Probabilistiche di Pericolosità Sismica* in rapporto allo "scuotimento sismico" riferito alla accelerazione orizzontale massima del suolo $a(g)$ per un tempo di ritorno di 475 anni.

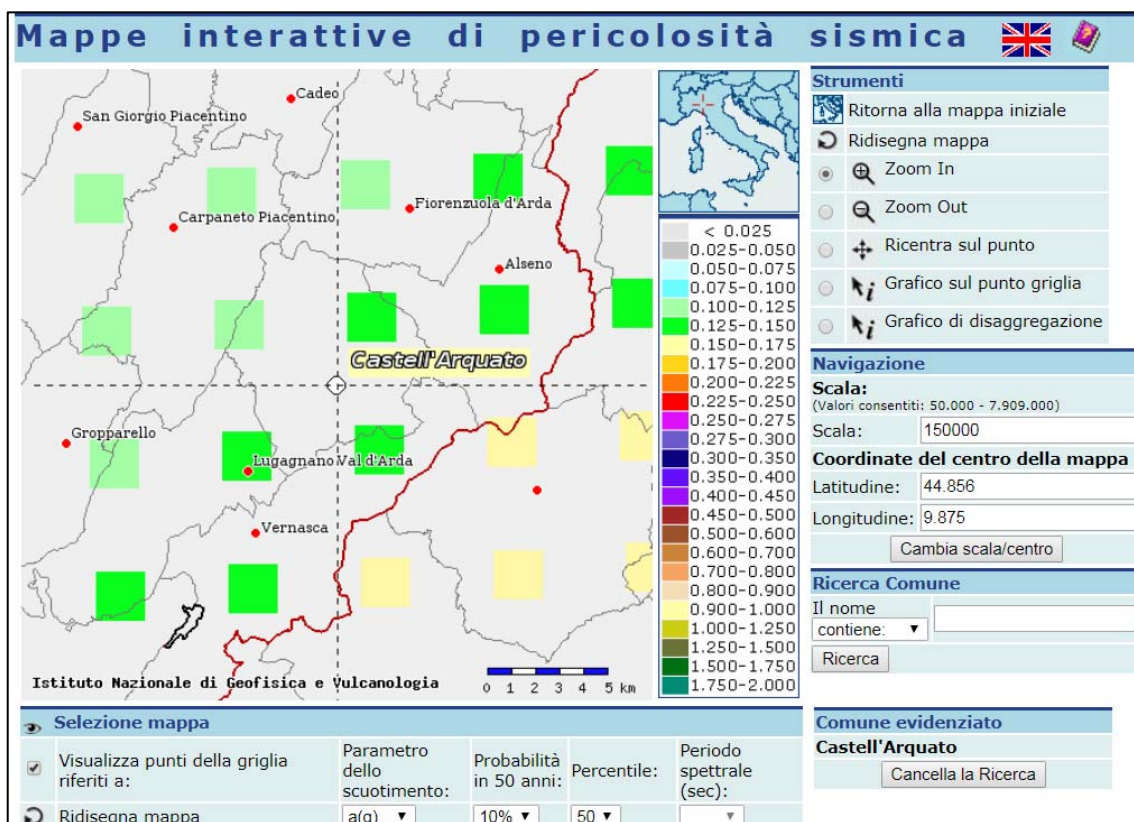
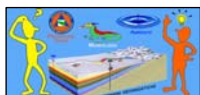
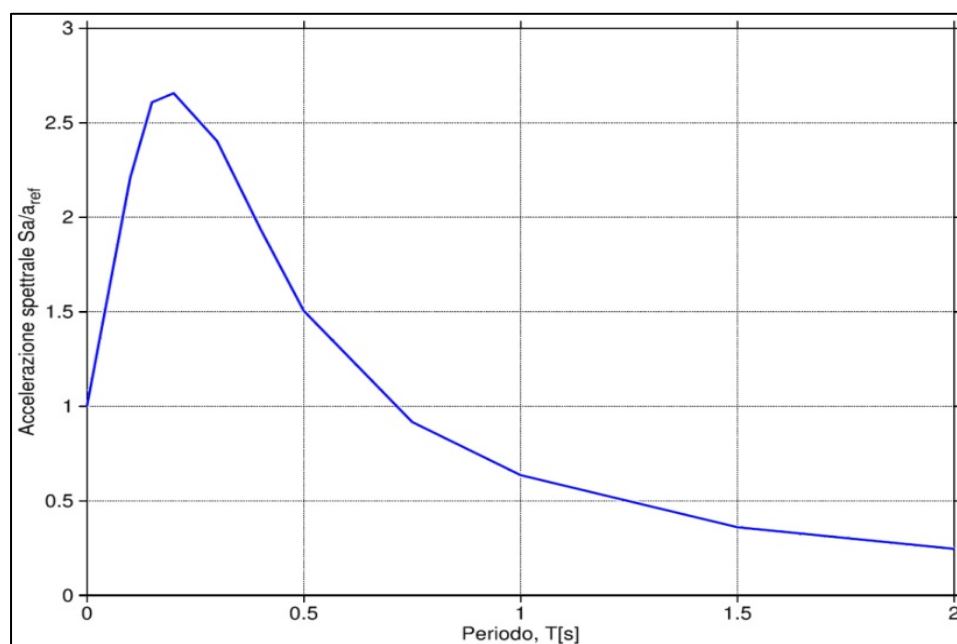


FIG. 22 - PERICOLOSITÀ SISMICA IN TERMINI DI $a(g)$ PER IL COMUNE DI CASTELL'ARQUATO

Da parte sua e con l'obiettivo di ridurre il rischio sismico, la Regione Emilia-Romagna con propria Delib. Ass. Leg. n.112/2007 ha approvato un atto di indirizzo e coordinamento tecnico (ai sensi dell'art.16, com.1, della L.R. 20/2000) inerente gli "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in E.R. per la pianificazione territoriale ed urbanistica" con lo scopo di definire linee guida comuni per la microzonazione sismica territoriale e per l'individuazione di quelle aree potenzialmente soggette ad effetti locali, onde orientare le scelte di pianificazione territoriale/urbanistica verso zone a minor pericolosità sismica. Nella Tabella 2 dell'Allegato 4, la D.A.L. n.112/2007 attribuisce al territorio del Comune di Castell'Arquato un valore di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo (cioè per $T=0$) pari a $a_{refg}=0,133g$, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

Con D.G.R 2193/2015 la Regione ha ridefinito lo spettro di risposta normalizzato di riferimento di cui alla D.A.L.112/2007 (relativa ad un tempo di ritorno di 475 anni e ad uno smorzamento del 5%) ed i suoi valori di riferimento di seguito riportati (v. pag. successiva) in funzione del periodo proprio T (nella prima colonna) e dei corrispondenti valori di accelerazione spettrale normalizzata (S_a/a) al valore di accelerazione massima orizzontale (PGA), espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g (pari a $9.81m/s^2$).





T (s)	Sa/a_{ref}
0,00	1,0000
0,10	2,2100
0,15	2,6080
0,20	2,6562
0,30	2,4033
0,40	1,9394
0,50	1,5050
0,75	0,9172
1,00	0,6359
1,50	0,3608
2,00	0,2462

**FIG. 23 - SPETTRO DI RISPOSTA NORMALIZZATO ($TR=475$ anni, smorzamento=5%)
PER L'EMILIA-ROMAGNA E RELATIVI VALORI DI DEFINIZIONE E RIFERIMENTO**



4 - ASSETTO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO IN AMBITO COMUNALE

L'area oggetto di microzonazione è parte del *Margine Appenninico Padano*, cioè di quella zona di transizione comprendente la fascia pedemontana e le prime colline del basso Appennino che mette in collegamento il settore esterno della catena, strutturatosi nel Miocene superiore-Pliocene inferiore, e l'antistante settore Padano-Adriatico, ove le deformazioni sepolte Plio-Quaternarie sono ancora in parte attive. L'evoluzione di questo settore è legata all'attività del sistema di faglie del *Pedeappenninic Thrust Front - PTF* (Boccaletti et al., 1985). I sedimenti qui affioranti sono per lo più riferibili alla *successione post-evaporitica "padana"*, prevalentemente costituita da peliti deposte sul bordo interno dell'avanfossa padano-adriatica (tra cui le *Argille Azzurre* e la *Formazione a Colombacci*) e delimitata da due unconformities di importanza regionale di cui:

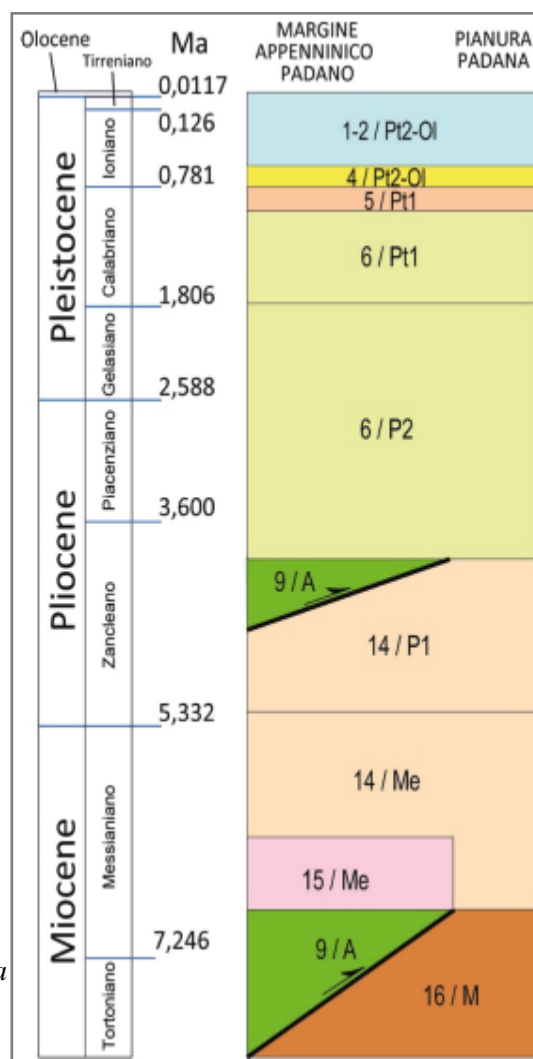
- quella basale corrispondente al contatto con le sottostanti evaporiti messiniane della Formazione Gessoso-Solfifera;
- quella al tetto, identificabile con il passaggio ai depositi continentali della Pianura Padana che la ricoprono, sigillandola.

Lo schema stratigrafico delle Unità che compongono la successione del Margine Appenninico Padano, qui a fianco riportato, è stato tratto dalle *"Note illustrative della Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna"*.

All'interno della successione postevaporitica, l'evento geodinamico più importante è identificato nella fase tettonica del tardo Pliocene inferiore (zona a *G. puncticulata p.p.*, tra 4,5 e 3,9 Ma) che ha determinato la messa in posto sin-sedimentaria della coltre alloctona nel margine interno dell'avanfossa.

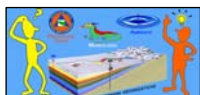
FIG. 24 - SCHEMA STRATIGRAFICO DEL MARGINE APPENNINICO PADANO E DEL SOTTOSUOLO PADANO

Tratto da *"Note illustrative della Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna....."* Ediz.2016"



In considerazione della sua posizione geometrica rispetto alla coltre alloctona oltre che all'associata discontinuità e mutazione dei sedimenti, la successione del margine è stata suddivisa in :

- una *"successione pre-fase tettonica del Pliocene inferiore"*, precedente quindi alla messa in posto della coltre alloctona, contraddistinta dalle sigle **ME** e **P1** nel precedente profilo e caratterizzata da facies marine prevalentemente fini di piattaforma o di scarpata continentale;
- una *"successione post-fase tettonica del Pliocene inferiore"*, coeva alla messa in posto della coltre e poi protrattasi nel tempo, corrispondente alle unità **P2** e **Pt1** del profilo geologico in Fig.3 e caratterizzata da una marcata eterogeneità di facies e dalla presenza di arenarie e conglomerati.



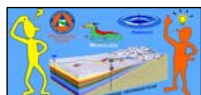
In ambito locale tale assetto è visibile, anche se in modo discontinuo, in vari affioramenti circostanti l'area in esame (torrente Arda, aree calanchive del "Piacenziano", Val Ongina...) mentre in modo più continuativo lo si può osservare percorrendo l'alveo del torrente Stirone dal Ponte di Scipione sino a Fidenza. Qui infatti affiorano, da Sud verso Nord, depositi fluvio-lacustri del Messiniano superiore (ghiaie, silt e argille) ricoperti da peliti di ambiente pelagico risalenti al Pliocene inferiore (*Argille di Lugagnano, Argille Azzurre*) ed afferenti alla base dell'Unità P1 del precedente schema.

A differenza della valle dello Stirone, nel settore Ongina-Chero i depositi trasgressivi pliocenici poggiano direttamente sulle coltri Liguri alloctone. Con gli inizi del Piacenziano (zona a *G. punctulata* p.p., 3,8 -3,9 Ma), nella successione del Margine Appenninico compare una discontinuità rilevabile a scala regionale ricollegabile ad una netta modifica della geometria del bacino di avanfossa; inizia così il *Ciclo Pliocenico Medio Superiore* (P2, in Ricci Lucchi et al., 1982) nel corso del quale le forze che hanno deformato il fronte della catena traslano repentinamente verso NE (*jumping*) generando gli archi (fronti di pieghe-faglie), ancor'oggi in parte attivi, sepolti al di sotto delle coperture "padane". È in questo contesto che si formano i primi corpi calcarenitici affioranti in area arquatese, quali ad esempio le Calcarenite di Monte Giogo.

Serie	Piano	Scala della polarità magnetica (Cande & Kent, 1992, rivisitato)					Biozone		Agip, 1994; Roveri <i>et alii</i> 1998				Unità litostratigrafiche	FOGLIO 180 (unità affioranti)	
		Chron (1)	Sub- chrons	Ma	Eventi (2)	Polarità	Ma	Nanno (Rio <i>et alii</i> , 1990b)	Forams (Cita, 1975 Rio <i>et alii</i> , 1984 Sprovieri, 1992)	Unità Allostratigrafica	Superfici fiscie	Unità affioranti			
															4° ordine
P L I O C E N E	Gelasiano	Matuyama		1.785			2.0	MNN 19c	G. cariacensis	?	?	t4		Sintema del Torrente Stirone	
				1.942	2n		MNN 19b								
				2.129		2r.1	r		MNN 19a	MPL6		up		Fontana	F. di Castell'Arquato
				2.149	2r	2r.2	r		MNN 18		b		t3	Verzaneto	
				2.582					MNN 16b-17	MPL5		mp		Badagnano	Sintema di Badagnano
	Piacenziano	Gauss		3.032	2An.1	n	3.0			LP3			Monte Giogo	calcareni di C.Arquato-M. Padova	Subsintema di M. Giogo
				3.116	2An	r		MNN 16a		lp3	t2		calcareniti di M. Giogo (livelli marker)		
				3.207	2An.2	n								Montezago Superiore	Subsintema di Montezago
				3.330	2An.3	n		MPL4		LP		f2	Montezago inferiore		
				3.596	2Ar			4.0	MNN 14-15	MPL3	LP2		t1	Monte Oliveto	A. di Lugagnano
	Zancleano	Gilbert		4.188				MNN 13		LP1	lp1		Lugagnano	Sintema del Torrente Ongina	
				4.300	3n.1	n									
				4.493											
				4.632	3n.2	r			MNN 12	MPL2					
				4.799	3n			5.0		MPL1	UM		f1		
Messiniano			4.896	3n.3	r									F. di Vernasca	
			4.998	3n.4	n								F. a Colombacci		
			5.236	3r			non definito	non definito			um2			unità Liguri ed Epiliguri indifferenziate	Sintema di Campore

FIG. 25- SCHEMA STRATIGRAFICO SUCCESSIONE PLIO-PLEISTOCENICA MARINA DEL FOGLIO 180

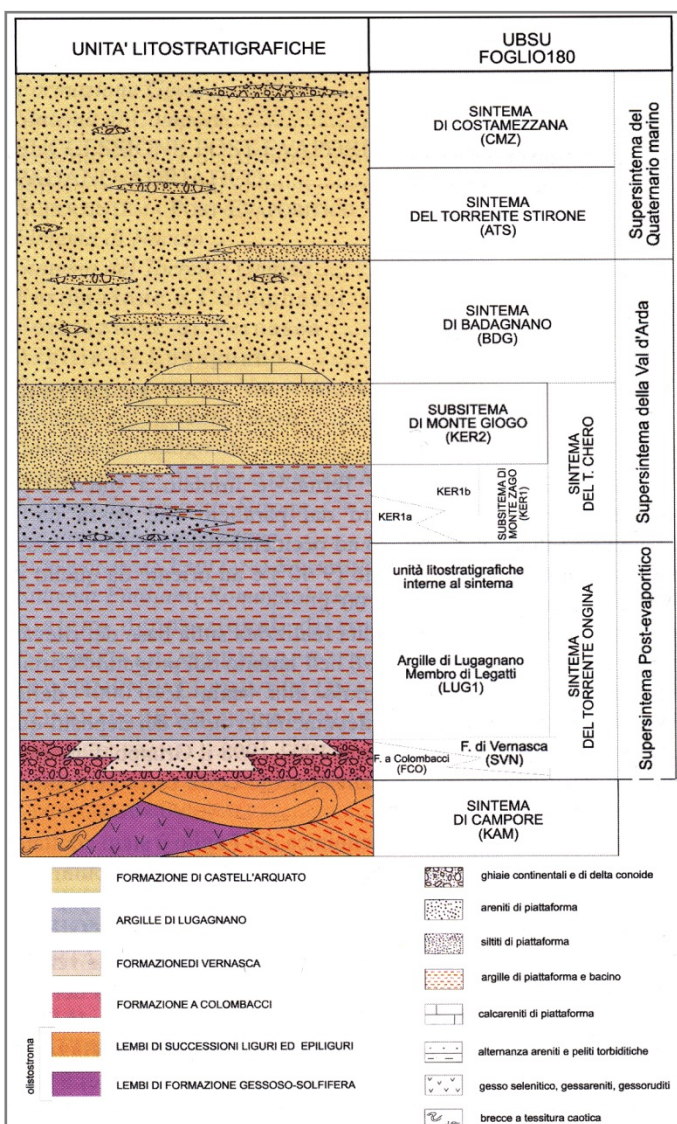
(modificato dal Progetto CARG - Foglio 180 - Salsomaggiore Terme)



Da questo momento in poi si assiste all'instaurarsi di ambienti marini sempre meno profondi e ad un graduale ritiro del mare dall'area in studio che, seppur con fasi alterne di ingressione e regressione, culminerà con la definitiva emersione di questo settore dell'Emilia occidentale nel tardo Pleistocene inferiore (probabilmente circa 1,1 ÷ 1,2 M.a. fa).

**FIG. 26 - SCHEMA DI CORRELAZIONE REGIONALE
TRA UNITÀ LITOSTRATIGRAFICHE DELLA
SUCCESIONE POST EVAPORITICA**

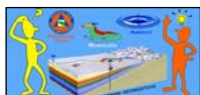
(da Progetto CARG, Foglio 180-Salsomaggiore T.)



Con gli inizi del Pleistocene medio si attua un'ulteriore fase di sollevamento della catena appenninica che porta dal depositarsi, in discordanza angolare sui sedimenti precedenti, di sabbie costiere (*Sabbie di Imola*, 0,8-0,65 Ma) lungo la maggior parte del margine appenninico; termina così il ciclo sedimentario del pleistocene inferiore marino (Qm, in Ricci Lucchi et al., 1982) ed inizia a depositarsi la successione sedimentaria che oggi compone il Supersistema Emiliano-Romagnolo (Qc, in Ricci Lucchi et al., 1982) individuato dalle sigle **Pt2-OI** nello schema di Fig.3.

Questo supersistema è articolato in due sintemi:

- il Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore (SERI), sedimentato tra 0,65 e 0,45 M.a. fa e corrispondente all'Alluvionale Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI) dei fogli CARG, è costituito da argille limose di piana alluvionale con intercalazioni di sabbie di canale e ghiaie di conoide alluvionale a cui si intercalano, nella porzione basale, depositi parali marino-marginali e lagunari;
- il Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (SERS), depositatosi a partire da circa 0,45 M.a. fa e tutt'ora in fase di formazione, corrisponde all'Alluvionale Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) dei fogli CARG che in area emiliana è costituito per lo più da ghiaie e sabbie terrazzate di conoide alluvionale cui si intercalano radi orizzonti argilloso limosi di interconoide e/o di piana esondabile.



Un quadro geologico d'insieme del territorio comunale è visibile nella seguente immagine tratta dalla Carta Geologica pubblicata dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale.

