



PROTEZIONE CIVILE
 Presidenza del Consiglio dei Ministri
 Dipartimento della Protezione Civile



CONFERENZA DELLE REGIONI E
 DELLE PROVINCE AUTONOME

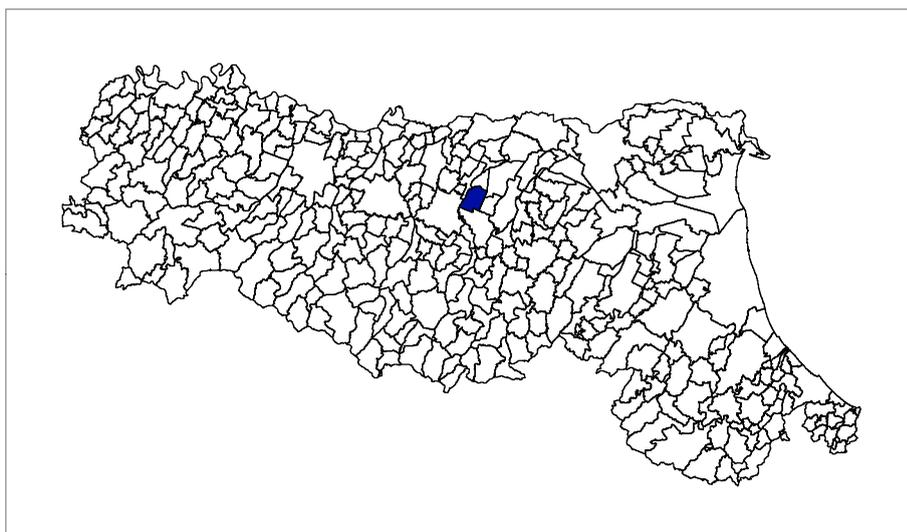
Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n.77

MICROZONAZIONE SISMICA

QUADRO CONOSCITIVO PSC 2013

RELAZIONE TECNICA

Regione Emilia-Romagna Comune di Nonantola



Regione
 Emilia Romagna

Studio realizzato con il contributo di cui all'OPCM 4007/2012.

Coordinamento della Regione Emilia-Romagna - Servizio Geologico Luca Martelli

Coordinamento della Provincia di Modena - Servizio Urbanistica e SIT Antonella Manicardi

Soggetto realizzatore
 Studio Geologico CENTROGEO

Progetto:

Gian Pietro Mazzetti

Collaboratori:

Stefano Gilli, Andrea Arbizzi, Mauro Mazzetti

ELaborazioni GIS:

Studio Benaglia
 Professionisti Associati
 Corrado Ugoletti

Amministrazione comunale

Sindaco:

Pier Paolo Borsari

Direttore

Area Tecnica:

Antonella Barbara Munari

Data

Maggio 2014

QUADRO CONOSCITIVO PSC 2013

MICROZONAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO COMUNALE

INDICE

INTRODUZIONE.....	1
INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO.....	3
INQUADRAMENTO GEOLOGICO STRUTTURALE.....	5
MODELLAZIONE SISMICA.....	11
Caratteri Tettonici e Sismici del Territorio.....	11
Attività Tettonica	13
DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE.....	16
Pericolosità sismica – Definizione del moto di riferimento	28
INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.....	30
Caratteri Geomorfolologici (Carta Geologico Tecnica).....	30
DRENAGGIO IDRICO SUPERFICIALE – ESONDABILITA'	33
IDROGEOLOGIA.....	36
Ambiente Idrico Sotterraneo.....	36
Definizione del sistema idrogeologico.....	36
Schema Idrogeologico regionale	36
Interfaccia Acque Dolci - Acque Salate	37
Definizione spaziale del Modello Idrogeologico Locale.....	38
Serie Idrogeologica Locale.....	38
Identificazione dinamica del sistema idrogeologico locale.....	43
Piezometria dell'acquifero freatico.....	43
Isopieze dell'acquifero	43
Soggiacenza Acquifero Freatico.....	44
Condizioni al Contorno della Struttura Idrogeologica freatica	44
CARATTERI GEOLOGICO TECNICI.....	46
Carta geologico tecnica	46
INDAGINI PER LA CARATTERIZZAZIONE SISMICA.....	47
Microtremori con la tecnica HVSR.....	47
Prospezione sismica a rifrazione attiva/passiva Re.Mi e MASW/Re.Mi	48
PRIMO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO	51
Carta delle indagini	51
Carta delle frequenze naturali del terreno.....	51
Tetto delle sabbie e del substrato a comportamento rigido: bedrock sismico	53
Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica o delle Aree Suscettibili di Effetti Locali	55
Definizione successioni a comportamento sismico equivalente	56
SECONDO E TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO	66
Carta delle nuove indagini	66
Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs).....	66
Carte dei fattori di amplificazione – microzonazione sismica	67
Pericolosità sismica – Definizione del moto di riferimento	68
Definizione degli input sismici.....	70
Calcolo degli effetti di sito.....	71
Definizione dei coefficienti di amplificazione sismica.....	73
SUSCETTIVITÀ ALLA LIQUEFAZIONE	76
Carta dei fattori di amplificazione dell'accelerazione massima orizzontale FA.PGA.....	78
Carte dei fattori di amplificazione di intensità di Housner	79
Carta dei fattori di amplificazione di intensità di Housner nell'intervallo $0.1 < T < 0.3$ sec.....	80
Carta dei fattori di amplificazione di intensità di Housner nell'intervallo $0.3 < T < 0.5$ sec.....	80
Carta dei fattori di amplificazione di intensità di Housner negli intervalli $0.1 < T < 0.5$ sec.....	81
Carta dei fattori di amplificazione di intensità di Housner negli intervalli $0.5 < T < 1.0$ sec.....	82
Carta dei fattori di amplificazione di intensità di Housner nell'intervallo $1.0 < T < 2.0$ sec.....	82
Carta dei fattori di amplificazione di FA ICMS 2008	83
Carta dei fattori di amplificazione di FV ICMS 2008	84
ANALISI DELLA CONDIZIONE LIMITE PER L'EMERGENZA.....	85
Breve descrizione degli elaborati	86