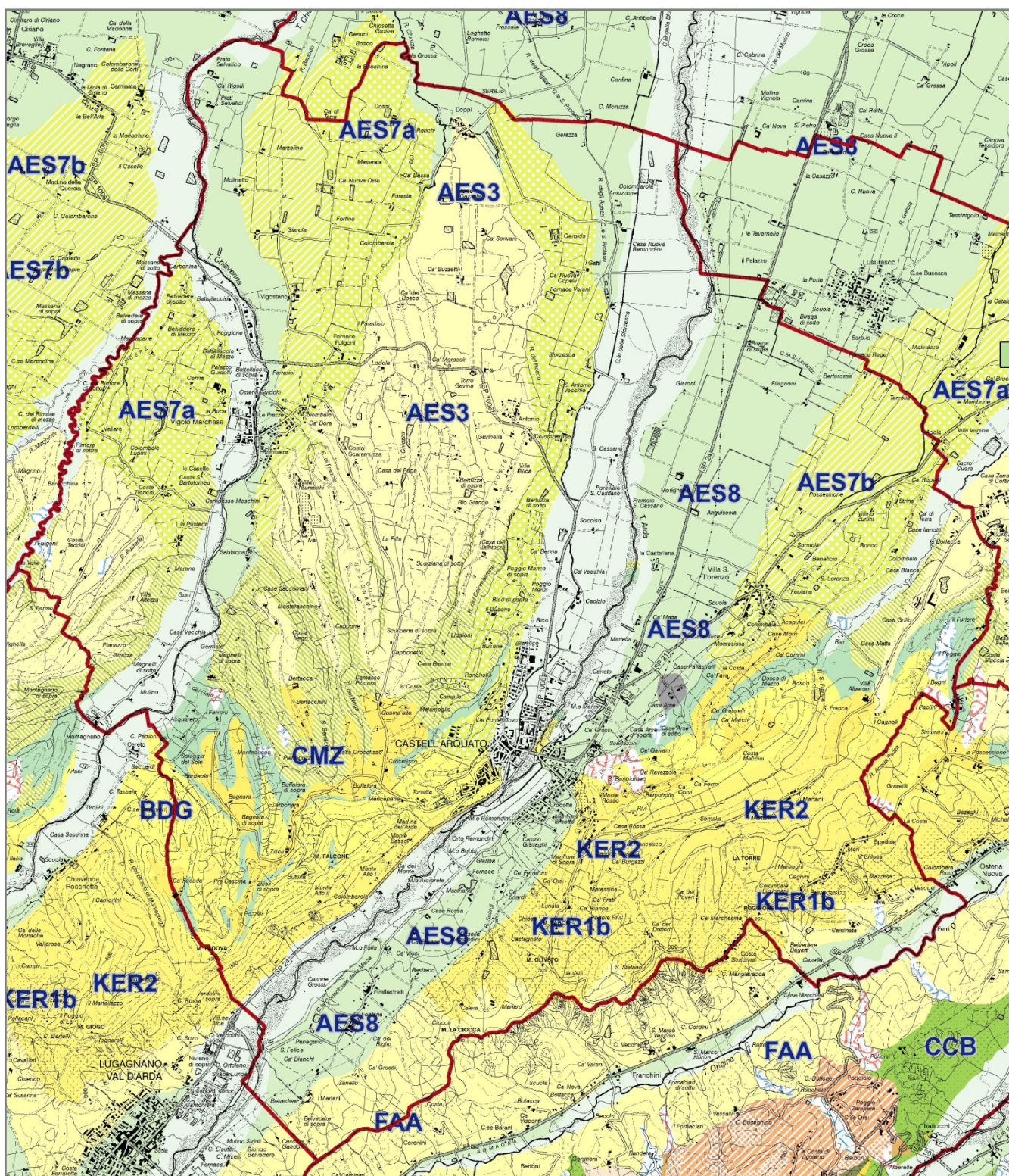


FIG. 27 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO D'INSIEME

Stralcio Carta Geologica R.E.R. Foglio 180 "Salsomaggiore Terme" - Scala 1:50.000

In riferimento al progetto CARG ed alle modifiche introdotte dal Servizio Geologico e Sismico dei Suoli E-R i depositi afferenti alla "Successione post-evaporitica del margine padano-adriatico" presenti sul territorio comunale sono attribuibili a:



SUPERSITEMA EMILIANO ROMAGNOLO

AES - SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE.

Unità costituita da depositi alluvionali intravallivi, terrazzati, di conoide alluvionale ghiaiosa e di interconoide. Dove non è suddivisa in subsintemi l'unità è composta da ghiaie e ghiaie sabbiose prevalenti, localmente cementate: depositi alluvionali terrazzati. Lo spessore dei depositi terrazzati non supera i 25 m; il profilo di alterazione è molto evoluto e raggiunge i 7-8 m di profondità. L'Unità presenta una copertura fine, composita, con spessore massimo di 4 m, costituita da limi e limi argillosi giallastri. Il suo profilo di alterazione è molto evoluto. Il tetto è rappresentato dalla superficie topografica, mentre il contatto di base è erosivo e discordante su unità più antiche. Lo spessore complessivo varia da 0 a 120 m circa. Pleistocene medio-Olocene.

AES8 - SUBSINTEMA DI RAVENNA

Ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati con copertura discontinua di limi argillosi: depositi intravallivi terrazzati e di conoide ghiaiosa. Limi e limi sabbiosi: depositi di interconoide. Il profilo di alterazione varia da qualche decina di cm fino ad 1 m. Il tetto dell'unità corrisponde alla superficie deposizionale, per gran parte relitta, che coincide col piano topografico attuale, mentre il contatto di base è discordante sulle unità più antiche. Lo spessore massimo è inferiore ai 20 m. Pleistocene sup. - Olocene; post ≈ 18.000 anni B.P.

AES8a - Unità di Modena

Ghiaie prevalenti e sabbie, ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua: depositi alluvionali intravallivi, terrazzati, e di conoide. Il profilo di alterazione è di esiguo spessore (poche decine di cm). Lo spessore massimo dell'unità è di alcuni metri. Olocene.

AES7 - SUBSINTEMA DI VILLA VERUCCHIO

Ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati, localmente con copertura discontinua di limi argillosi: depositi di conoide ghiaiosa e depositi intravallivi terrazzati. Il profilo di alterazione presenta uno spessore fino a 4-5 m. Il tetto dell'unità è rappresentato dalla superficie topografica, mentre il contatto di base è erosivo e discordante sulle unità più antiche. Lo spessore massimo dell'unità è di circa 30 m. Pleistocene superiore.

AES7b - Unità di Vignola

Ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati, localmente con copertura discontinua di limi argillosi: depositi di conoide ghiaiosa e depositi intravallivi terrazzati. Il profilo di alterazione presenta uno spessore fino ad 1.5-2 m. Lo spessore massimo dell'unità è di circa 20 m. Pleistocene superiore.

AES7a - Unità di Niviano

Ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati: depositi di conoide ghiaiosa e depositi intravallivi terrazzati. Limi e limi sabbiosi con intercalazioni di ghiaie e sabbie: depositi di interconoide. Il profilo di alterazione dell'unità è molto evoluto e raggiunge i 4-5 m di profondità. L'unità presenta una copertura fine, composita e discontinua, di spessore fino a 2 m, costituita da limi e limi argillosi giallastri; il profilo di alterazione è molto evoluto. Lo spessore massimo dell'unità è di poche decine di metri. Pleistocene superiore.

AES3 - SUBSINTEMA DI AGAZZANO

Ghiaie e ghiaie sabbiose prevalenti: depositi alluvionali intravallivi e di conoide ghiaiosa; sabbie e limi argillosi, con subordinati livelli di ghiaie e sabbie, localmente stratificati: depositi di interconoide. I depositi intravallivi sono spesso terrazzati. Il profilo di alterazione dell'unità è molto evoluto e raggiunge i 7-8 m di profondità. L'unità presenta una copertura fine, composita, dello spessore massimo di 4 m, costituita da limi e limi argillosi giallastri contenenti manufatti del Paleolitico medio. Il profilo di alterazione è molto evoluto. Il contatto di base è erosivo e discordante. Spessore variabile da alcuni metri a 25-30 m. Pleistocene medio.

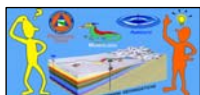
AES2 - SUBSINTEMA DI MAIATICO

Ghiaie e ghiaie sabbiose prevalenti, localmente cementate: depositi alluvionali intravallivi e di conoide ghiaiosa; limi argillosi e sabbie con subordinati livelli di ghiaie: depositi di interconoide. I depositi intravallivi delle valli del Nure e del Trebbia sono spesso terrazzati ed il profilo di alterazione è molto evoluto e raggiunge i 7-8 m di profondità. L'unità presenta una copertura fine, composita, con spessore massimo di 4 m, costituita da limi \pm argillosi giallastri con profilo di alterazione molto evoluto contenenti manufatti del Paleolitico medio. Il contatto basale è in genere erosivo e discordante su unità più antiche; il passaggio con AES è erosivo e discordante a Sud di Ponte dell'Olio mentre verso Nord diventa continuo e concordante. Lo spessore è variabile e non supera i 40 m. Pleistocene medio.

SUPERSITEMA DEL QUATERNARIO MARINO

CMZ - SINTEMA DI COSTAMEZZANA

Nell'area del Foglio 180: corpi metrici lenticolari di ghiaie, raramente gradate, amalgamate con matrice sabbiosa e clasti pelitici anche di grandi dimensioni (metrici), sabbie medie o fini ben selezionate con localmente sviluppo di stratificazione obliqua, laminazione piano-parallela, HCS. Intercalazioni lenticolari di ghiaie fini e medie in matrice sabbiosa. Argille e limi grigio-nerastri fossiliferi e bioturbati, frustoli vegetali. Depositi di fan-delta e di ambienti marino-marginali e continentali. Contatto basale erosivo o netto e discordante sulle unità sottostanti. Spessore variabile da alcuni metri a qualche centinaio di metri. Pleistocene inferiore.



ATS - SINTEMA DEL TORRENTE STIRONE

Unità limitata alla base da un'importante superficie di discontinuità e costituita da corpi lenticolari metrici ghiaioso-sabbiosi con stratificazione incrociata con base è netta e spesso erosiva, diffusi clay chips. Presenti strati sabbiosi, da tabulari a lenticolari con laminazioni piano-parallele, HCS ed accumuli bioclastici concentrati in livelli sottili. Depositi sabbiosi e sabbioso-siltosi fossiliferi molto bioturbati e con laminazioni incrociate. Limi e limi sabbiosi contenenti frustoli vegetali e macrofossili. Depositi di fan-delta e di ambienti marino-marginali e continentali. Contatto basale erosivo o netto e discordante su BDG. Spessore variabile tra i 50 e gli 80 m. Spessore massimo nel sottosuolo circa 400 m. Pleistocene inf.

SUPERSITEMA DELLA VAL D'ARDA

BDG - SINTEMA DI BADAGNANO

Unità limitata alla base da un'importante superficie di discontinuità affiorante, comprendente la parte medio-superiore dell'unità litostratigrafica della Formazione di Castell'Arquato (Auctt.). E' costituita da argilliti e siltiti bioturbate, livelli conglomeratici, localmente gradati, e arenarie in strati tabulari e lenticolari, spesso amalgamati con laminazioni tipo hummocky; strutture da sfuggita d'acqua e intensa bioturbazione. Presenti interstrati pelitici discontinui, spesso erosi e ridotti in brandelli (clay chips) e livelli sottili e cementati di conglomerati con diffusi bioclasti. Depositi di fronte deltizio e di prodelta, associati a depositi marino-marginali e di piattaforma s.l.. Contatto netto ed erosivo su KER1 e KER2. Spessore massimo di circa 80-90 m. Spessore massimo nel sottosuolo circa 700 m. Pliocene superiore.

BDGa - LITOZONA CALCARENITICA DI CASTELL'ARQUATO

Calcareni bioclastiche con basso contenuto di matrice, spesso ben cementate, con resti di alghe, gasteropodi e bivalvi (soprattutto pectinidi come *Aequipecten scabrella*, *Amusium cristatum*, *Pecten flabelliformis*) e con intercalati livelli di argilliti e siltiti bioturbate. Le calcareniti costituiscono corpi da 6 a 10 m di spessore con stratificazioni complesse, in cui predominano quelle incrociate a grande scala; si osservano anche clinostatificazioni giganti, in cui i foreset raggiungono i 25 m di altezza. Depositi di piattaforma. Contatto netto su KER2. Pliocene superiore.

KER - SINTEMA DEL TORRENTE CHERO

Unità costituita da depositi prevalentemente siltitico-arenitici di piattaforma. La base coincide con una importante superficie di discontinuità che ha una chiara evidenza sia in superficie (corrisponde al contatto netto tra le argille di mare relativamente profondo e i depositi arenitici di piattaforma, sia nelle immagini di sottosuolo. Corrispondente alla parte superiore delle Argille di Lugagnano Auctt. ed alla parte inferiore dell'unità litostratigrafica della Formazione di Castell'Arquato Auctt. Suddivisa in due subsintemi distinti sulla base della diversa organizzazione dei sistemi deposizionali e del riconoscimento di superfici di discontinuità di ordine gerarchico inferiore. Pliocene inferiore-superiore.

KER2 - SUBSINTEMA DI MONTE GIOGO

Depositi pelitici e siltosi bioturbati e fossiliferi a cui si intercalano tre corpi tabulari calcarenitici, spessi fino a una decina di metri e con stratificazione incrociata, ben cementati, composti da resti di alghe, bivalvi, gasteropodi ed echinodermi. Depositi di piattaforma. Corrisponde alla parte inferiore della Formazione di Castell'Arquato Auctt. Contatto basale netto su KER1. Spessore circa 100-120 m. Spessore massimo nel sottosuolo circa 300 m. Pliocene superiore.

KER1 - SUBSINTEMA DI MONTEZAGO

Areniti fini e siltiti grigie bioturbate e fossilifere, in strati tabulari, spesso amalgamati; locali livelli conglomeratici ed accumuli bioclastici. Depositi di piattaforma. Corrisponde con la porzione superiore delle Argille di Lugagnano Auctt. e la porzione basale della Formazione di Castell'Arquato Auctt. Spessore massimo circa 200 m. Spessore massimo nel sottosuolo circa 300 m. Pliocene inf.-sup.

KER1b - litozona superiore di Montezago: Argille e siltiti bioturbate. Spessore massimo di 150 m.

KER1a - litozona inferiore di Montezago: Depositi arenitici massivi, localmente conglomeratici e bioclastici, intercalazioni pelitiche. Spessore massimo circa 50 m.

SUPERSITEMA POST EVAPORITICO

FAA - ARGILLE AZZURRE

Peliti marnose, grigio-azzurre massive a frattura concoide, con rari livelli sabbioso-siltosi per lo più concentrati nella porzione basale della formazione e rari livelli siltosi in quella superiore. Frequenti microfossili (foraminiferi planctonici) e macrofossili (lamellibranchi, gasteropodi, pteropodi, eccezionalmente resti di mammiferi sia marini che terrestri). Depositi distali di piattaforma e di bacino. Spessore massimo 600 m. Pliocene inferiore.



5 – ASSETTO GEOMORFOLOGICO

Il territorio comunale è parte del margine appenninico e dell'alta pianura padana ed è quindi caratterizzato dal passaggio tra le morfologie collinari e le valli intrappenniniche, presenti nel settore Sud, e tra essi e le vaste superfici subpianeggianti che caratterizzano il settore Nord.

Come visibile in cartografia geologica, la "struttura portante" del territorio collinare è costituita da depositi argilloso-siltosi di origine marina cui si intercalano corpi calcarenitici a diverso grado di cementazione che raggiungono il loro massimo spessore in corrispondenza del centro storico di Castell'Arquato, ove affiorano formando una netta scarpata morfologica.

Il raccordo tra i rilievi e le aree pianeggianti dei fondovalle intramontani o padani, si attua attraverso un articolato sistema di depositi alluvionali terrazzati tra loro separati da scarpate fluviali, di origine prevalentemente eustatica, a diverso sviluppo verticale.

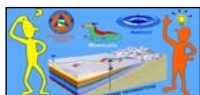
Ogni "terrazzo" è di norma costituito da corpi ghiaioso-sabbiosi di conoide ricoperti da limi più o meno sabbiosi di piana esondabile.

I conoidi fluviali formati allo sbocco delle valli intrappenniniche nella pianura padana appaiono oggi scarsamente attivi a causa del drastico abbassamento del livello di base dei torrenti che li hanno formati e che oggi li incidono profondamente, abbassamento innescatosi a causa dell'intensa erosione regressiva indotta dall'eccessivo prelievo di materiali litoidi in alveo per usi antropici; nel caso del torrente Arda inoltre, la presenza della Diga di Mignano, di briglie e di altre opere deputate a favorire il ripascimento "in loco" del materasso alluvionale ha ridotto di fatto il trasporto verso valle dei sedimenti.

I corsi d'acqua minori sono anch'essi in genere interessati da un'erosione regressiva del fondo che, sui versanti più ripidi e per questo in genere non antropizzati, favorisce lo sviluppo di movimenti gravitativi talora difficilmente individuabili se non quando iniziano ad interessare le porzioni antropizzate del territorio.

Le aree calanchive che nel corso degli ultimi decenni hanno subito una marcata riduzione e rivegetazione, appaiono oggi localmente in ripresa probabilmente in funzione di una maggior persistenza del manto nevoso nei recenti inverni.

I rilievi condotti non hanno comunque evidenziato significative variazioni rispetto alle caratteristiche geomorfologiche d'insieme riportate nel PSC vigente, se non modeste riattivazioni di scivolamenti dalle aree calanchive oltre a ridotti e localizzati movimenti gravitativi, tanto che allo stato attuale delle conoscenze si è ritenuto di poter fare riferimento alla Carta del Dissesto allegata al PSC.



6- FENOMENI DI DISSESTO

I fenomeni di dissesto che interessano il territorio comunale sono riconducibili sia a processi gravitativi di versante che a processi di dinamica fluvio-torrentizia. Mentre i primi sono per lo più riconducibili alla plasticizzazione ed allo scivolamento dei depositi coesivi sovrassaturi non cementati ed in minor misura ai fenomeni di crollo che si verificano in testata alle aree calanchive o nelle pareti ove affiorano le bancate calcarenitiche, i secondi sono riconducibili alla marcata erosione di fondo e spondale operata dai corsi d'acqua che cercano di ripristinare il loro naturale profilo d'equilibrio a suo tempo alterato dall'intensa escavazione di materiali litoidi.

A queste cause si associano, anche se in minor misura, quelle attività antropiche (apertura/modifica di tracciati stradali, nuove costruzioni, scassi agronomici, disboscamenti, realizzazione di piccoli bacini irrigui, scavi e riporti ecc...) spesso eseguite sottovalutando gli effetti da esse indotti se non si è in grado di realizzare una corretta rete di regimazione delle acque e, soprattutto, di garantirne un'adeguata manutenzione nel tempo.

In considerazione del fatto che in questi anni non si sono registrate significative variazioni rispetto al quadro conoscitivo del PSC vigente, se non stagionali riattivazioni di scivolamenti dalle aree calanchive oltre a piccoli e localizzati movimenti gravitativi innescatisi in corrispondenza di esili coltri eluvio-colluviali di versante, allo stato attuale delle conoscenze ed in relazione agli ambiti d'intervento proposti si è ritenuto di poter recepire i contenuti della *"Carta Inventario delle frane dell'Emilia-Romagna"* - edizione giugno 2018 della quale si riporta stralcio nella pagina seguente e legenda qui in calce.

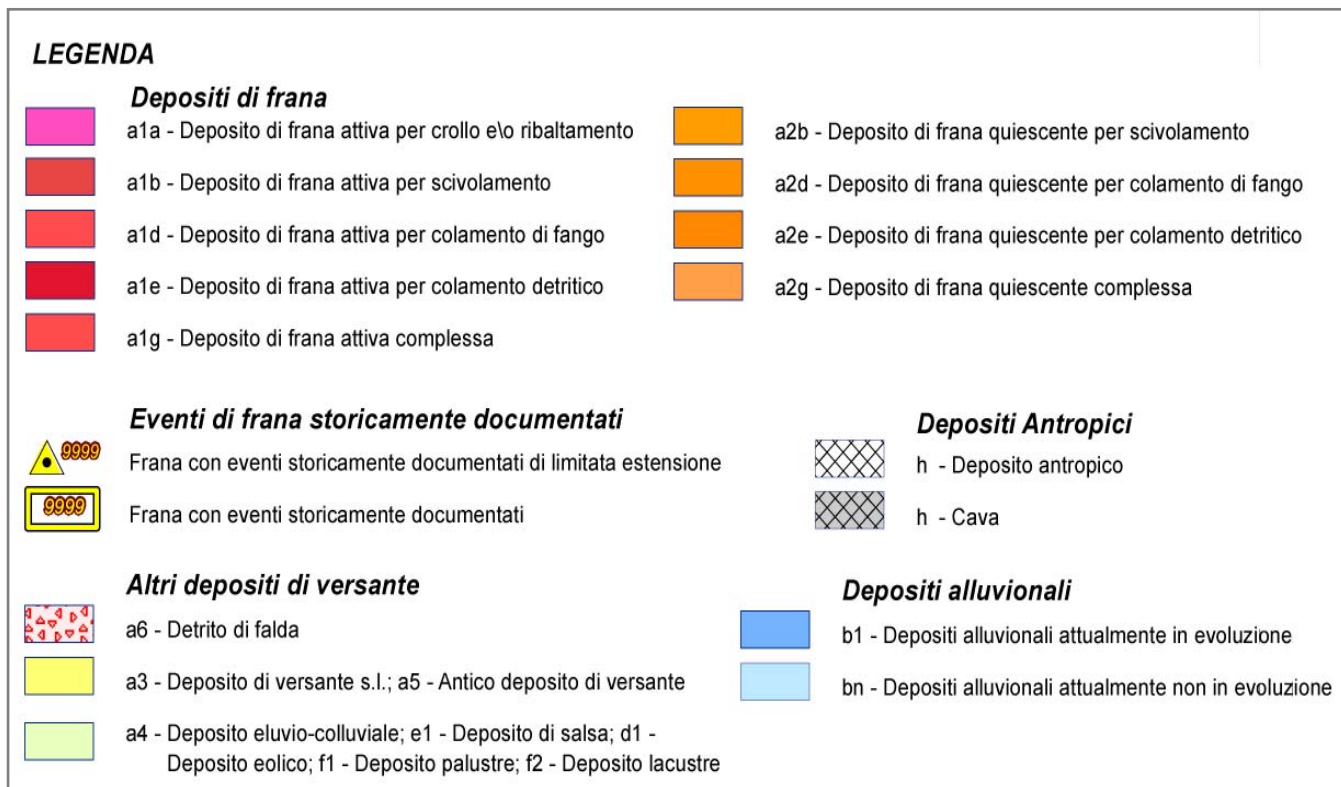
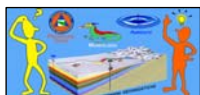


FIG. 28 - LEGENDA CARTA INVENTARIO DELLE FRANE DELL'EMILIA-ROMAGNA



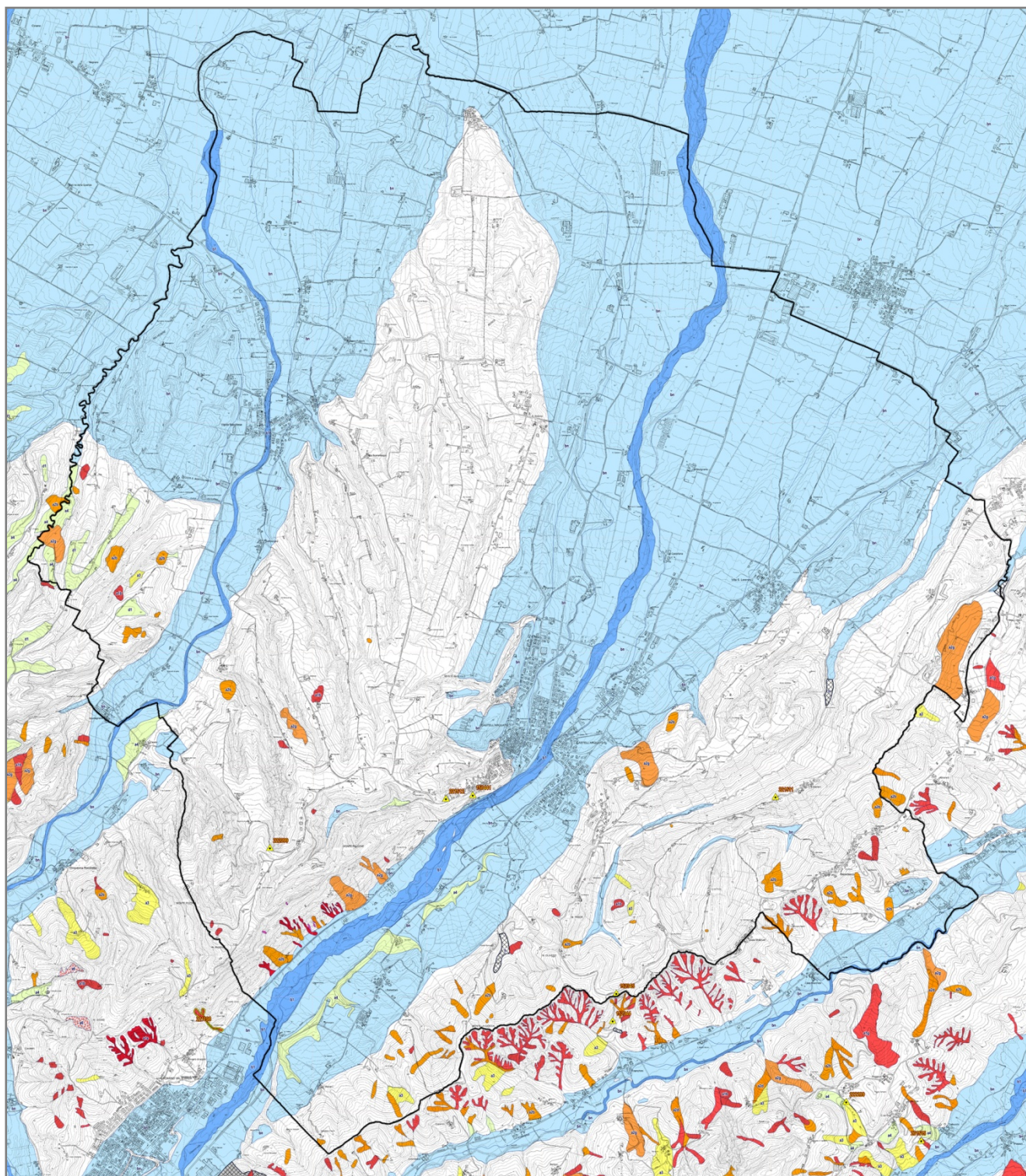


FIG. 29 - CARTA INVENTARIO DELLE FRANE DELL'EMILIA-ROMAGNA
Stralcio edizione giugno 2018



6.1 - DISSESTI GRAVITATIVI ATTIVI

La maggior parte dei dissesti attivi (a_1) di origine gravitativa sono qui riconducibili a scivolamenti e colate in massa che coinvolgono i materiali argilloso-limosi accumulatisi per disgregazione e dilavamento alla base delle aree calanchive, anche se oggi boscate; si tratta di frane ad attività intermittente con tempi di ritorno stagionali anche se talora pluriennali. Più limitata e spazialmente ridotta è la presenza di piccole frane di crollo dalla parete calcarenitica che delimita a Est il borgo medioevale di Castell'Arquato; per quanto storicamente noto si tratta infatti di distacchi "puntuali" conseguenti all'infiltrazione di acque meteoriche che coinvolgono limitate porzioni degli strati calcarenitici qui disposti a reggipoggio,

In considerazione del database collegato alla cartografia interattiva del dissesto elaborata dal Servizio Geologico e Sismico della Regione e Emilia-Romagna, i dissesti gravitativi attivi nel territorio arquatese sono riferibili alle seguenti tipologie :

- Deposito di frana per crollo e/o ribaltamento (a_{1a})

Deposito originato da distacco di rocce litoidi da un pendio acclive e messo in posto con processi di caduta libera, rimbalzo e rotolamento di ciottoli e massi. L'accumulo detritico è costituito da materiale eterogeneo ed eterometrico, con frammenti litoidi di dimensioni variabili tra qualche cm³ e decine di m³, privo di matrice o in matrice sabbioso-pelitica a luoghi alterata e pedogenizzata. E' caratteristica la riattivazione improvvisa e la estrema velocità del movimento.

- Deposito di frana per scivolamento (a_{1b})

Deposito originato dal movimento verso la base del versante di una massa di terra o roccia, che avviene in gran parte lungo una superficie di rottura o entro una fascia, relativamente sottile, di intensa deformazione di taglio.

- Deposito di frana per colamento lento (a_{1d})

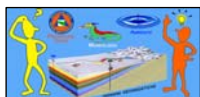
Deposito messo in posto da movimento distribuito in maniera continuata all'interno della massa spostata. Le superfici di taglio all'interno di questa sono multiple, temporanee e generalmente non vengono conservate. I materiali coinvolti sono per lo più coesivi. I depositi più frequenti sono costituiti in prevalenza da una matrice pelitica e/o pelitico-sabbiosa che include clasti di dimensioni variabili.

- Deposito di frana per colamento detritico (a_{1e})

Deposito messo in posto da movimento distribuito in maniera continuata all'interno della massa interessata. Le superfici di taglio all'interno di quest'ultimas sono multiple, temporanee e generalmente non vengono conservate. I materiali coinvolti sono per lo più granulari ed i depositi più frequenti sono prevalentemente costituiti da una matrice pelitica e/o pelitico-sabbiosa che include clasti di dimensioni variabili, le colate di detrito sono più rare. L'attività può essere continua o, più spesso, intermittente ad andamento stagionale o pluriennale. Vengono inclusi in questa categoria anche depositi di frane che al momento del rilevamento non presentano sicuri segni di movimento ma che denotano comunque una recente attività ben documentata da indizi (lesioni a manufatti, assente o scarsa vegetazione, terreno rimobilizzato) evidenti all'occhio del tecnico rilevatore.

- Deposito di frana complessa (a_{1g})

Deposito messo in posto in seguito alla combinazione nello spazio e nel tempo di due o più tipi di movimento.



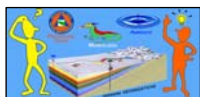
6.2 - DISSESTI GRAVITATIVI QUIESCENTI

Sul territorio comunale sono presenti anche corpi franosi quiescenti (a_2), in genere di origine complessa in quanto derivanti dalla combinazione spazio-temporale di diverse tipologie di movimento (scivolamento, traslazione...), per i quali sussistono oggettive possibilità di riattivazione dato che le cause che hanno portato al loro innesco ed evoluzione sono potenzialmente ancora attive nell'attuale contesto morfoclimatico.

Si tratta per lo più di depositi gravitativi senza indizi di movimenti in atto o recenti, caratterizzati da profili regolari e da un aspetto paesaggistico d'insieme analogo a quello dei circostanti terreni non in frana, per i quali si ipotizzano, in base alle conoscenze storiche, possibili attività intermittenti con tempi di ritorno lunghi.

In considerazione del database collegato alla cartografia interattiva del dissesto elaborata dal Servizio Geologico e Sismico della Regione e Emilia-Romagna, i dissesti gravitativi quiescenti del territorio arquatese sono riferibili alle seguenti tipologie :

- Depositi di frana per scivolamento (a_{2b}) (descrizione analoga ad a_{1b})
Deposito originato dal movimento verso la base del versante di una massa di terra o roccia, che avviene in gran parte lungo una superficie di rottura o entro una fascia, relativamente sottile, di intensa deformazione di taglio. Deposito gravitativo senza evidenze di movimenti in atto o recenti. Generalmente si presenta con profili regolari, vegetazione con grado di sviluppo analogo a quello delle aree circostanti non in frana, assenza di terreno smosso e assenza di lesioni recenti a manufatti, quali edifici o strade.
- Depositi di frana per colamento lento (a_{2d}) (descrizione analoga ad a_{1d})
Deposito messo in posto da movimento distribuito in maniera continuata all'interno della massa spostata. Le superfici di taglio all'interno di questa sono multiple, temporanee e generalmente non vengono conservate. I materiali coinvolti sono per lo più coesivi. I depositi più frequenti sono costituiti in prevalenza da una matrice pelitica e/o pelitico-sabbiosa che include clasti di dimensioni variabili. Deposito gravitativo senza evidenze di movimenti in atto o recenti. Generalmente si presenta con profili regolari, vegetazione con grado di sviluppo analogo a quello delle aree circostanti non in frana, assenza di terreno smosso e assenza di lesioni recenti a manufatti, quali edifici o strade.
- Deposito di frana per colamento rapido (a_{2e})
Deposito messo in posto da movimento distribuito in maniera continuata all'interno della massa spostata. Le superfici di taglio all'interno di questa sono multiple, temporanee e generalmente non vengono conservate. I materiali coinvolti sono per lo più granulari. I depositi più frequenti sono costituiti in prevalenza da una matrice pelitica e/o pelitico-sabbiosa che include clasti di dimensioni variabili. Le colate di detrito sono più rare.
- Deposito di frana complessa (a_{2g})
Deposito messo in posto in seguito alla combinazione nello spazio e nel tempo di due o più tipi di movimento.

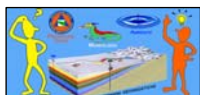


6.3 - DISSESTI POTENZIALI

Nella carta sono altresì rappresentati altri depositi che pur non essendo direttamente riferibili a frane possono essere di utilità per la comprensione complessiva delle dinamiche di versante e dell'evoluzione morfologica di questi ultimi. Tali depositi sono indicati nel PTCP come passibili di dissesto potenziale e sono:

- Deposito di versante s.l. (a_3)
Deposito costituito da litotipi eterogenei ed eterometrici più o meno caotici. Frequentemente l'accumulo si presenta con una tessitura costituita da clasti di dimensioni variabili immersi e sostenuti da una matrice pelitica e/o sabbiosa (che può essere alterata per ossidazione e pedogenesi), a luoghi stratificato e/o cementato. La genesi può essere dubitativamente gravitativa, da ruscellamento superficiale e/o da soliflusso.
- Deposito eluvio-colluviale (a_4)
Coltre di materiale detritico, generalmente fine (sabbie, limi e peliti) prodotto da alterazione "in situ" o selezionato dall'azione mista delle acque di ruscellamento e della gravità, con a luoghi clasti a spigoli vivi o leggermente arrotondati.
- Detrito di falda (a_6)
Accumuli detritici di origine mista, generati da fenomeni di crollo di tipo intermittente, che sono stati rielaborati da fenomeni di gelo-disgelo e dal ruscellamento delle acque superficiali; si trovano alla base di scarpate e lungo versanti molto acclivi.
- Depositi alluvionali in evoluzione (b_1)
Ghiaie, talora embriciate, sabbie e limi argillosi di origine fluviale, attualmente soggetti a variazioni dovute alla dinamica fluviale; detrito generalmente incoerente e caotico, costituito da clasti eterometrici ed eterogenei, talora arrotondati, in matrice sabbiosa, allo sbocco di impluvi e valli secondarie.
- Depositi alluvionali attualmente non in evoluzione (b_n)
Sabbie, ghiaie e limi di origine fluvio-alluvionale attualmente non interessati da dinamiche fluviali poiché posti lateralmente o a quote più alte rispetto al livello attuale dell'alveo di piena ordinaria.
- Depositi antropici (h)
Coperture oloceniche riconducibili al naturale riempimento di piccoli bacini lacustri di origine antropica un tempo utilizzati ad uso agricolo.

In funzione della loro genesi e storia evolutiva, tutti i depositi di cui sopra possono essere maggiormente soggetti a mobilitazione e/o rapida evoluzione in caso di evento sismico rispetto alle aree ad oggi "stabili". Anche i depositi alluvionali non in evoluzione possono essere oggetto di destabilizzazione se adiacenti a margini spondali attivi o a scarpate di terrazzo, sia in corrispondenza del pendio sotteso sia della zona retrostante a partire dall'orlo superiore e per una fascia di larghezza pari ad almeno l'altezza del pendio sotteso.



7 - DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

7.1 - BANCA DATI REGIONALE E COMUNALE

I dati geologici, litostratigrafici, idrogeologici e geomorfologici acquisiti ed elaborati dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale costituiscono una [banca dati](#) di importanza fondamentale per la conoscenza del sottosuolo regionale ed una imprescindibile base conoscitiva sulla quale impostare gli studi di Microzonazione Sismica.

Un'altra importante fonte di dati per il presente studio è stato l'archivio cartaceo dell'Ufficio Tecnico Comunale ove è conservata copia degli studi geologico-tecnici e sismici condotti in ambito locale a corredo della pianificazione comunale, di opere pubbliche, di PUA, di progetti edili ecc..

Gli elaborati così acquisiti sono poi stati digitalizzati e georiferiti al fine di consentirne l'utilizzo anche in ambiente GIS; sia i dati di base, che i dati elaborati sono stati organizzati in formato vettoriale "shapefile".

7.2 - INDAGINI SISMICHE E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

In considerazione delle indagini così raccolte e delle previsioni di pianificazione comunale, si sono poi individuate le zone su cui concentrare la nuova campagna di indagini geognostiche al fine di acquisire dati utili ad una più attenta definizione del modello geologico delle aree su cui sviluppare la microzonazione sismica. Si è così progettata e condotta una nuova campagna di indagine nel corso della quale si sono effettuate:

- n. 4 indagini di sismica attiva tipo MASW (*Multi-channel analysis of surface waves, Park et alii, 1999*) tese ad integrare i dati disponibili sui profili medi di velocità delle onde di taglio dal piano campagna alla prima importante interfaccia elastico-acustica assimilabile al substrato rigido;
- n. 29 indagini di sismica passiva tipo HVSr a stazione singola per la registrazione del rumore sismico di fondo (seismic noise) indotto da fattori sia naturali che antropici e per valutare qualitativamente situazioni di possibile amplificazione del moto del suolo durante un evento sismico. Le frequenze di sito così rilevate sono utilizzabili anche in fase di progettazione ingegneristica al fine di prevenire o mitigare potenziali fenomeni di doppia risonanza connessi a peculiari geometrie degli edifici di nuova costruzione.

Come noto infatti, in un mezzo stratificato le onde Rayleigh si comportano in modo dispersivo, il che implica che onde con diverse lunghezze d'onda si propagano all'interno del mezzo attraversato con differenti velocità di fase e diversa velocità di gruppo (Achenbach J.D. 1999; Aki K. e Richards P.G. 1980). La natura dispersiva di tali onde consente quindi di ottenere informazioni sull'assetto litostratigrafico del sottosuolo in relazione al fatto che mentre le onde ad alta frequenza e breve lunghezza d'onda si propagano negli strati più superficiali, fornendo informazioni sul tale porzione della successione stratigrafica, le onde a bassa frequenza e a maggior lunghezza d'onda si propagano negli strati più profondi fornendo informazioni su questi ultimi. Per l'indagine MASW si è utilizzato un sismografo Ambrogeo Echo a 24 canali, collegato ad uno stendimento di 24 geofoni verticali a frequenza propria di 4.5 Hz con equidistanza intergeofonica costante di 2 metri, energizzando il suolo mediante massa battente, con punti di impatto successivi posti a 2,5 m, 5 m e 10 m dal primo geofono.





FIG. 30 - ESECUZIONE INDAGINE MASW IN LOCALITÀ DOPPI

Per la misure HVSR si è utilizzato un tromografo digitale a stazione singola MICROMED © Tromino, in grado di registrare mediante velocimetri i microtremori di un ampio intervallo di frequenze (0.1-100 Hz) e per una durata sufficientemente lunga (16 minuti), sia lungo le direzioni orizzontali (X, Y) sia lungo quella verticale (Z). Particolare attenzione è stata posta nel fissare il tromografo al terreno e nell'evitare giornate ventose.

I dati così acquisiti sono poi stati elaborati e restituiti graficamente in forma di spettri H/V (rapporto H/V in funzione della frequenza) e spettri delle singole componenti del moto in funzione della frequenza per ognuna delle tre direzioni.

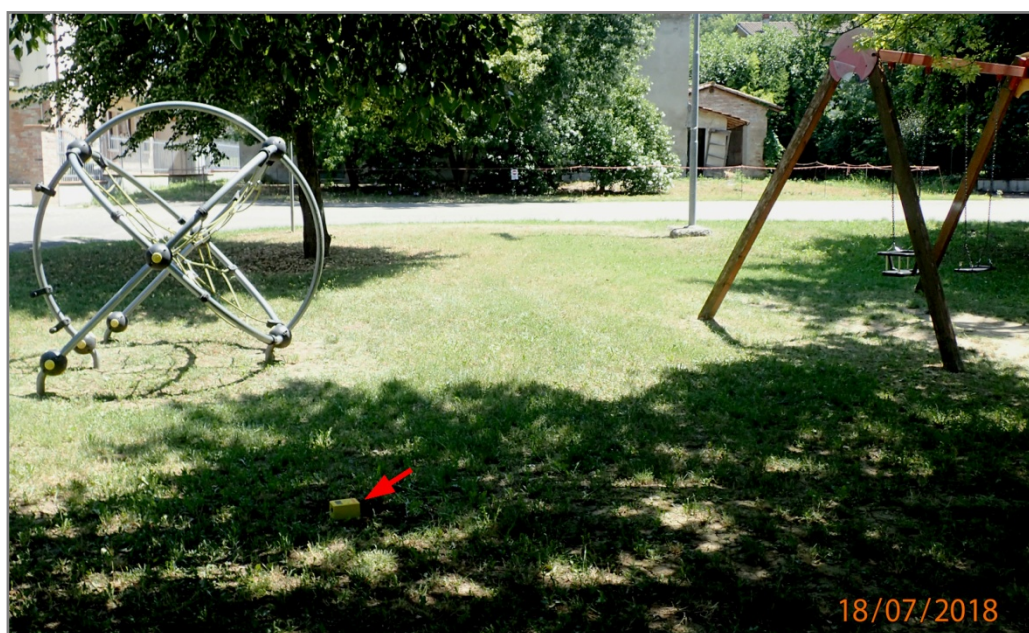


FIG. 31 - ESECUZIONE INDAGINE HVSR IN LOCALITÀ VIGOLO MARCHESE

Le coordinate geografiche dei punti di rilievo sono state plottate nel sistema WGS-1984-UTM-ZONE-33N. Tutte le indagini considerate per il presente studio sono riportate nella tavola “Carta delle indagini”.



8 - MODELLO GEOLOGICO DEL SUBSTRATO

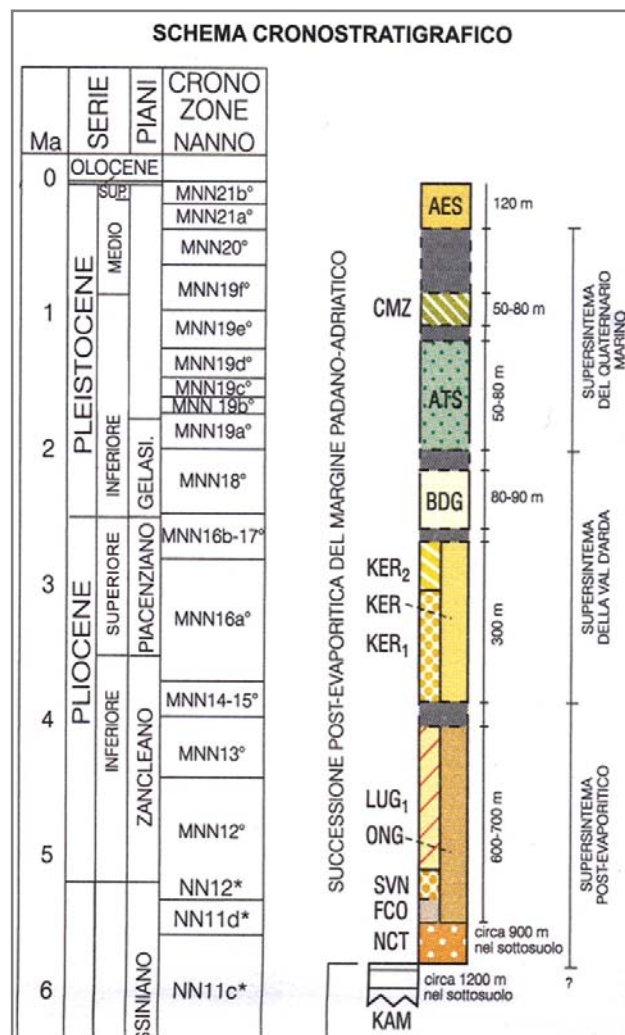
Come visibile nell'immagine geologica d'insieme del capitolo 5, il territorio comunale di Castell'Arquato è caratterizzato dalla presenza in affioramento di sedimenti pertinenti al Supersistema Post Evaporitico (FAA) ed al Supersistema della Val d'Arda (KER, BDG) nel suo settore meridionale, da depositi afferenti Supersistema del Quaternario Marino (ATS, CMZ) nella suo settore centro-meridionale e da sedimenti appartenenti al Supersistema Emiliano-Romagnolo nel suo settore centrale e settentrionale e nei fondovalle principali.

Non sono qui noti affioramenti del Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI) che non viene neppure riportato nelle sezioni geologiche riportate nel capitolo 2 e neppure nello schema cronostratigrafico reperibile sul Foglio 180 "Salsomaggiore Terme" del progetto CARG di cui si riporta lo stralcio qui a fianco.

Le unità del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) sono litologicamente caratterizzate dalla prevalenza di ghiaie \pm sabbiose d'alveo alle quali si intercalano orizzonti limoso-argillosi intravallivi; nella porzione mediana del conoide le repentine variazioni litologiche laterali e verticali dei corpi ghiaioso-sabbiosi canalizzati rendono problematica, anche in rapporto al ridotto numero di sondaggi disponibili, un'adeguata ricostruzione del tetto delle ghiaie. Nel settore collinare il substrato marino è costituito da corpi prevalentemente argilloso-siltosi ai quali si intercalano con sempre maggior frequenza spostandosi da Sud verso Nord,

corpi sabbiosi tabulari ricchi di bioclasti che in corrispondenza di Castell'Arquato assumono la tipica geometria di una barra progradante, spesso alcune decine di metri, composta da orizzonti a diverso grado di cementazione. Il substrato, ove non affiorante, è in genere ricoperto dall'AES3, dall'AES7 e da esili lembi indistinti dell'AES i cui profili di alterazione sono in genere ben evoluti.

I dati di velocità delle onde di taglio così come i valori di risonanza fondamentale f_0 derivati dall'elaborazione dei dati HVSR, non consentono di identificare i depositi marini qui presenti come "bedrock sismico" ai sensi dell'ICMS in quanto caratterizzati da velocità $V_s < 800$ m/s. Questi depositi sono pertanto assimilabili ad un bedrock sismico non rigido ove la velocità delle onde di taglio supera raramente i 600 m/s.



9 - INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

La ricostruzione del modello geologico locale è ovviamente fortemente influenzata dalla qualità, dalla quantità e dalla distribuzione spaziale dei dati disponibili sul territorio. L'assetto geologico-stratigrafico del sottosuolo in ambito comunale è ad oggi per lo più noto in funzione degli studi condotti dal S.G.S.S. E-R basati sia su prove penetrometriche, carotaggi meccanici e pozzi per acqua sia sui dati derivanti dall'esplorazione petrolifera, che attraversano l'intera copertura fluvio-alluvionale e si spingono nel substrato geologico. Tuttavia in corrispondenza dei terrazzi fluviali così come in area di conoide mediana, ove le geometrie deposizionali non sono tabulari ma lenticolari e con andamento canalizzato, la correlabilità tra orizzonti è tutt'altro che immediata, il che implica che vi possano essere zone nelle quali l'interpolazione spaziale dei marker stratigrafici non sia del tutto realistica.

Analoga incertezza si riscontra nell'interpretazione dei valori di Vs attribuibili al corpo calcarenitico su cui sorge il nucleo medioevale di Castell'Arquato, che in relazione alle scelte di picking fatte in fase di elaborazione della curva paiono talora approssimare gli 800 m/s ma la cui peculiare geometria spaziale ed il disomogeneo grado di cementazione, uniti all'intenso grado di antropizzazione dell'area, non hanno permesso, nell'ambito del presente studio, un maggior grado di definizione.

Anche per quanto concerne l'assetto idrogeologico locale, benché noto a livello idrostratigrafico d'insieme, si ritiene esistano incertezze relative alla piezometria in ambito territoriale in quanto basata su interpretazioni che risentono non solo del ridotto numero di pozzi di osservazione, ma anche dell'aleatorietà del posizionamento dei filtri al loro interno. Questo implica un'oggettiva difficoltà nell'estrapolare al territorio i dati di soggiacenza registrati in tali pozzi, se non addirittura l'esistenza stessa di alcune falde, e quindi i reali range di oscillazione dei relativi acquiferi.

L'assetto stratigrafico elaborato per ciascuna delle microzone definite nella Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica si basa su successioni deposizionali prevalentemente ottenute da osservazioni di superficie, cartografia geologica ufficiale e dati geognostici puntuali ragion per cui, in relazione alla densità delle indagini ed all'intrinseca variabilità degli ambienti deposizionali continentali, vi possono essere locali scostamenti rispetto alle sequenze sedimentarie tipo.

In relazione a quanto sopra ed in un'ottica di una progressiva implementazione delle conoscenze territoriali, sarà quanto mai opportuno realizzare per ogni futuro intervento sul territorio comunale adeguati studi geologico-sismici supportati da indagini conoscitive atte a descrivere dettagliatamente le caratteristiche del sottosuolo locale.



10 - ELABORATI CARTOGRAFICI E RISULTATI

Lo studio così condotto è portato all'elaborazione delle 4 cartografie a scala 1:10.000 qui elencate :

- Carta delle indagini: ove sono riportate tutte le indagini, pregresse e non, classificate in base alla tipologia ed utilizzate nel corso dello studio;
- Carta geologico-tecnica: ove sono rappresentati gli elementi geologici e geomorfologici che possono influire, modificandolo, sul moto sismico in superficie;
- Carta delle frequenze naturali dei terreni: nella quale sono riportati i punti di misura delle indagini di sismica passiva HVSR, il valore della frequenza di risonanza fondamentale (corrispondente al picco significativo, F_0 , ricadente nell'intervallo di frequenza 0,1÷20Hz) e l'ampiezza di picco;
- Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS): dove si sono indicate le aree nelle quali si ritiene necessario effettuare ulteriori indagini e analisi di microzonazione sismica ed i relativi livelli di approfondimento; a tale proposito si è fatta una distinzione tra "zone di attenzione per instabilità", corrispondenti ad alcuni corpi frana immediatamente a valle dell'abitato di Bacedasco ove si ritiene possano essere richiesti approfondimenti di terzo livello, e "zone stabili suscettibili di amplificazioni locali", oggetto di approfondimenti di secondo livello, all'interno delle quali si sono operate ulteriori distinzioni su base litostratimetrica individuando così microzone omogenee.

In considerazione di questi elaborati ed in ordine ai dettami richiesti per l'analisi di Livello 2, si è poi operata una proposta di Microzonazione Sismica territoriale con definizione dell'amplificazione sismica mediante metodo semplificato utilizzando le tabelle e le formule indicate nell'Al.2 della DGR 2193/2015; tale proposta trova sintesi nelle seguenti cartografie, anch'esse in scala 1:10.000:

- Carta delle velocità delle onde di taglio S: ove sono riportati i punti di misura delle Vs con i relativi valori di Vs30 o VSH, ossia delle velocità delle onde di taglio mediate nei primi 30 metri di profondità o entro la profondità "H" corrispondente all'interfaccia copertura/substrato;
- Carta di microzonazione sismica: in cui sono riportate le amplificazioni stimate con procedura semplificata per gli ambiti territoriali oggetto di zonizzazione. Tali amplificazioni sono state stimate sia in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA_0) sia in termini di rapporto di Intensità di Housner (SI/SI_0) per prefissati intervalli periodici (0,1-0,5s e 0,5-1s).

Qui di seguito sono riportate nello specifico le caratteristiche di ciascuna delle Carte di cui sopra ed i dati in esse rappresentati.



10.1 - CARTA DELLE INDAGINI

In questa carta è rappresentata l'ubicazione delle indagini geognostiche e/o geofisiche utilizzate per il presente lavoro, sia quelle di nuova esecuzione sia quelle scelte tra le pregresse recuperate presso l'Ufficio Tecnico Comunale o nel database fornito dal Servizio Geologico Regionale.

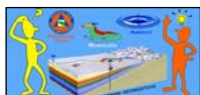
Tali indagini sono state distinte in base alla tipologia così come riportato in legenda:



FIG. 32 - LEGENDA CARTA DELLE INDAGINI

e nella seguente tabella :

TIPO INDAGINE	N° INDAGINI ACQUISITE		
	ARCHIVIO UTC	DATA BASE R.E.-R.	NUOVE INDAGINI
Sondaggi a carotaggio continuo (SS)	5		
Prove penetrometriche statiche (CPT)	89		
Prove penetrometriche dinamiche pesanti/superpesanti (DP - DPSH)	55		
Prove penetrometriche dinamiche leggere/medie (DL - DM)	37		
Pozzi per acqua (PA)		21	
Stazioni microtremore a stazione singola (HVSr)	25		29
MASW	30		4
Profili sismici a rifrazione	2		



10.2 - CARTA GEOLOGICO-TECNICA PER LA MICROZONAZIONE SISMICA (CGT_MS)

Per la predisposizione di questo elaborato si è fatto riferimento alle informazioni di base (geolitoologiche, litotecniche, geomorfologiche...) reperibili nel "Foglio 180 - Salsomaggiore Terme" del progetto CARG, nei documenti di pianificazione territoriale (PTCP, PSC ecc...) oltre che a quanto acquisito nel corso delle indagini e dei sopralluoghi effettuati a più riprese sul territorio indagato.

Allo scopo di migliorare la comprensione del modello geologico locale, vengono qui riproposti tratti ingranditi delle Sezioni Sismiche n.71 e n.72, tra loro perpendicolari.

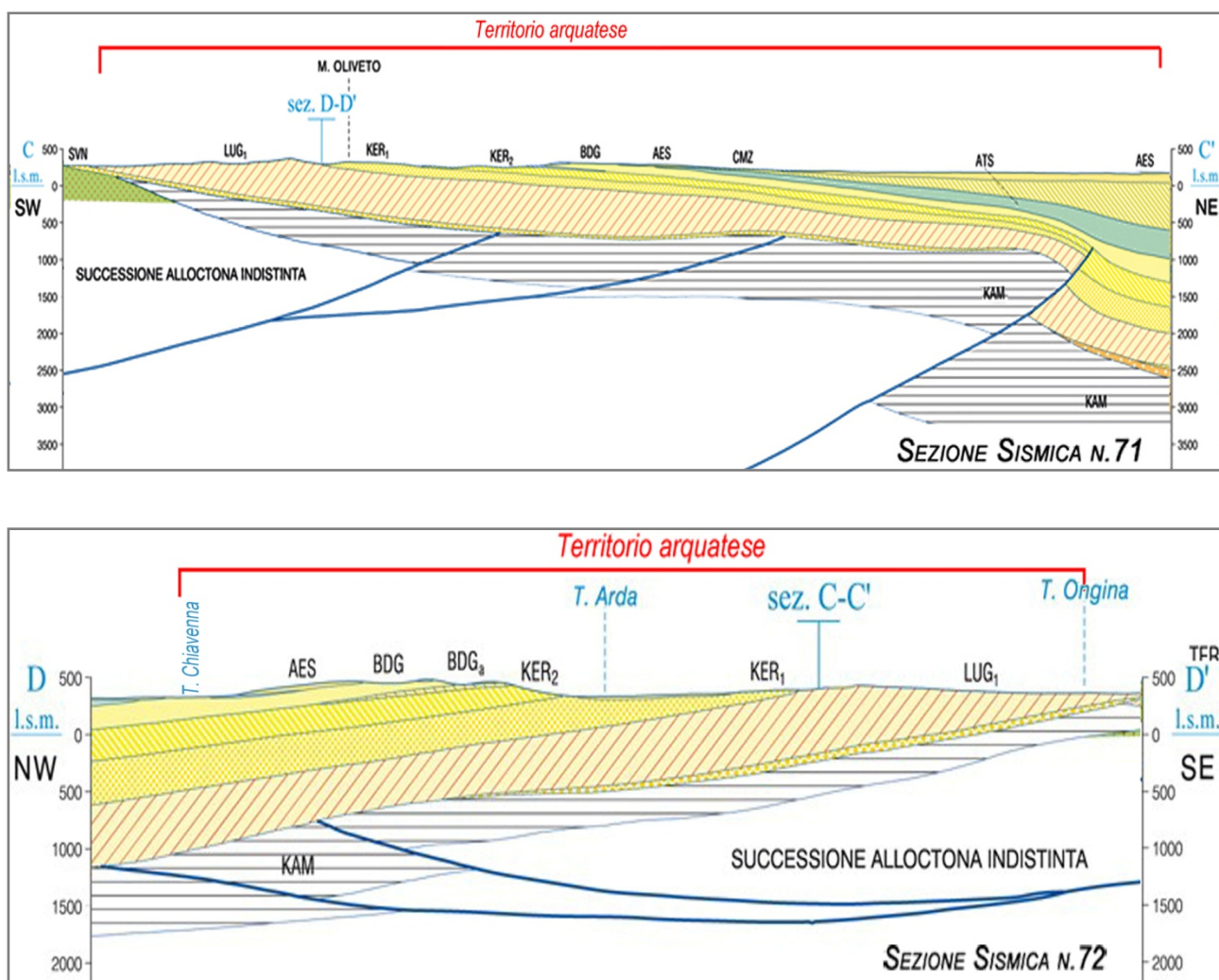
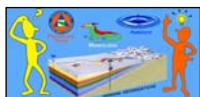


FIG. 33 - STRALCIO SEZIONI SISMICHE CHE ATTRAVERSANO IL TERRITORIO ARQUATESE
(Fonte Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regione Emilia-Romagna)

Da un punto di vista litostratigrafico il territorio comunale può essere sinteticamente suddiviso nei seguenti settori "omogenei":

- settore planiziale centrale e settentrionale, di transizione tra il margine appenninico e l'alta pianura, ove il substrato geologico marino "non rigido" di età Plio-Pleistocenica è celato da coltri fluvio-alluvionali terrazzate (AES3, AES7, AES8), di spessore talora pluridecametrico, costituite da ghiaie, sabbie e limi-argillosi;



- settore pianiziale dei fondovalle intrappenninici e di apice dei conoidi, caratterizzato da morfologie subpianeggianti terrazzate ove ridotti spessori di depositi fluvio-alluvionali "recenti" prevalentemente ghiaioso-sabbiosi (AES8) ricoprono direttamente il substrato geologico marino "non rigido" Plio-Pleistocenico;
- settore collinare sud occidentale compreso tra le valli dell'Arda, del Chiavenna e del Riorzo, caratterizzato dalla presenza di silt, sabbie e bioclastiti di origine marino-costiera (pertinenti al substrato geologico marino "non rigido" - BDG, ATS, CMZ) a tratti ricoperti da depositi fluviali antichi ghiaioso-sabbiosi (AES3) di modesto spessore, raramente decametrico;
- settore collinare sud orientale, corrispondente allo spartiacque tra le valli dell'Arda e dell'Ongina, caratterizzato dalla presenza di argille e peliti \pm siltose marine, affioranti o sub-affioranti, pertinenti al substrato geologico marino "non rigido" (KER1b, FAA).

In coerenza con gli *Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica 4.0b*, le unità geologico-litotecniche riportate in cartografia sono state distinte tra terreni di copertura e substrato geologico. La codificazione dei litotipi che le compongono, basata sull'ambiente genetico-deposizionale e sulla granulometria prevalente dei depositi, è stata definita in considerazione delle indicazioni dell'*Unified Soil Classification System (leggermente modificato, ASTM, 1985)*, un sistema di classificazione che descrive la tessitura e la granulometria di terreni non consolidati mediante una sigla composta da due lettere. In funzione di ciò, nella carta geologico tecnica si sono distinte le seguenti "unità di terreni di copertura":

- **GM** – *Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo*: rientrano qui le ghiaie in matrice limoso-sabbiosa moderatamente addensate, affioranti o subaffioranti, presenti in località "I Doppi", "Sant'Antonio" e nei fondovalle dei torrenti Chiavenna e Arda, interessando in questo ultimo caso una consistente porzione del capoluogo edificato.
- **GP** – *Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia*: presenti in testata del conoide del torrente Arda e nel suo tratto intravallivo;
- **ML** - *Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità*: l'unità affiora nelle zone terrazzate meno recenti sia in destra sia in sinistra idrografica dei torrenti Chiavenna e Arda interessando, anche in quest'ultimo caso, una consistente porzione del capoluogo edificato; si tratta in genere di limi coesivi, più o meno argillosi/sabbiosi, con un discreto stato di compattazione/consistenza;
- **CL** - *Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre*: affiora a fianco dell'unità ML (con la quale probabilmente condivide un passaggio laterale di facies) ed è in genere caratterizzata un buon grado di compattazione/consistenza.



Al di sotto di tali unità di copertura sono presenti, come visibile in affioramento nelle aree cartografate, le seguenti unità di substrato geologico:

- **GRS** – *granulare cementato stratificato*: corrispondente alla litozona calcarenitica del Sintema di Badagnano (BDGa) su cui si erge il nucleo medioevale di Castell'Arquato, è visibile lungo la scarpata morfologica che borda ad Est il paese, in alcuni affioramenti puntuali tra le case, nel cunicolo delle "Fontane del Duca", nell'affioramento lungo Viale delle Rimembranze ed in alcuni affioramenti in località Monterosso.
- **COS** – *coesivo sovraconsolidato stratificato*: corrispondente in larga parte al Subsintema di Monte Giogo (KER2) affiora nel Rio Crevalesse, al di sotto della litozona calcarenitica BDGa, ed è stata temporaneamente visibile in sparuti affioramenti nel tratto di pendio che raccorda la scarpata di cui sopra con il fondovalle Arda, in località Manfiora (in arativo) e a Bacedasco, nei vigneti o lungo le superfici di scivolamento di piccoli movimenti gravitativi;
- **CO** – *coesivo sovraconsolidato*: corrisponde alla formazione delle Argille Azzurre (FAA) ed è periodicamente visibile in piccoli quanto effimeri affioramenti lungo la scarpata di terrazzo che limita a ovest sud-ovest la piana su cui sorge la frazione "I Pallastrelli".

Nella carta si sono altresì distinti gli ambienti genetico-deposizionali delle coperture in considerazione delle classi di cui agli *Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica 4.0b*:

- **es** – argini, barre, canali;
- **tf** – terrazzo fluviale;
- **pd** – piana pedemontana.

Sempre nella Carta Geologico Tecnica si sono indicati:

- la profondità in metri della falda misurata negli areali con sabbie e/o ghiaie;
- i pozzi e i sondaggi, distinguendoli in base al fatto che abbiano raggiunto o meno il substrato geologico, qui corrispondente ai depositi marini Plio-Pleistocenici, e la profondità dello stesso.

In considerazione di quanto sopra si sono definiti i modelli di sottosuolo successivamente utilizzati nella predisposizione della *Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica*.



10.3 - CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI DEI TERRENI

La Carta delle frequenze naturali dei terreni, elaborata a scala 1:10.000, è stata redatta in considerazione dei dati di sismica passiva (HVSr) derivanti sia dalle indagini pregresse recuperate presso l'archivio cartaceo dell'U.T. comunale sia dalla nuova campagna di indagini condotta in occasione del presente studio. Per quanto concerne quest'ultima, in ciascun elaborato di HVSr si è riportato anche il grafico del rapporto spettrale H/V naturale, ove si possono osservare gli eventuali picchi caratteristici in corrispondenza di determinate frequenze, così come nel seguente esempio.

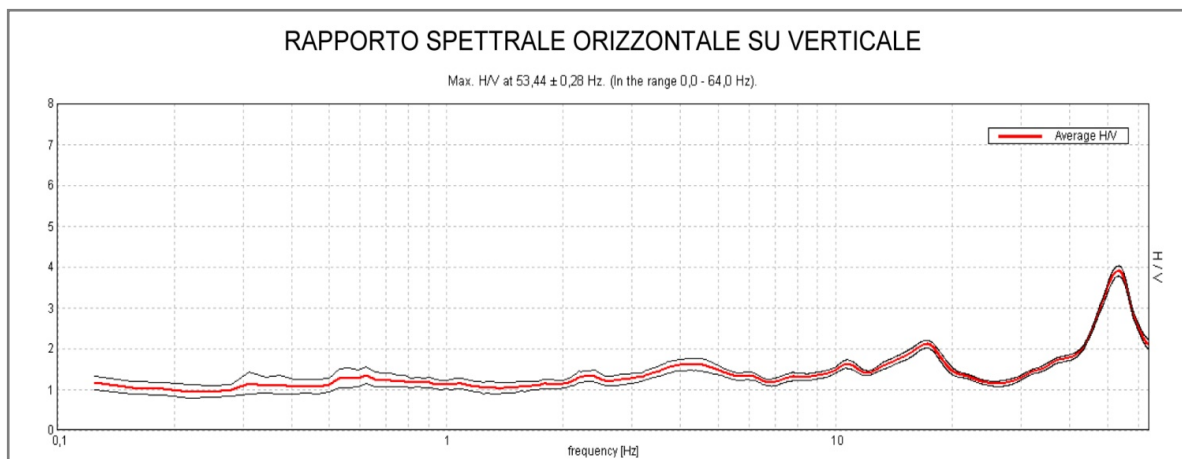


FIG. 46 - ESEMPIO CURVA H/V NATURALE DELLA REGISTRAZIONE HVSr IN LOCALITÀ PALAZZO FRATI

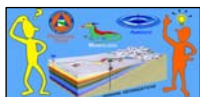
Con l'intento di definire la qualità e l'affidabilità delle singole misure HVSr effettuate si è provveduto ad inquadrarle nella classificazione proposta da Albarello et alii 2010 e da Albarello & Castellaro, 2011 in modo da verificare che quelle utilizzate ricadessero tutte in "Classe A", l'unica che la letteratura considera con un rapporto H/V affidabile ed interpretabile anche singolarmente.

Le registrazioni utilizzate ai fini della presente microzonazione sono quindi quelle:

- in cui si può individuare un'evidente "*robustezza statistica*" del segnale nel campo medio delle vibrazioni ambientali, quelle cioè che soddisfano i primi 3 criteri del progetto SESAME (linee guida 2005);
- in cui la durata della misura sia stata di almeno 15 minuti;
- i cui massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale, conferendo così alla curva H/V una sua "*plausibilità fisica*".

















Sfruttando inoltre le possibilità di analisi direzionale e temporale fornite dal software GRILLA® – Micromed utilizzato per interpretare le registrazioni acquisite, in fase di elaborazione si è altresì valutata la *stazionarietà temporale* dei rapporti spettrali misurati **prestando particolare attenzione** alle variazioni azimutali di ampiezza, nel rispetto della condizione di "*isotropia*".

Per quanto poi concerne i criteri delle linee guida SESAME 2005 in merito alla "chiarezza" del picco di possibile risonanza si segnala sin da ora che tale condizione risulta pienamente soddisfatta solo per l'HVSr18; per tutte le altre, le condizioni geo-litolostratigrafiche locali fanno sì che nelle curve H/V non compaiano picchi significativi.



Dalla carta così elaborata è emerso un quadro d'insieme piuttosto variegato delle aree indagate che pare consono con gli ambiti territoriali che le ospitano e con la presenza di un substrato "non rigido" costituito da una successione sedimentaria marina tipicamente regressiva i cui litotipi hanno classi tessiturali simili alle coperture quaternarie che li ricoprono.

Per una più immediata comprensione della carta, a fianco di ciascun punto di misura si è inserito il relativo valore di F_0 del picco significativo a più bassa frequenza (corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale) e, ove presenti, i valori (F) di altri picchi significativi di frequenze più alte. Come visibile nella seguente legenda, ai fini di una più immediata leggibilità i suddetti valori sono stati raggruppati in "classi di frequenze" ($F_0 \leq 0.6$ Hz; $0.6 < F_0 < 1$; $1 < F_0 \leq 2$ Hz; $2 < F_0 \leq 8$ Hz; $F_0 > 8$ Hz), plottati con specifici cromatismi e distinti in tre categorie di ampiezza del picco ($1.5 \leq HVS_R < 2$; $2 \leq HVS_R < 3$; $HVS_R \geq 3$) all'interno di ogni classe di frequenza.

Legenda				
frequenza picco significativo (Hz)	ampiezza picco			spessore atteso (m)
	$1,5 \leq HVS_R < 2$	$2 \leq HVS_R < 3$	$HVS_R \geq 3$	
$F_0 \leq 0,6$				> 200
$0,6 < F_0 \leq 1$				$200 - 100$
$1 < F_0 \leq 2$				$100 - 30$
$2 < F_0 \leq 8$				$30 - 10$
$F_0 > 8$				< 10
Assenza di picchi significativi				

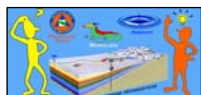
A lato del simbolo sono riportate la frequenza relative al primo picco significativo (in rosso) e al secondo picco (in blu) se presente

FIG. 34 - LEGENDA DELLA "CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI DEI TERRENI"

I dati delle registrazioni tromografiche utilizzate per l'elaborazione della Carta sono riportati nella seguente tabella di sintesi specificando, per ciascuna di esse, la codifica dell'indagine implementata nel software SoftMS_v4_0_1, la frequenza del picco principale (F_0) compreso nell'intervallo $0,1\text{Hz} < F_0 < 20\text{Hz}$ (e tra parentesi i picchi di frequenza > 20 Hz, anche se solo a livello informativo in quanto non considerati nello studio), l'ampiezza H/V del picco principale F_0 , la frequenza di eventuali picchi secondari potenzialmente significativi (e tra parentesi quelli non significativi in quanto maggiori di 20 Hz) e la relativa ampiezza H/V.



PROVA	PICCO PRINCIPALE F0		PICCO SECONDARIO F1	
	FREQUENZA (Hz)	AMPIEZZA H/V	FREQUENZA (Hz)	AMPIEZZA H/V
P244HVS244	0,53	1,7	18,5	1,7
P249HVS249	2,13	2,5	-	-
P237HVS237	7,6	1,8	0,9	1,8
P248HVS248	1,16	1,8	18,7	1,8
P259HVS259	5,44	2	-	-
P247HVS247	1,4	1,9	-	-
P254HVS254	1,55	1,7	-	-
P257HVS257	1,3	1,7	19	1,8
P245HVS245	15,7	2,15	-	-
P240HVS240	6,72	2,0	-	-
P262HVS262	2,45	2,3	17,5	2,4
P258HVS258	1,9	1,85	-	-
P261HVS261	17,1	3,9	-	-
P250HVS250	11,7	1,8	-	-
P252HVS252	2	2,5	-	-
P243HVS243	11,6	2,2	-	-
P239HVS239	17,16	2,75	-	-
P263HVS263	1,24	1,7	-	-
P251HVS251	0,9	1,6	-	-
P253HVS253	8,7	3,4	2,7	2,4
P255HVS255	16,8	2,95	1,4	1,6
P241HVS241	7,78	1,9	-	-
P256HVS256	10,31	2,2	-	-
P242HVS242	18,44	1,9	1,8	1,8
P3HVS3	3,2	1,8	-	-
P8HVS8	14,5	2,3	-	-
P13HVS13	13,1	1,7	-	-
P27HVS27	5,6	2,0	-	-
P33HVS33	8,75	1,65	-	-
P48HVS48	3,1	1,82	12	1,63
P65HVS65	2,3	(1,4)	-	-
P76HVS76	13	3,4	-	-
P77HVS77	17,5	2,75	-	-
P78HVS78	17,7	2,1	-	-
P80HVS80	3,05	1,6	-	-
P85HVS85	10,7	2,1	-	-
P91HVS91	5,5	1,7	-	-
P246HVS246	(49,38)	(2,2)	-	-
P260HVS260	(39,97)	(1,7)	-	-
P238HVS238	(63,97)	(1,6)	-	-
P29HVS29	(20,70)	(2,9)	-	-
P52HVS52	(27,05)	(1,8)	-	-
P88HVS88	2,9	2,5	6,5	1,5
P101HVS101	0,81	2,4	-	-
P109HVS109	3,1	2,0	4,7	1,8
P234HVS234	6	1,8	(22,85)	(2,25)
P233HVS233	10,15	3,4	-	-
P230HVS230	1,1	1,5	-	-
P232HVS232	1,3	2,1	-	-
P231HVS231	1,1	1,8	-	-
P98HVS98	(32,5)	(2,4)	-	-
P99HVS99	(32,5)	(2,4)	-	-
P108HVS108	19	1,9	-	-
P126HVS126	(31,70)	(1,9)	-	-



Come visibile nella precedente tabella, quasi tutti i picchi registrati sono caratterizzati da un'ampiezza ridotta.

In considerazione dei dati di cui alla precedente tabella e della loro distribuzione spaziale, per quanto disomogenea, si possono comunque fare le seguenti considerazioni di massima:

- i picchi H/V significativi ricadenti nel campo delle alte frequenze ($8\text{Hz} < F_0 < 20\text{Hz}$) così come quelli "non significativi" in quanto $> 20\text{Hz}$ sono per lo più concentrati in corrispondenza:
 - delle aree collinari ove il substrato è affiorante o sub-affiorante, come nel nucleo storico di Castell'Arquato e a Bacedasco;
 - dei fondovalle intrappenninici e degli apici dei conoidi fluviali dei torrenti Arda e Chiavenna in corrispondenza di quelle zone ove il substrato è ricoperto da un modesto ed arealmente rastremato spessore di ghiaie fluviali grossolane, come nel caso di Castell'Arquato "basso paese", di Vigolo Marchese, e della località Fontana;
- i picchi H/V ricadenti nel campo delle frequenze comprese tra i 2 Hz e 8 Hz, registrati in corrispondenza delle aree terrazzate impostatesi sull'AES7 e sull'AES3 (loc. S. Antonio, Fornace Fulgoni) paiono riconducibili alla presenza di una successione di depositi alluvionali "fini" poggianti su depositi più grossolani e consistenti ubicati a maggiore profondità, mentre quelli registrati nel basso paese in sinistra Arda si ritengono per lo più associati a ridotti spessori di depositi alluvionali grossolani (ghiaioso \pm sabbiosi) poggianti su un substrato marino non rigido in facies siltoso-sabbiosa, probabilmente non foriero nel caso specifico di contrasto di impedenza che potrebbe invece essere legato al sottostante corpo calcarenitico;
- i picchi H/V significativi ricadenti nel campo delle basse frequenze comprese tra 1 Hz e 2Hz, risultano invece per lo più distribuiti sui terrazzi fluviali più recenti del conoide dell'Arda e si presume possano anch'essi essere ricollegabili all'esistenza di un contrasto di impedenza "profondo" connesso ai corpi calcarenitici marini.

Altri picchi nell'intervallo di frequenze tra 10 Hz e 20 Hz, come quello presente in località Palazzo Frati (HVS261), "dissonanti" rispetto al contesto in cui sono inseriti si ritiene possano essere attribuibili alla presenza di corpi ghiaiosi superficiali a spiccata geometria lentiforme o alla presenza di materiali antropici.

Si ricorda infine che recenti indicazioni del progetto europeo SESAME (Sesame Team, 2004) suggeriscono di non considerare significativo, in termini di potenziale amplificazione, un picco con valore di $H/V < 2$ mentre la normativa regionale (DGR 2193/2015) porta tale soglia al valore di 1,5.



10.4 - CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS)

Nella Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica il territorio comunale urbanizzato ed urbanizzabile viene suddiviso in aree ritenute potenzialmente omogenee dal punto di vista della risposta sismica locale in funzione degli elementi predisponenti le amplificazioni e le instabilità indotte da eventi sismici.

Per quanto questo elaborato sia il documento fondamentale del primo livello di approfondimento, esso non costituisce un dogma in quanto basato su conoscenze puntuali che vengono estrapolate a vaste aree territoriali, ove non sempre può in realtà essere conservata la presunta omogeneità geologico-stratigrafica su cui si basa l'estrapolazione.

Questa carta può quindi essere considerata come un primo passo strutturato verso una graduale e sempre più affinata microzonazione territoriale basata sul progredire delle conoscenze e sull'esecuzione/acquisizione di nuovi dati geognostici del sottosuolo.

Nella carta delle MOPS i territori oggetto di microzonazione sono stati preliminarmente valutati in ordine alle tre categorie di cui alla DGR 2193/2015 :

1. zone stabili: si tratta di zone con litotipi assimilabili al substrato rigido in affioramento, con morfologia pianeggiante o poco acclive, nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura e in cui non sono richiesti ulteriori approfondimenti; categoria di fatto non presente sul territorio comunale in quanto assente il "substrato rigido" di riferimento;
2. zone stabili suscettibili di amplificazioni locali: sono qui ricomprese quelle aree in cui sono attese amplificazioni del moto sismico indotte dall'assetto litostratigrafico e/o morfologico locale. In queste zone si è proceduto ad operare l'approfondimento di livello II°.
3. zone di attenzione per instabilità: rientrano qui quelle zone nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti, oltre i fenomeni di amplificazione, sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio, quali instabilità di versante (frane attive e quiescenti), liquefazioni e densificazione. In queste zone sono richiesti approfondimenti di terzo livello.

Da tale valutazione è emerso che tutte le aree urbanizzate e urbanizzabili oggetto del presente studio rientrano nella categoria 2 "zone stabili suscettibili di amplificazioni locali" in quanto potenzialmente soggette ad *amplificazione stratigrafica* del segnale sismico indotta dall'esistenza di un substrato con velocità delle onde di taglio inferiore a 800 m/s e, nel caso di una limitata porzione del borgo medioevale prospiciente la scarpata morfologica ivi esistente, potenzialmente soggette ad *amplificazione topografica*.

All'interno di queste aree sono presenti anche evidenti scarpate morfologiche, tra cui la parte del nucleo storico del capoluogo che si affaccia sulla val d'Arda e quelle di raccordo tra zone terrazzate di diverso ordine, che pur avendo inclinazioni superiori ai 15° raccordano superfici con differenze di quota inferiori ai 30 metri ritenute non significative, secondo le norme in vigore, nei confronti del potenziale di amplificazione del moto sismico per effetti topografici che possono produrre.



Per quanto concerne il potenziale di liquefazione, la possibilità cioè che si verifichino fenomeni di dissesto per la "liquefazione" dei terreni, si ritiene di poter escludere tale evento in ragione sia della tipologia che della litostratimetria che del grado di addensamento/compattazione dei litotipi qui presenti.

Per quanto riguarda infine l'eventuale insorgenza di cedimenti post-sismici connessi alla dissipazione delle pressioni interstiziali accumulate in occasione di un evento sismico, si ritiene di poterne ragionevolmente escluderne l'occorrenza nelle aree indagate in quanto i depositi fini qui presenti sono caratterizzati da valori di coesione non drenata in genere ben superiori a 70 kPa.

Le aree di *categoria 2* così individuate sono poi state ulteriormente categorizzate in 10 microzone omogenee in relazione alle loro caratteristiche litostratimetriche.

Da tener presente tuttavia che le litostratimetrie indicate per ciascuna MOPS hanno un valore indicativo e non esaustivo in quanto rappresentative dell'assetto di riferimento del sottosuolo nel punto di indagine, successivamente estrapolato ad un intorno presumibilmente omogeneo che in realtà potrebbe discostarsi più o meno marcatamente dal modello di sintesi proposto sia per gli spessori e la geometria d'insieme sia per tipo di sedimento.



L'estrapolazione è infatti figlia di dati "discreti" la cui distribuzione, associata alla complessità intrinseca dei sistemi deposizionali, impone una doverosa cautela nel generalizzare il sottosuolo ed una altrettanto doverosa ed auspicabile revisione e calibratura della carta delle MOPS in relazione a nuove indagini e conoscenze.



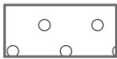

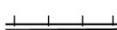
Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

2001	ZONA 1: successione stratigrafica costituita da un substrato coesivo sovraconsolidato stratificato, di tipo non rigido ($V_s < 800$ m/s), con locali coperture limo-argillose di spessore massimo pari a 2 metri.
2002	ZONA 2: successione stratigrafica costituita da un substrato granulare cementato stratificato, di tipo non rigido ($V_s < 800$ m/s), con locali coperture limo-sabbiose e limo-argillose di spessore massimo pari a 2 metri.
2003	ZONA 3: successione stratigrafica costituita da un substrato coesivo sovraconsolidato, di tipo non rigido ($V_s < 800$ m/s).
2004	ZONA 4: successione stratigrafica costituita da depositi alluvionali ghiaioso-sabbiosi aventi spessore 3-7,5 m, che ricoprono un substrato non rigido ($V_s < 800$ m/s).
2005	ZONA 5: successione stratigrafica costituita da un orizzonte superficiale limo-argilloso avente spessore di 3-7,5 m, con locali intercalazioni di livelli contenenti ciottoli pedogenizzati, che ricopre un substrato non rigido $V_s < 800$ m/s).
2006	ZONA 6: successione stratigrafica costituita da un orizzonte superficiale limo-argilloso avente spessore di 7,5-12,5 m, con locali intercalazioni di livelli contenenti ciottoli pedogenizzati, che ricopre un substrato non rigido ($V_s < 800$ m/s).
2007	ZONA 7: successione stratigrafica costituita da depositi alluvionali plesitocenici di ghiaie argillose, aventi spessore di 7,5-12,5 m, che ricoprono un substrato non rigido ($V_s < 800$ m/s).
2008	ZONA 8: successione stratigrafica costituita da depositi alluvionali di ghiaie alternate ad argille, aventi spessore di 12,5-17,5 m, che ricoprono un substrato coesivo sovraconsolidato non rigido ($V_s < 800$ m/s).
2009	ZONA 9: successione stratigrafica costituita da depositi alluvionali pleistocenici di ghiaie argillose, avente spessore di 12,5-17,5 m, che ricoprono un substrato coesivo sovraconsolidato non rigido ($V_s < 800$ m/s).
2010	ZONA 10: successione stratigrafica costituita da un substrato coesivo sovraconsolidato stratificato, di tipo non rigido ($V_s < 800$ m/s), con strato di alterazione spesso sino a 12 metri.

Zone di attenzione per instabilità

	ZAFR - Zona di Attenzione per instabilità di versante - Zona 11 Corpo di frana attiva di spessore < 5 m, costituito da materiali prevalentemente argilloso-limosi, impostato su un substrato coesivo sovraconsolidato stratificato non rigido.
	ZAFR - Zona di Attenzione per instabilità di versante - Zona 12 Corpo di frana quiescente di spessore < 5 m costituito da materiali prevalentemente argilloso-limosi, sovrastante un substrato coesivo sovraconsolidato stratificato non rigido.

Forme di superficie

	Conoide alluvionale
	Orlo di scarpata morfologica naturale o artificiale (> 20 m)
	Orlo di terrazzo fluviale (10-20m)

Punti di misura di rumore ambientale





	Punto di misura di rumore ambientale con indicazione del valore di f_0 (rosso)
	Traccia per gli approfondimenti delle amplificazioni topografiche
	Confine comunale
	Aree oggetto di microzonazione

FIG. 35 - LEGENDA DELLA "CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA"



Zona 1 (cod. 2001)

Considerata rappresentativa dell'area compresa tra Case La Pietra e Casone Monfanti, si ritiene caratterizzata da una litostratigrafia composta da una copertura prevalentemente di ridotto spessore (in genere inferiore ai due metri) poggianti su un substrato marino coesivo sovraconsolidato riconducibile ad ambienti del circalitorale. Quest'ultimo è qui organizzato in livelli di spessore plurimetrico pelitico-siltosi e siltoso-sabbiosi in matrice limosa, ove l'intensa bioturbazione prodotta dagli invertebrati marini ha talora obliterato i limiti di strato amalgamando le litologie a contatto. Secondo la carta geologica CARG tali depositi sono riferibili al Subsistema di Monte Giogo di età Piacenziano (Pliocene superiore).

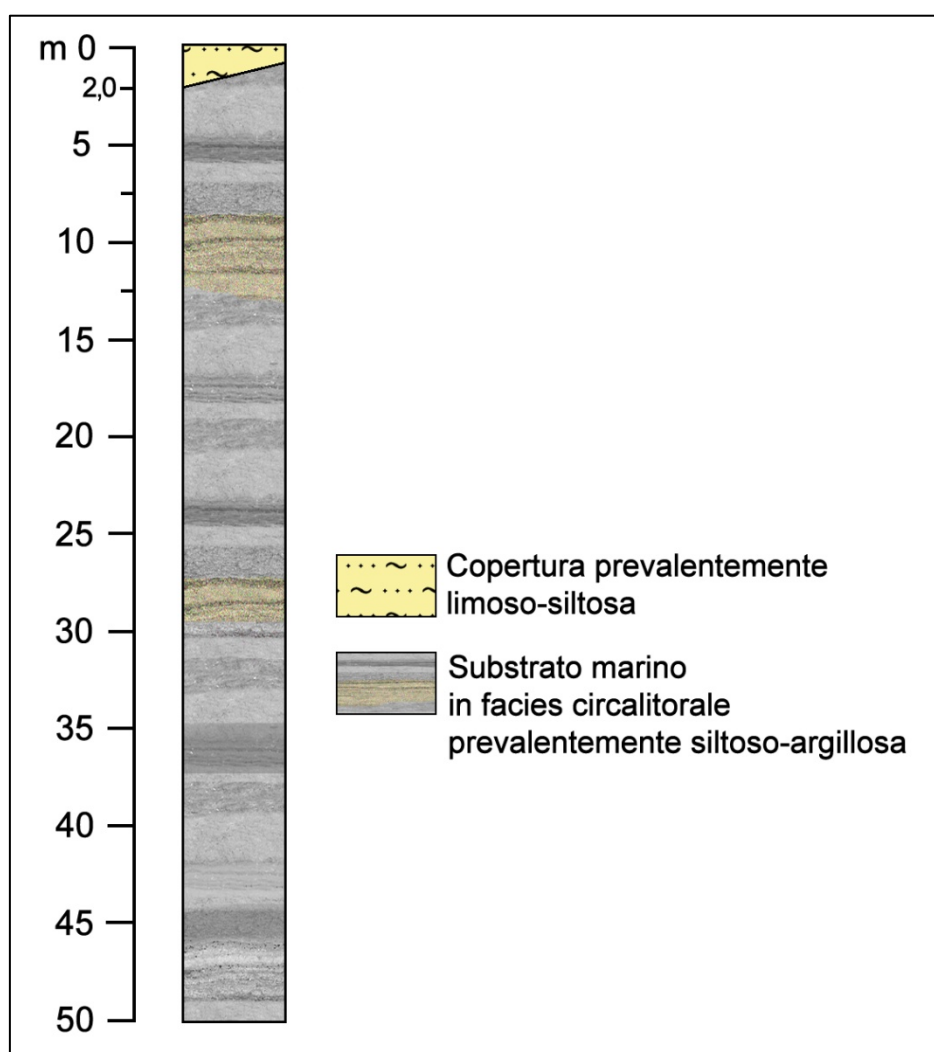
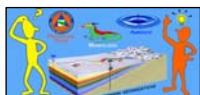


FIG. 36 – SUCCESSIONE STRATIGRAFICA ZONA MOPS CODICE 2001



Zona 2 (cod. 2002)

Ritenuta tipica dell'area su cui sorge il nucleo medioevale del capoluogo e probabilmente di una piccola zona a Nord di esso, si ritiene caratterizzata da una successione stratigrafica costituita da un discontinuo e disomogeneo livello regolitico superficiale con spessore in genere non superiore ai 2 metri poggianti su un substrato marino granulare cementato stratificato di tipo non rigido ($V_s < 800$ m/s) identificabile con la biocalcareniti di Castell'Arquato. Quest'ultima è composta da calcareniti bioclastiche e da corpi sabbiosi a diverso grado di cementazione a cui si intercalano siltiti ed orizzonti pelitici anch'essi bioturbati; la stratificazione appare complessa, talora incrociata a grande scala o amalgamata dalla bioturbazione in sintonia con il motivo deposizionale che pare riconducibile alla progradazione di una barra sommersa di fronte deltizio in ambiente costiero. Secondo la carta geologica CARG tali depositi sono riferibili alla base del Sintema di Badagnano di età Piacenziano-Gelasiano (Pliocene superiore - Pleistocene inferiore).

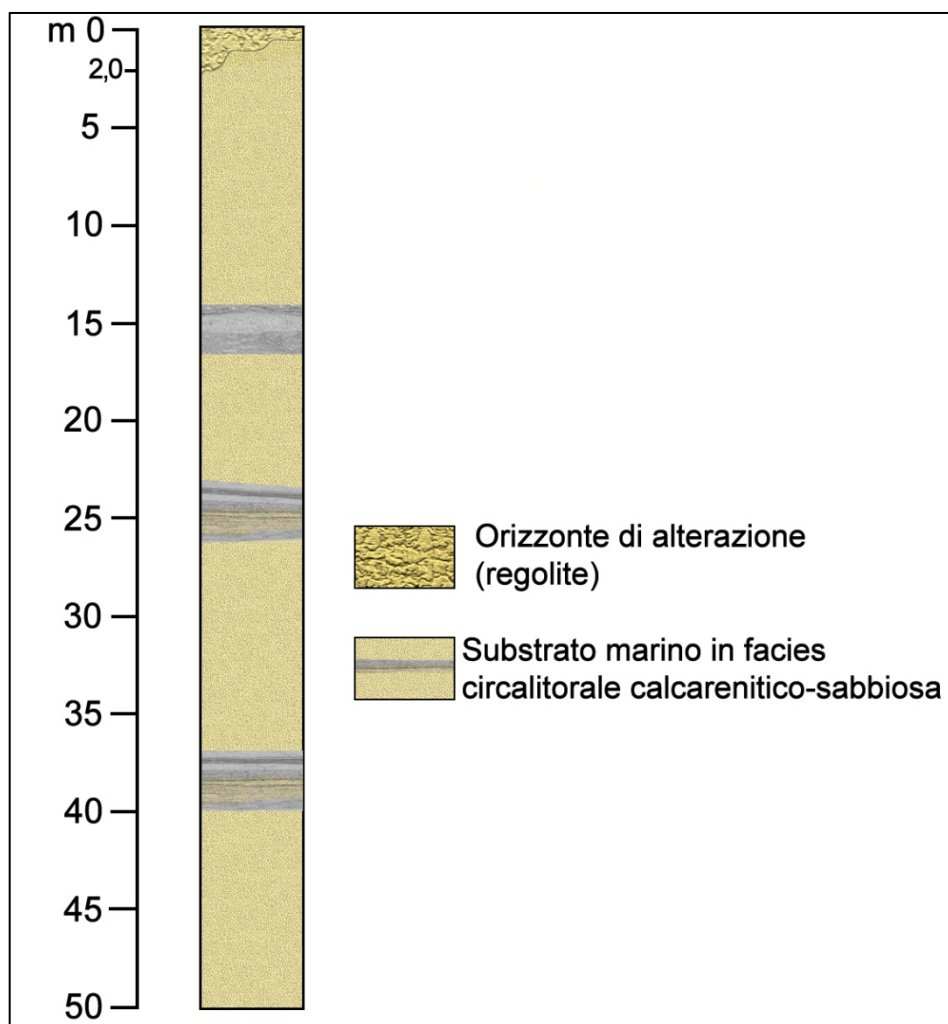


FIG. 37 – SUCCESSIONE STRATIGRAFICA ZONA MOPS CODICE 2002



Zona 3 (cod. 2003)

Localizzata in corrispondenza di piccoli impluvi che incidono i terrazzi fluviali del torrente Arda nel settore Sud del territorio comunale, ove è talora visibile in affioramento la Formazione delle Argille Azzurre (FAA) o la sua "copertura" regolitica. Tale formazione è composta da argille marnose e da argille più o meno siltose intensamente bioturbate depositatesi in ambienti marini epibatiali e circalitorali profondi. Età: Zancleano (Pliocene inferiore).

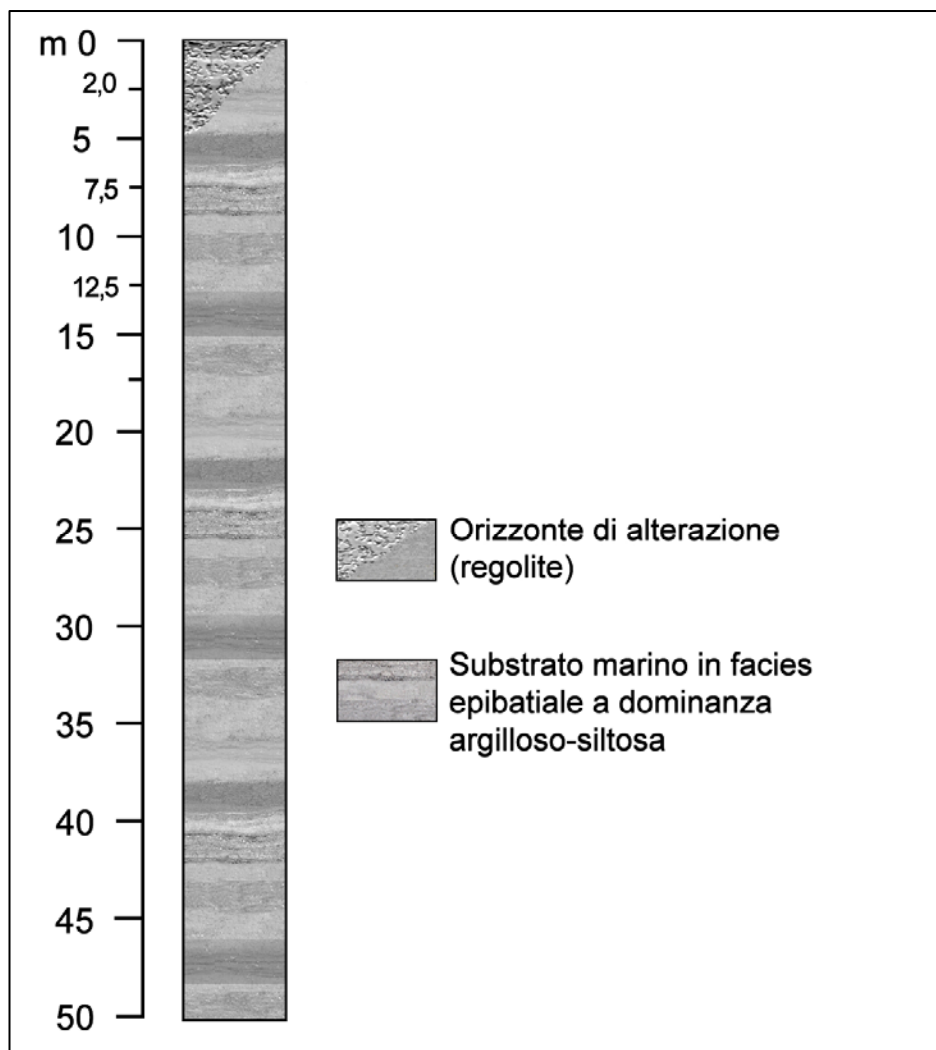
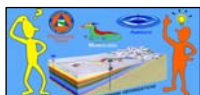


FIG. 38 – SUCCESSIONE STRATIGRAFICA ZONA MOPS CODICE 2003



Zona 4 (cod. 2004)

Rappresentativa dei terrazzi fluviali più recenti prospicienti l'alveo del Arda, sia in ambito intravallivo che di conoide apicale, la Zona 4 ricomprende buon parte del capoluogo edificato a partire dalla metà del 1900 in sinistra idrografica Arda ed alcune aree in sponda destra. La litostratigrafia è caratterizzata da depositi alluvionali ghiaioso-sabbiosi di conoide, con spessore generalmente compreso tra 3 m e 7,5 m, poggianti su un substrato non rigido ($V_s < 800$ m/s). Quest'ultimo è composto da:

- siltiti e sabbie di fan-delta a cui si intercalano orizzonti a maggior componente argillosa, riferibili al Sintema del Torrente Stirone affiorante a Nord della località "Palazzo Frati" e databile al Calabriano (Pleistocene inferiore);
- corpi siltoso-sabbiosi e sabbioso-argillosi di prodelta con intercalati orizzonti biocalcarenitici a diverso grado di cementazione, visibili in alveo tra la suddetta località e Viale delle Rimembranze, riferibili al Sintema di Badagnano databile al Piacenziano (Pliocene Superiore) - Gelasiano (Pleistocene Inferiore).

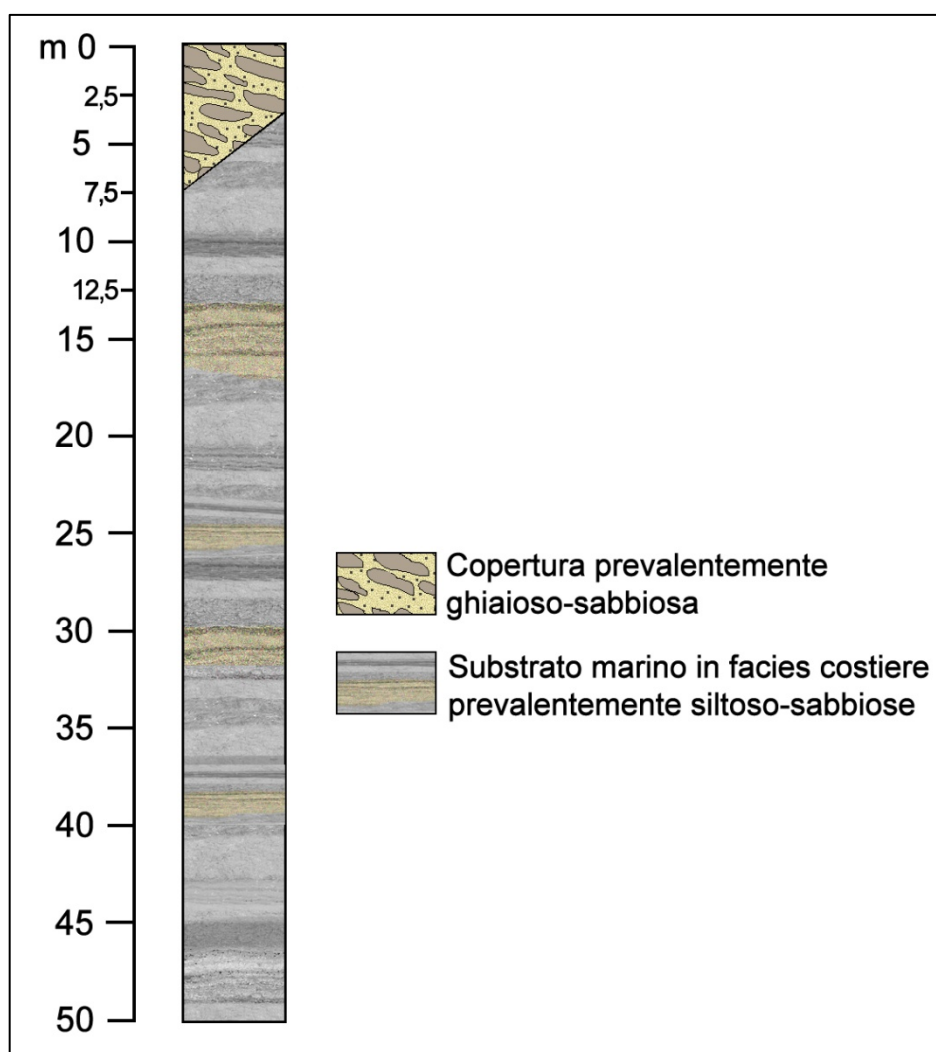
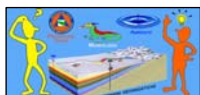


FIG. 39 – SUCCESSIONE STRATIGRAFICA ZONA MOPS CODICE 2004



Zona 5 (cod. 2005)

Ricomprende buona parte del capoluogo edificato sulle superfici terrazzate che si interpongono tra la Zona 4 e gli opposti versanti vallivi del torrente Arda: loc. Crocetta, Manfiora, Scartazzini, ecc.. in destra Arda e loc. Riorzo e Ricò in sinistra Arda. La litostratigrafia è caratterizzata da depositi alluvionali limoso-argillosi con intercalate ghiaie pedogenizzate in abbondante matrice argilloso-limosa, per uno spessore complessivo in genere compreso tra i 3 ed i 7,5 metri, ricoprenti un substrato marino non rigido ($V_s < 800$ m/s). Quest'ultimo è per lo più composto da corpi siltoso-sabbiosi e sabbioso-argillosi di prodelta con intercalati orizzonti biocalcarenitici (a cementazione variabile) di fronte deltizio afferenti al Sintema di Badagnano. Età: Piacenziano (Pliocene Superiore) - Gelasiano (Pleistocene inferiore).

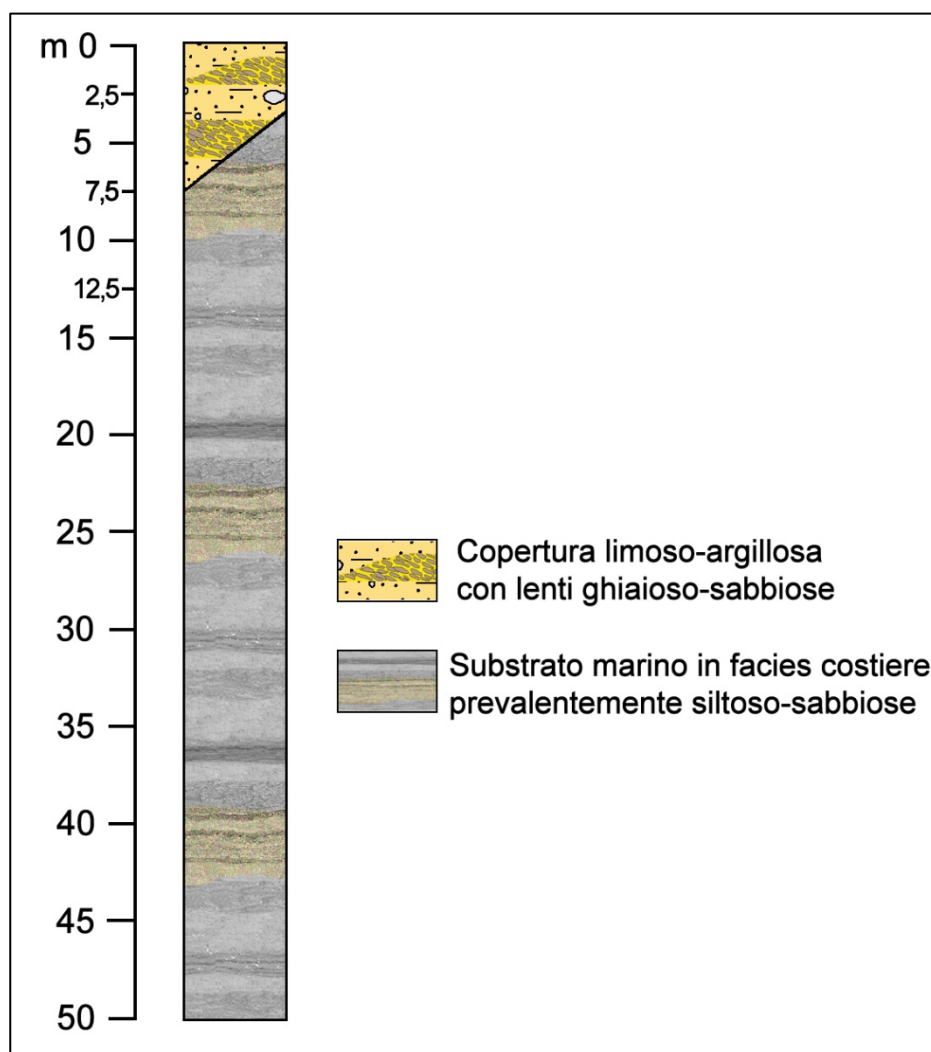
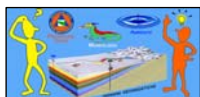


FIG. 40 – SUCCESSIONE STRATIGRAFICA ZONA MOPS CODICE 2005



Zona 6 (cod. 2006)

Ritenuta rappresentativa di alcune aree terrazzate immediatamente a Nord del capoluogo, di analoghe aree prospicienti il torrente Chiavenna a Vigolo Marchese e di una fascia al contorno della frazione "Doppi", è caratterizzata da una successione litostratigrafica formata da una copertura di depositi alluvionali limoso-argillosi con locali intercalazioni di ghiaie pedogenizzate in abbondante matrice argilloso-limosa, per uno spessore complessivo compreso in genere tra i 7,5 ed i 12,5 metri, poggiante su un substrato non rigido ($V_s < 800$ m/s). Quest'ultimo è per lo più composto da depositi sabbiosi e siltoso-sabbiosi di ambienti litorali e di spiaggia cui si intercalano plaghe ghiaiose di fan-delta e livelli limosi e/o argillosi di ambienti transizionali (paralico-lagunari) riferibili, secondo la cartografia CARG, al Sintema di Costamezzana. Età: Calabriano (Pleistocene inferiore).

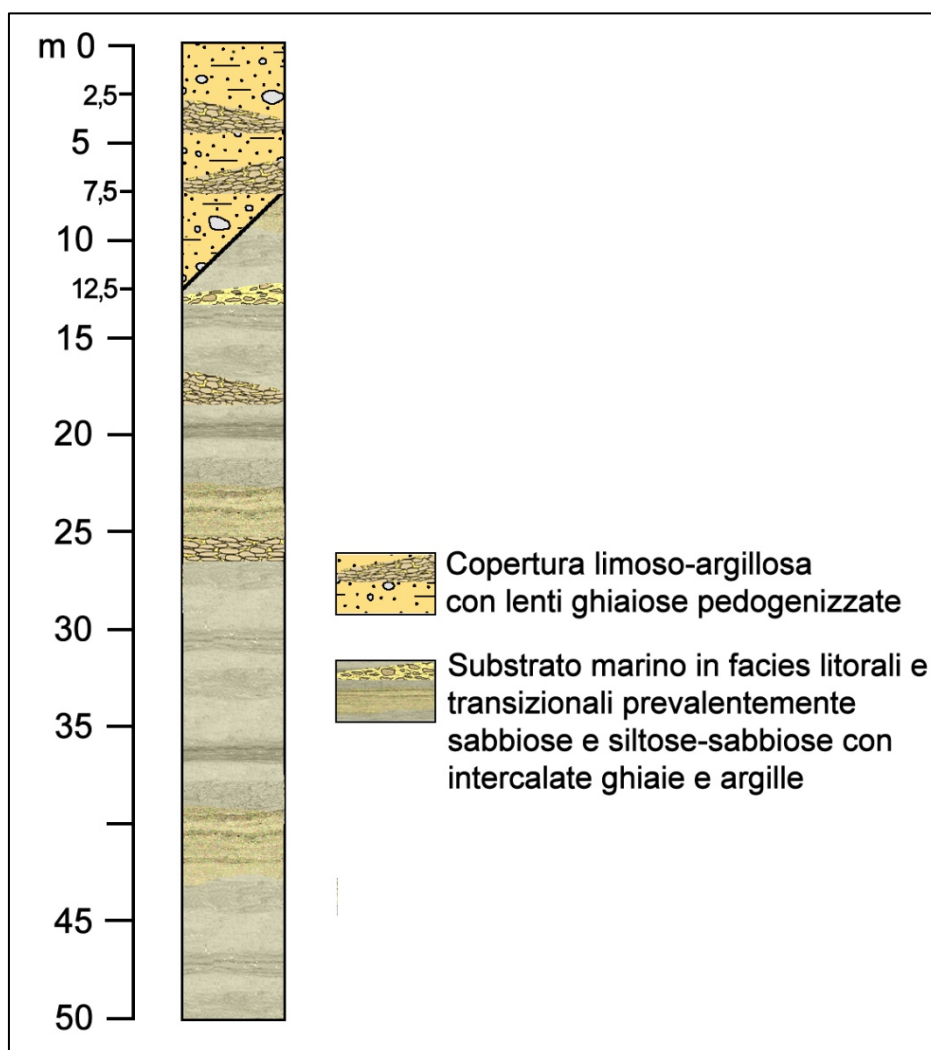
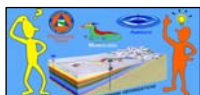


FIG. 41 – SUCCESSIONE STRATIGRAFICA ZONA MOPS CODICE 2006



Zona 7 (cod. 2007)

Si sviluppa in adiacenza alla Zona 6 ove, ove affiora il Subsistema di Villa Verucchio, e ricomprende la frazione di San Lorenzo, di Vigostano e parte dell'abitato di Vigolo Marchese in sinistra idrografica del Chiavenna. È caratterizzata da una successione litostratigrafica formata da una copertura di depositi alluvionali prevalentemente ghiaioso-argillosi, pedogenizzati, aventi uno spessore complessivo in genere compreso tra i 7,5 ed i 12,5 metri e poggianti su un substrato non rigido ($V_s < 800$ m/s). Quest'ultimo è per lo più composto da depositi sabbiosi e siltoso-sabbiosi di ambienti litorali e di spiaggia cui si intercalano plaghe ghiaiose di fan-delta e livelli limosi e/o argillosi di ambienti transizionali (paralico-lagunari) riferibili, secondo la cartografia CARG, al Sistema di Costamezzana. Età: Calabriano (Pleistocene inferiore).

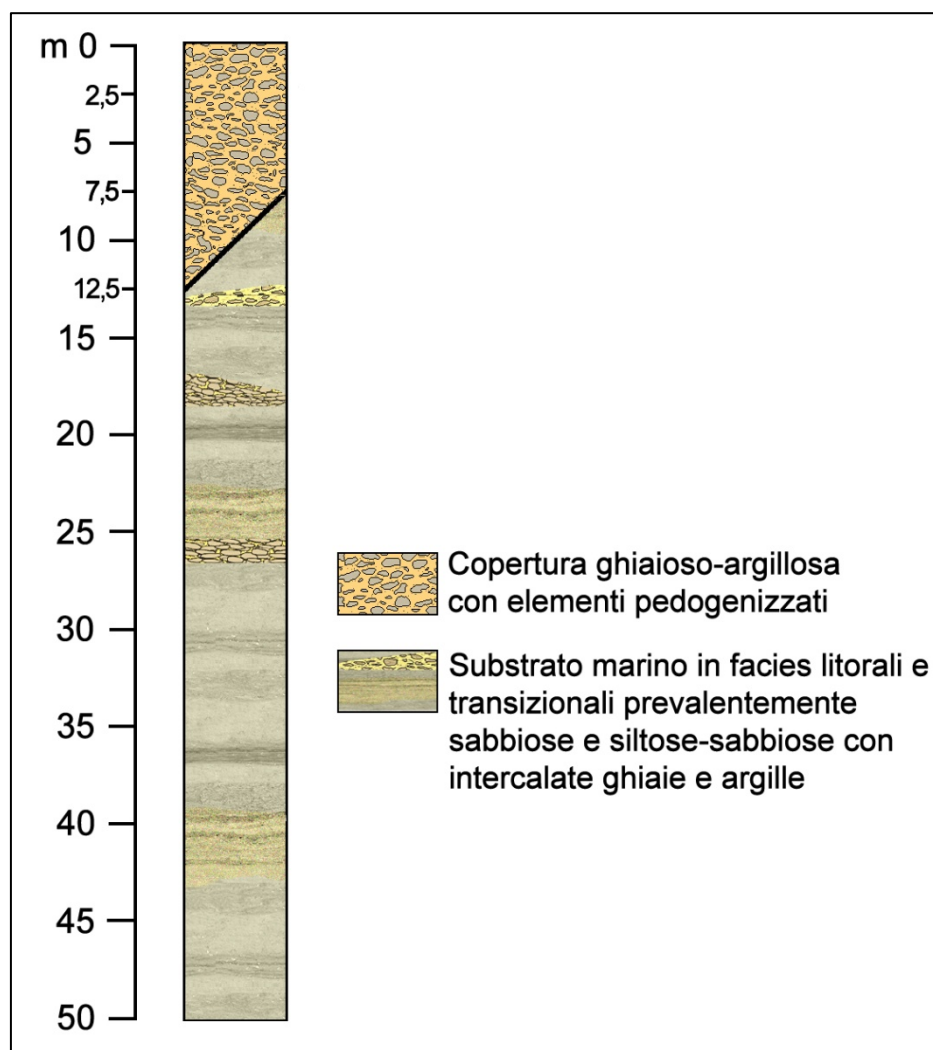
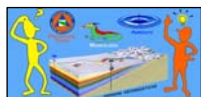


FIG. 42 – SUCCESSIONE STRATIGRAFICA ZONA MOPS CODICE 2007



Zona 8 (cod. 2008)

Rappresentativa della superficie terrazzata ove ha sede la frazione "I Pallastrelli" è caratterizzata da una successione litostratigrafica costituita da depositi alluvionali di ghiaie alternate ad argille, con spessori in genere tra 12,5 m e 17,5 m, poggianti su un substrato coesivo sovraconsolidato non rigido ($V_s < 800$ m/s) riferibile alla Formazione delle Argille Azzurre (FAA). Quest'ultima è composta da argille marnose e da argille più o meno siltose intensamente bioturbate depositatesi in ambienti marini dell'epibatiale e del circalitorale profondo. Età: Zancleano (Pliocene inferiore).

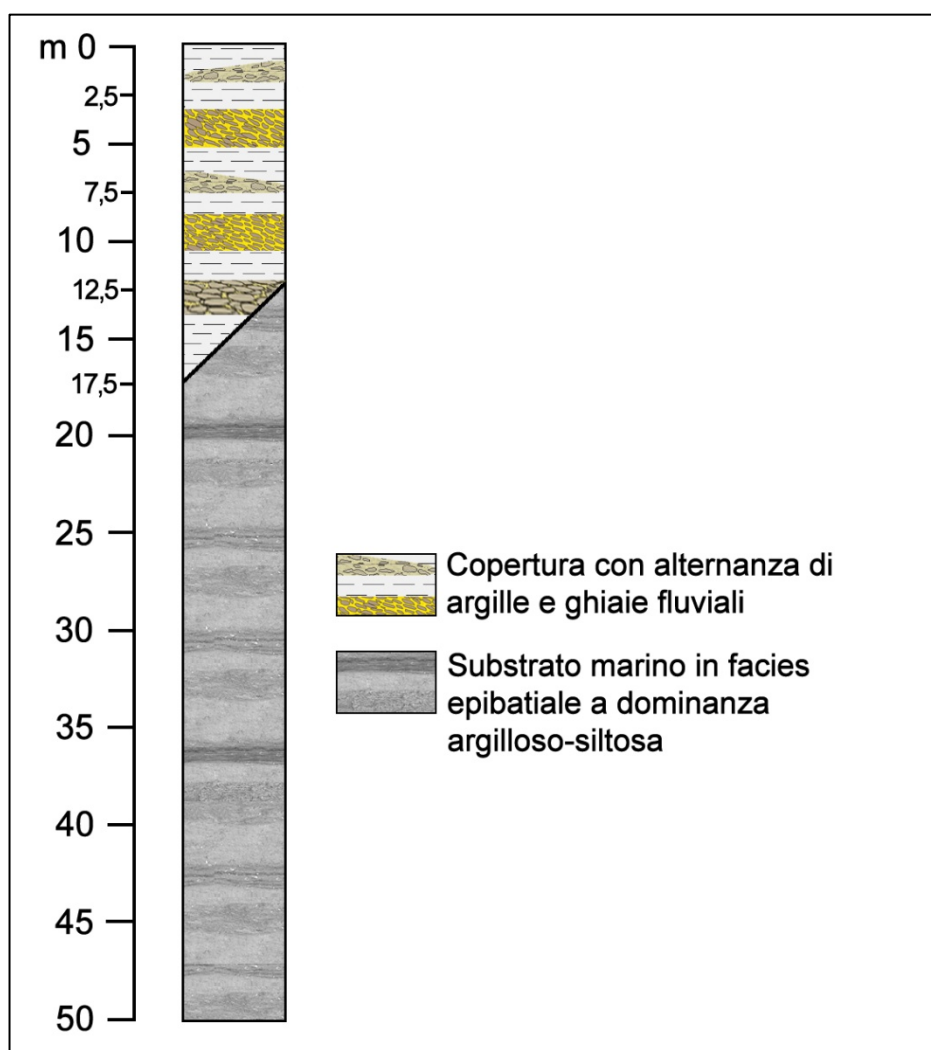
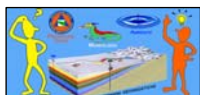


FIG. 43 – SUCCESSIONE STRATIGRAFICA ZONA MOPS CODICE 2008



Zona 9 (cod. 2009)

Ritenuta rappresentativa della superficie terrazzata su cui sorgono le frazioni "Sant'Antonio" e "Doppi" oltre che della zona tra le località "Palazzo Guidotti" e "Fornace Fulgoni" è caratterizzata da una successione litostratigrafica prevalentemente costituita da depositi alluvionali pleistocenici di ghiaie in matrice argilloso-sabbiosa, aventi spessori in genere compresi tra 12,5 m e 17,5 m, che ricoprono un substrato non rigido ($V_s < 800$ m/s). Quest'ultimo è per lo più composto da depositi sabbiosi e siltoso-sabbiosi di ambienti litorali e di spiaggia cui si intercalano corpi ghiaiosi di fan-delta e livelli limosi e/o argillosi di ambienti transizionali (paralico-lagunari) riferibili, secondo la cartografia CARG, al Sintema di Costamezzana. Età: Calabriano (Pleistocene inferiore).

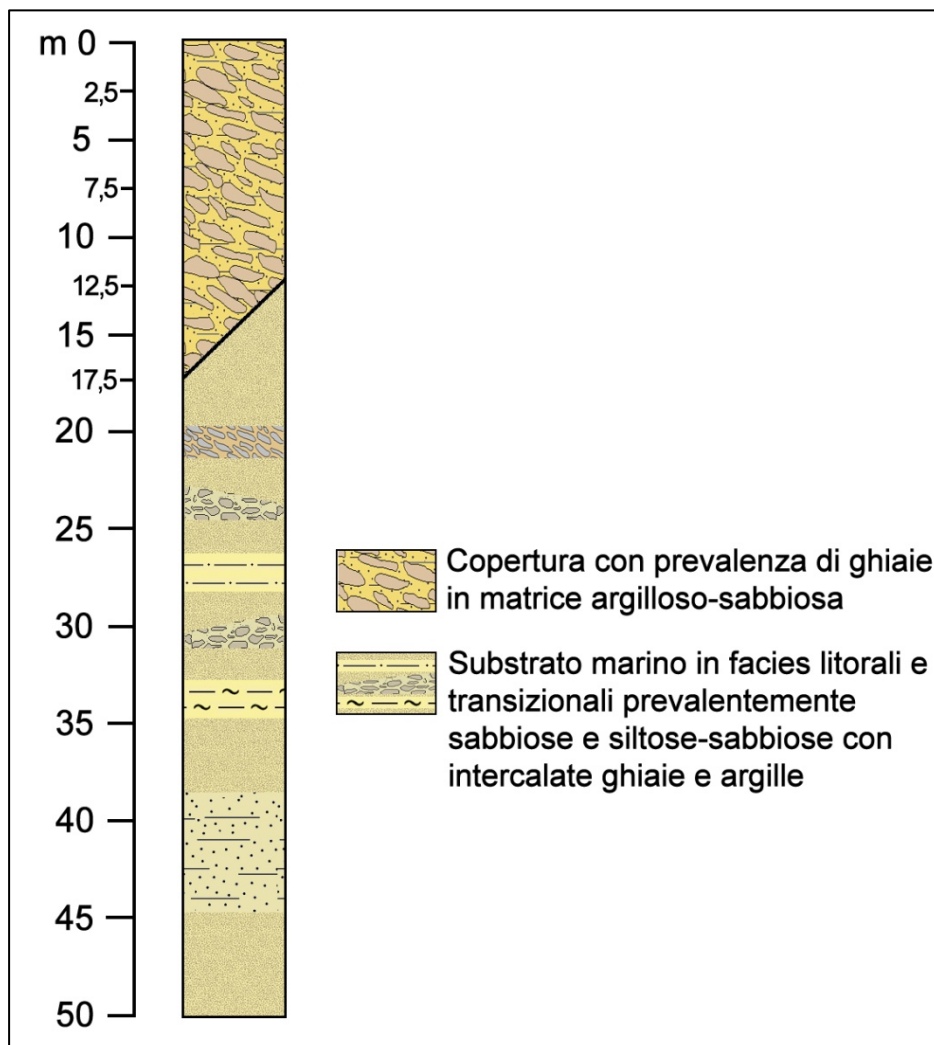


FIG. 44– SUCCESSIONE STRATIGRAFICA ZONA MOPS CODICE 2009



Zona 10 (cod. 2010)

Perimetrata in corrispondenza della frazione di Bacedasco alto, è caratterizzata da una successione stratigrafica composta da un substrato marino coesivo sovraconsolidato stratificato, di tipo non rigido ($V_s < 800$ m/s) con strato di alterazione talora spesso sino a 12 metri. Il substrato è qui costituito da un'alternanza di argille e silti bioturbate di piattaforma "offshore", con orizzonte di alterazione localmente variabile, attribuito dal CARG alla litozona superiore del Subsistema di Montezago (Ker1b) databile al Piacenziano (Pliocene Superiore).

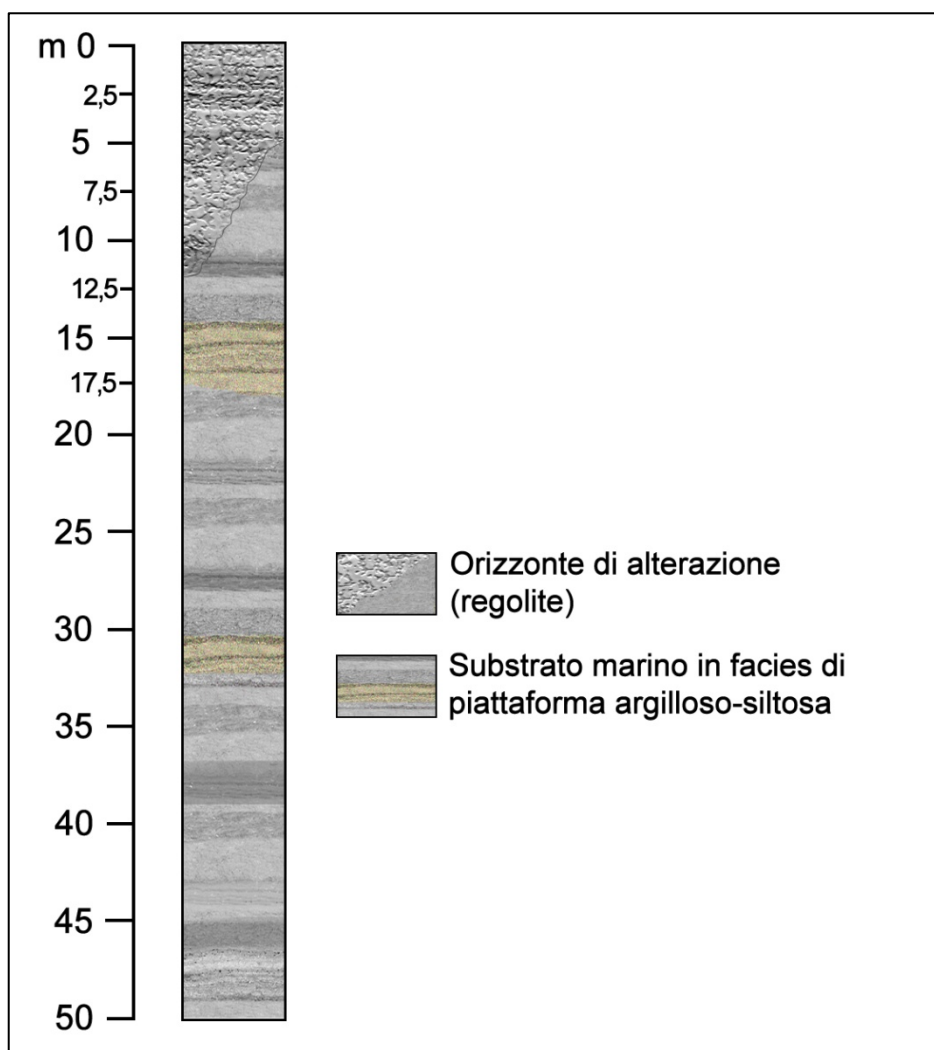
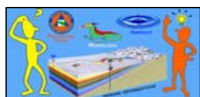


FIG. 45 – SUCCESSIONE STRATIGRAFICA ZONA MOPS CODICE 2010



MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 2



11 - APPROFONDIMENTO DI LIVELLO 2

Gli studi di microzonazione sismica di secondo livello si applicano a quelle parti del territorio riconosciute come potenzialmente suscettibili di amplificazione sismica dagli studi di primo livello e per le quali si prevedono trasformazioni o incrementi dei carichi urbanistici.

Il secondo livello di approfondimento "correda" la cartografia di primo livello di elementi quantitativi (quali i fattori di amplificazione FA) relativi ai soli fenomeni di amplificazione lito-stratigrafica 1D.

Le stime necessarie sono condotte sulla base di misure geofisiche di superficie (MASW, HVSr ecc...) e in considerazione di modelli semplificati (1D) che prevedono l'utilizzo degli abachi elaborati ed adottati dalla competente autorità regionale; tali abachi infatti consentono di stimare i fattori di amplificazione attesi nei diversi intervalli di periodi basandosi su parametri quali VS_{30} o VS_H .

Va comunque sottolineato il fatto che il fattore di amplificazione che emerge non è la "funzione di amplificazione" bensì un "valore integrale" che esprime la risposta d'insieme espressa dalla successione stratigrafica in un "intervallo di periodi" e in quanto tale fornisce una *stima* dell'entità relativa del fenomeno atteso che, a rigore, non può essere utilizzato per la progettazione.

In considerazione di ciò, negli ambiti d'interesse del primo livello di approfondimento si è condotta una campagna di indagini sismiche mirata ad incrementare i dati disponibili ed a consentire l'elaborazione della *Carta delle Vs* e della *Carta dei Fattori di Amplificazione*.

11.1 - ELABORAZIONE DATI SISMICI

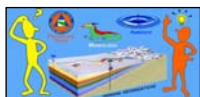
I rilievi condotti e le analisi svolte hanno confermato quanto già noto per l'ambito locale ovvero la presenza di un substrato marino che non può essere assimilato ad un bedrock sismico sensu ICMS (2008).

In considerazione di tale assetto, per l'elaborazione dei fattori di amplificazione inerenti l'analisi di II Livello si è fatto riferimento agli abachi contenuti nell'Al.2 alla DGR 2193/2015 della Regione Emilia Romagna in quanto calibrati per situazioni regionali con substrato non rigido e $V_s < 800$ m/s.

Come già detto, la caratterizzazione dei terreni è stata effettuata principalmente tramite sismica passiva HVSr (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) a cui si è affiancato un ridotto numero di indagini tipo MASW a compendio di altre già a suo tempo eseguite sul territorio.

Per l'esecuzione delle nuove indagini MASW (*Multi-channel analysis of surface waves*, Park et alii, 1999) si è utilizzata una strumentazione Ambrogeo Echo a 24 canali collegata a geofoni verticali a frequenza propria di 4.5 Hz al PC posizionati con equidistanza intergeofonica costante di 2 metri, ottenendo così uno stendimento complessivo di 48 metri di lunghezza.

Per il rilievo delle *onde di Rayleigh* si è proceduto ad energizzare il suolo mediante massa battente, con punti di impatto successivi posti a 2,5 m, 5 m e 10 m dal primo geofono, talora da entrambi i vertici dello stendimento con l'intento di affinare la qualità del rilievo.

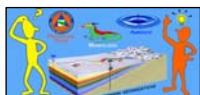


É noto infatti che in un mezzo stratificato le onde di Rayleigh si comportano in modo dispersivo, il che implica che onde con diverse lunghezze d'onda si propagano nel mezzo attraversato con differenti velocità di fase e diversa velocità di gruppo (Achenbach J.D. 1999; Aki K., Richards P.G. 1980).

La natura dispersiva di tali onde consente quindi di ottenere informazioni sull'assetto litostratigrafico del sottosuolo in relazione al fatto che mentre le onde ad alta frequenza e breve lunghezza d'onda si propagano negli strati più superficiali, fornendo informazioni su tale porzione della successione stratigrafica, le onde a bassa frequenza e a maggior lunghezza d'onda si propagano negli strati più profondi, fornendo informazioni su questi ultimi.

In particolare, col metodo MASW attivo si ottengono nozioni su "velocità di fase apparenti sperimentali" riferibili ad un range di alte frequenze comprese tra i 5Hz ed i 70 Hz, che forniscono informazioni pertinenti alla porzione più superficiale della successione litostratigrafica, in genere entro i primi 30 ÷ 50 m di profondità dal piano campagna, in ragione della rigidità dei litotipi intercettati.

I dati così registrati sono poi stati elaborati utilizzando il software *EasyMasw*, predisposto dalla ditta "Geostru".



11.2 - CARTA DELLE VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO S

In questa carta, anch'essa elaborata in scala 1:10.000, è riportata l'ubicazione delle indagini MASW ad oggi condotte sul territorio comunale e, al loro fianco, i valori in m/s delle onde di taglio V_{S_H} , ove H è lo spessore presunto dei depositi di copertura (o la profondità del substrato non rigido).

La legenda è quindi molto scarna e così strutturata:

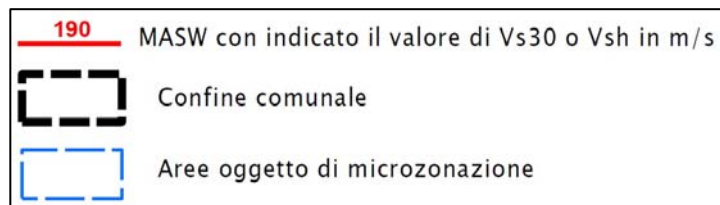


FIG. 47 - LEGENDA CARTA DELLE VLEOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO S

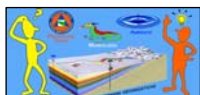
L'analisi dei risultati di tali rilievi sismici ha consentito di fornire un primo quadro d'insieme delle velocità medie delle onde di taglio entro i primi 35÷40 metri di profondità sia nelle aree oggetto di microzonazione che in aree ad esse esterne e quindi non zonizzate.

Al fine di meglio inquadrare i valori di V_{S_H} in rapporto alle zone individuate nella carta delle MOPS, si è predisposta la seguente tabella ove a fianco delle microzone MOPS si sono riportati i valori delle velocità di taglio ad esse attribuite in relazione alle indagini ad oggi disponibili:

Microzona MOPS	Geologia	Spessore copertura - H (m)	Velocità delle onde di taglio (m/s)
2001	KER2	0÷2	$V_{S30}=350$
2002	BDG con regolite	0÷3	$V_{S5}=200$
2003	FAA	0÷2	$V_{S30}=450$
2004	AES8a	3÷7,5	$V_{S5}=250$
2005	AES8 - AES8a	3÷7,5	$V_{S5}=250$
2006	AES8 - AES8a	7,5÷12,5	$V_{S10}=250$
2007	AES7b	7,5÷12,5	$V_{S10}=300$
2008	AES8	12,5÷17,5	$V_{S15}=250$
2009	AES7a - AES3	12,5÷17,5	$V_{S15}=300$
2010	KER2 con regolite	7,5÷12,5	$V_{S10}=250$
2011	Frana attiva	2,5÷5,0	$V_{S5}=150$
2012	Frana quiescente	2,5÷5,0	$V_{S5}=200$

Per la microzona 2001, si è considerata l'esistenza di ridotti e discontinui livelli di coperture al di sotto delle quali le onde di taglio hanno velocità congrue col substrato marino.

In considerazione di quanto a suo tempo visto in loco, per le microzone 2002 e 2003 si è ritenuto di poter considerare l'esistenza di un'esile coltre regolitica superficiale, derivante dall'alterazione in loco del substrato marino.



Per le microzone MOPS comprese tra 2004 e la 2009, lo spessore H corrisponde di norma allo spessore dei depositi fluvio-alluvionali che ricoprono il substrato marino Plio-Pleistocenico e quello marino-transizionale Pleistocenico (Sintema di Costamezzana), anche se non sempre si può apprezzare un significativo contrasto di impedenza tra la copertura ed il substrato, probabilmente a causa di locali situazioni di sostanziale omogeneità litologica e geomeccanica tra i litotipi a contatto.

Per la microzona 2010, si è assunto come valore di H lo spessore di quella che si ritiene essere una coltre di alterazione (regolite) del substrato marino in posto (visibile nelle interfile dei vigneti e attribuito dal CARG al Subsintema di Monte Giogo) alla cui base si registra un netto incremento della velocità delle onde di taglio che passano dai 265 m/s ai 552 m/s.

11.3 - CARTE DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE (CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA)

Elaborata tenendo conto delle indicazioni emerse dalla Carta delle MOPS, la Carta di Microzonazione Sismica è l'esito finale dello studio di Livello 2 e si compone di tre elaborati grafici in cui sono rappresentate le stime dei fattori di amplificazione del moto sismico, ottenute mediante procedure semplificate basate sull'applicazione degli abachi di cui all'allegato A2 della DGR 2193/2015, così come previsto dalla normativa vigente in presenza di un assetto geologico assimilabile ad un modello fisico monodimensionale.

In questo contesto l'amplificazione è quantificata sia in termini di *rapporto di accelerazione massima orizzontale* ($FA_{PGA}=PGA/PGA_0$) sia di *rapporto di intensità di Housner* (SI/SI_0) per prefissati intervalli di periodo ($0.1s < T_0 < 0.5s$ e $0.5s < T_0 < 1.0s$).

In tali relazioni PGA_0 e SI_0 sono rispettivamente la *accelerazione massima orizzontale* e l'*Intensità di Housner* su suolo di riferimento, ricavabili dal database regionale, mentre PGA e SI sono le corrispondenti grandezze di *accelerazione massima orizzontale* e di *Intensità di Housner* calcolate alla superficie dei siti esaminati.

L'amplificazione sismica è stata quindi valutata in considerazione delle indicazioni e degli abachi di cui all'Allegato A2 della DGR 2193/2015 e, in quest'ambito, adottando le tabelle riferite all'ambiente geo-litologico "Appennino" che è parso il più consono.

All'interno dell'ambiente di Appennino sono stati poi discriminate due casistiche:

- depositi di copertura, con spessori sino a 50 metri, sovrastanti il substrato marino non rigido caratterizzato da valori di $V_s < 800$ m/s;
- substrato marino non rigido affiorante o sub-affiorante, ovvero depositi marini caratterizzati da valori di $V_s < 800$ m/s con spessori della coltre di copertura o di alterazione (regolite) inferiore a 2,5 m.

Le tabelle utilizzate sono quindi quelle riportate in pagina seguente per l'ambiente "Appennino" così come tratte dall'Allegato 2 alla DGR 2193/2015:



SUBSTRATO MARINO NON RIGIDO, CARATTERIZZATO DA VALORI DI $V_s \leq 800$ m/s.

	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2.3	2.0	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	
10	2.3	2.2	2.0	1.8	1.6	1.4	1.3	1.3	1.2	
15	2.2	2.2	2.1	2.0	1.8	1.6	1.4	1.3	1.2	
20	2.1	2.1	2.1	2.0	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	
25	2.1	2.1	2.1	2.0	1.9	1.8	1.6	1.4	1.3	
30		2.1	2.1	2.0	1.9	1.8	1.6	1.4	1.3	
35		2.1	2.1	2.0	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2
40		2.0	2.0	2.0	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2
50		1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2

Fattori di Amplificazione **PGA**. Colonna 1 H (m), riga 1 V_{sH} (m/s)

	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2.1	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	
10	2.6	2.3	1.9	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.3	
15	2.7	2.6	2.3	1.9	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	
20	2.6	2.6	2.4	2.1	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	
25	2.6	2.6	2.5	2.3	2.0	1.7	1.6	1.4	1.3	
30		2.4	2.4	2.3	2.1	1.8	1.6	1.5	1.3	
35		2.4	2.4	2.3	2.2	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2
40		2.2	2.2	2.2	2.2	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2
50		2.1	2.1	2.1	2.1	2.0	1.8	1.6	1.5	1.3

Fattori di Amplificazione **SI1** ($0.1s \leq T_0 \leq 0.5s$). Colonna 1 H (m), riga 1 V_{sH} (m/s)

	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	
10	1.8	1.6	1.4	1.4	1.3	1.4	1.3	1.3	1.3	
15	2.3	1.9	1.6	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	
20	2.9	2.6	1.9	1.6	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	
25	3.6	3.0	2.3	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	
30		3.3	2.7	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	
35		3.5	3.0	2.2	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	1.1
40		3.5	3.2	2.6	2.0	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2
50		3.3	3.3	3.0	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5	1.3

Fattori di Amplificazione **SI2** ($0.5s \leq T_0 \leq 1.0s$). Colonna 1 H (m), riga 1 V_{sH} (m/s)

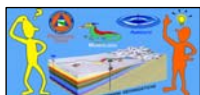
SUBSTRATO MARINO NON RIGIDO, CARATTERIZZATO DA VALORI DI $V_s \leq 800$ m/s, AFFIORANTE.

V_{s30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
F.A. PGA					1.9	1.8	1.6	1.4	1.2	1.1
F.A. SI1					1.9	1.7	1.6	1.4	1.3	1.2
F.A. SI2					1.5	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3

Fattori di Amplificazione **PGA, SI1 e SI2**

FIG. 48 - TABELLA "APPENNINO"

(tratta dall'allegato 2 alla DGR 2193/2015)



In relazione a quanto sopra ed ai riscontri ottenuti il territorio indagato è stato suddiviso in zone omogenee con uguale fattore di amplificazione FA, così come visibile nella seguente tabella di sintesi ove a fianco del numero di zona col relativo cromatismo compare la tabella di riferimento utilizzata, lo spessore delle "coperture", il valore di V_{S_H} ed i relativi fattori di amplificazione.

ZONE	TABELLA	H (m)	VALORE VS (m/s)	FATTORI DI AMPLIFICAZIONE		
				P.G.A.	F.A.	
					Is (0,1s<T0<0,5s)	Is (0,5s<T0<1,0s)
Zone Stabili suscettibili di amplificazioni locali per effetto stratigrafico						
2001	Appennino - Substrato non rigido affiorante	0,0÷2,0	VS30=350 m/s	1,9	1,9	1,5
2002	Appennino - Substrato non rigido affiorante	0,0÷3,0	VS5=200 m/s	2,0	1,7	1,4
2003	Appennino - Substrato non rigido affiorante	0,0÷2,0	VS30=450 m/s	1,6	1,6	1,4
2004	Appennino - Substrato non rigido con copertura	3,0÷7,5	VS5=250 m/s	1,6	1,5	1,4
2005	Appennino - Substrato non rigido con copertura	3,0÷7,5	VS5=250 m/s	1,6	1,5	1,4
2006	Appennino - Substrato non rigido con copertura	7,5÷12,5	VS10=250 m/s	2,0	1,9	1,4
2007	Appennino - Substrato non rigido con copertura	7,5÷12,5	VS10=300 m/s	1,8	1,6	1,4
2008	Appennino - Substrato non rigido con copertura	12,5÷17,5	VS15=250 m/s	2,1	2,3	1,6
2009	Appennino - Substrato non rigido con copertura	12,5÷17,5	VS15=300 m/s	2,0	1,9	1,4
2010	Appennino - Substrato non rigido con copertura	7,5÷12,5	VS10=250 m/s	2,0	1,9	1,4
Zone Stabili suscettibili di amplificazioni locali per effetto topografico						
2002	Appennino - Substrato non rigido affiorante	0,0÷3,0	VS5=200 m/s	2,3÷3,0	1,9÷2,0	1,7÷1,8
Zone di attenzione per instabilità						
2011		<5,0	VS5=150 m/s	2,3	2,1	1,4
2012		<5,0	VS5=200 m/s	2,0	1,7	1,4

FIG. 49 - TABELLA DI SINTESI MOPS E FATTORI DI AMPLIFICAZIONE SISMICA

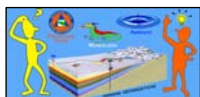


12 - COMMENTI FINALI, INCERTEZZE E CRITICITÀ

Il presente studio di Microzonazione Sismica ha permesso di incrementare il quadro conoscitivo sulle caratteristiche fisiche dei sedimenti su cui è impostato il territorio comunale e di effettuare una valutazione preliminare del comportamento dei terreni in occasione di un evento sismico; valutazione che potrà essere affinata, migliorata e ricalibrata nel tempo in funzione di ulteriori indagini e conoscenze.

In sintesi, lo studio condotto consente di affermare che:

- 1) il territorio possiede una marcata variabilità morfologica riconducibile sia agli eventi geodinamici, sia all'esistenza di litologie a diverso grado di compattazione/cementazione che "rispondono" in modo diverso ai processi geomorfici in atto;
- 2) il bedrock sismico è di tipo "non rigido", come dimostrano le basse velocità delle onde di taglio ($V_s < 800 \text{ m/s}$) che lo attraversano, ed è qui costituito da:
 - depositi marini prevalentemente argilloso-siltosi di età Plio-Pleistocenica afferenti alle "Argille di Lugagnano" ed al "Supersistema della Val d'Arda", per lo più presenti in ambito collinare;
 - depositi paralico-transizionali prevalentemente sabbioso-siltosi con intercalazioni di ghiaie afferenti al "Sistema del Torrente Stirone" ed al "Sistema di Costamezzana", entrambi databili al del Pleistocene inferiore, per lo più presenti in ambito di margine e di alta pianura;
- 3) il substrato geologico "non rigido" è affiorante o sub-affiorante in diverse aree collinari a Sud del capoluogo mentre spostandosi verso Nord, in area "padana", esso è ricoperto dai sedimenti fluvio-alluvionali che compongono le "coperture quaternarie";
- 4) in ambito locale queste coperture hanno spessori variabili da pochi metri a poche decine di metri (in genere sui pianalti o nelle zone di conoide mediana), tessiture piuttosto differenziate ed una notevole variabilità litostratigrafica (sia verticale che laterale) riconducibile ai processi fluvio-alluvionali da cui hanno avuto origine;
- 5) questa marcata eterogeneità litostratigrafica d'insieme substrato-copertura, condiziona e governa la risposta sismica locale, probabilmente seguendo anche allineamenti preferenziali di non facile individuazione se non con specifiche campagne di indagini geognostiche economicamente impegnative;
- 6) per i motivi di cui ai precedenti punti il primo livello di approfondimento, che trova la sua sintesi nella Carta delle MOPS, ha evidenziato un potenziale rischio di amplificazione sismica per effetti stratigrafici in tutte le aree indagate;
- 7) nonostante il suddetto quadro non sia esaustivo, mostrando incertezze e criticità, si è tuttavia proceduto ad una microzonazione sismica di Livello 2 del territorio comunale, urbanizzato ed urbanizzabile, mediante procedura semplificata (come da DGR 2193/2015) ed in considerazione degli abachi "Appennino" di cui all'All.2 della medesima Delibera;



- 8) in relazione alla profondità del bedrock sismico, i valori di amplificazione in termini di PGA risultano essere minori ($FA_{PGA}=1,6$) ove minore è lo spessore delle coperture quaternarie ($3,0m \div 7,5m$), come il fondovalle Arda a Nord del ponte di Castell'Arquato impostato sul *Subsintema di Ravenna*, e maggiori ($2,0 \leq FA_{PGA} \leq 2,1$) ove il substrato è sub-affiorante, come nel caso del nucleo medioevale di Castell'Arquato e di Bacedasco, o dove maggiori sono gli spessori delle coperture, come nelle frazioni "Doppi", "Pallastrelli", "Sant'Antonio", "San Lorenzo" e "Vigolo Marchese"; il valore di amplificazione più elevato si riscontra lungo il bordo della scarpata morfologica a Sud del centro storico di Castell'Arquato, sul quale sorgono la rocca ed alcuni edifici residenziali, che a causa del fattore topografico si attesta su valori compresi tra $2,3 \leq FA_{PGA} \leq 2,4$ con potenziale apice tra $2,5 \leq FA_{PGA} \leq 3,0$ in corrispondenza di una limitata zona soprastante il Rio Crevalese ove maggiore è l'altezza della scarpata;
- 9) pur rispecchiando nel suo insieme la distribuzione dei valori di PGA, l'amplificazione in termini di Intensità di Housner per periodi di $0,1 \div 0,5$ secondi subisce un incremento nella zona dei "Pallastrelli", ove il fattore di amplificazione arriva a $FA_{IS0,1-0,5s}=2,3$, ed una riduzione in corrispondenza del nucleo medioevale del capoluogo ove si ha un $FA_{IS0,1-0,5s}=1,7$; anche qui, ove il fattore topografico incide nella valutazione si registra un valore di $1,9 \leq FA_{IS0,1-0,5s} \leq 2,0$;
- 10) decisamente più omogenei invece sono la distribuzione spaziale ed i valori di Intensità di Housner per periodi di $0,5 \div 1,0$ secondi, che si attestano sul valore di $FA_{IS0,5-1,0s}=1,4$ per tutte le zone tranne che per la località "Case La Pietra" e la frazione "Pallastrelli" ove si ha un valore di $FA_{IS0,5-1,0s}=1,6$; analogamente ai punti precedenti, in corrispondenza della scarpata morfologica sul Rio Crevalese si registra il maggior valore pari a $1,7 \leq FA_{IS0,5-1,0s} \leq 1,8$;
- 11) le zone instabili rientranti nella microzonazione si riferiscono a due modesti scivolamenti gravitativi a valle del nucleo abitato di Bacedasco, innescatisi nella coltre di alterazione superficiale dei litotipi argilloso-siltosi che compongono il Subsintema di M. Giogo, dei quali restano poche tracce e sui quali non esiste alcun edificio ne tanto meno ne sono previsti;
- 12) per quanto concerne l'insorgenza di possibili fenomeni di liquefazione si ritiene di poter affermare, in considerazione delle stratigrafie e di quanto ad oggi noto per le aree indagate, che il rischio potenziale all'interno di tali zone sia decisamente ridotto se non nullo visto anche il grado di addensamento che di norma si riscontra nei litotipi granulari che potrebbero essere soggetti a tale fenomeno. Ciò non toglie che in occasione di nuove edificazioni o di interventi su manufatti esistenti sia necessario, qualora se ne riscontrino le prerogative nei terreni di sedime, condurre specifica verifica in merito.



13 - ELABORATI CARTOGRAFICI

In occasione del presente studio si sono prodotti i seguenti elaborati cartografici a scala 1:10.000:

- *Carta geologico-tecnica*
- *Carta delle indagini*
- *Carta delle frequenze naturali dei terreni*
- *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)*
- *Carta delle velocità delle onde di taglio S (V_s)*
- *Carta di microzonazione sismica – FA_{PGA}*
- *Carta di microzonazione sismica – $FA_{IS\ 0,1 - 0,5\ s}$*
- *Carta di microzonazione sismica – $FA_{IS\ 0,5 - 1,0\ s}$*

Al termine della microzonazione si è operato un confronto tra le nozioni ottenute ed i risultati emersi nel corso dell'Analisi della Condizione Limite per l'Emergenza che ha consentito di elaborare una carta di "sovrapposizione" in cui compaiono gli elementi schedati dall'analisi CLE contestualizzati nella MS.