ELABORATI

Tav.1.1 - Nord	Indagini Pregresse e Nuove	1:10.000
Tav.1.1 - Sud		
Tav.1.2.1	Sezioni Geologiche	1:25.000/1:1.000
Tav.1.2 - Nord	Carta Geologico Tecnica	1:10.000
Tav.1.2 - Sud		
Tav.1.3 - Nord	Carta Isopieze Primo Acquifero	1:10.000
Tav.1.3 - Sud		
Tav.1.4 - Nord	Carta Soggiacenza Primo Acquifero	1:10.000
Tav.1.4 - Sud		
Tav.1.5 - Nord	Carta Tetto delle Sabbie e del Substrato a Comportamento Rigido	1:10.000
Tav.1.5 - Sud		
Tav.1.6 - Nord	Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)	1:10.000
Tav.1.6 - Sud		
Tav.1.7 - Nord	Carta delle Frequenze Naturali dei Terreni	1:10.000
Tav.1.7 - Sud		
Tav.2.1 - Nord	Carta delle Indagini Nuove	1:10.000
Tav.2.1 - Sud		
Tav.2.2 - Nord	Carta delle Velocità Onde di Taglio Vs nei Primi 30 m p.c. (Vs30)	1:10.000
Tav.2.2 - Sud		
Tav.3.1 - Nord	FA ICMS 2008	1:10.000
Tav.3.1 - Sud		
Tav.3.2 - Nord	FV ICMS 2008	1:10.000
Tav.3.2 - Sud		
Tav.3.3 - Nord	FA PGA	1:10.000
Tav.3.3 - Sud		
Tav.3.4 - Nord	FA IS 0,1 <T<0,5 sec	1:10.000
Tav.3.4 - Sud		
Tav.3.5 - Nord	FA IS 0,5 <T<1,0 sec	1:10.000
Tav.3.5 - Sud		
Tav.3.6 - Nord	FA IS 0,1 <T<0,3 sec	1:10.000
Tav.3.6 - Sud		
Tav.3.7 - Nord	FA IS 0,3 <T<0,5 sec	1:10.000
Tav.3.7 - Sud		
Tav.3.8 - Nord	FA IS 1,0 <T<2,0 sec	1:10.000
Tav.3.8 - Sud		
CLE 10K Nord	Carta CLE a scala comunale	1:10.000
CLE 10K Sud		
CLE 2K	Sviluppi carta CLE	1:2.000

ALLEGATI

Indagini geognostiche e geofisiche

INTRODUZIONE

Nel contesto delle analisi di valutazione delle condizioni del grado di sicurezza riferito alla pericolosità sismica del territorio Comunale di Nonantola (MO), é stata redatta una disamina di caratterizzazione e modellazione geologico – tecnica e della pericolosità sismica di base – azione sismica, finalizzati alla riduzione del rischio sismico del territorio urbanizzato di previsto sviluppo e delle fasce interessate dalle principali infrastrutture, indirizzati alle valutazioni d’uso per la pianificazione urbanistica.

Le analisi sono state eseguite in ottemperanza ai dettati delle leggi nazionali, in riferimento al D.M. 11/03/88, circ. LL.PP. N° 30483 del 24/09/88; L.R. RER N° 20 del 24/03/2000, N.A Piano stralcio Assetto Idrogeologico allegato 7, Disposizioni R.E.R. concernenti l’attuazione del P.A.I. del 06/02, NA PTCP Modena, D.M. 14 - 01 – 2008, Delibera Assemblea Legislativa R.E.R. n° 112 del 02-05-2007, Delibera di Giunta Regionale dell’Emilia Romagna n. 1032/2012 (DGR 1051/2011), “Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica” del Dipartimento Protezione Civile e Conferenza delle Regioni e P.A. (Gruppo di lavoro MS, 2008).

L’analisi di microzonazione sismica è stata realizzata con il contributo di cui all’OPCM 4007/2012 è stata sviluppata in coordinamento con il *Servizio Geologico Sismico e dei Suoli*, Dr. Luca Martelli, Dr. Raffaele Pignone, della Regione Emilia Romagna, con l’*Ufficio S.I.T. della Provincia di Modena*, Arch. Antonella Manicardi del *Settore Urbanistica* Provincia di Modena.

Le valutazioni di fattibilità per la valutazioni urbanistiche, sono state effettuate in funzione delle condizioni geologico strutturali, delle tipologie dei processi morfogenetici, dell’estensione degli ambiti territoriali sede dell’urbanizzato e di possibile previsto sviluppo.

La determinazione della pericolosità sismica dell’area del Comune di Nonantola è stata sviluppata mediante la realizzazione della carta di approfondimento sismico di primo livello per l’individuazione degli ambiti suscettibili di effetti locali in caso di sollecitazione sismica e della carta di approfondimento sismico di terzo livello, per la definizione dei Fattori di Amplificazione correlati allo scuotimento sismico atteso al suolo, sulla base delle indicazioni contenute nelle sopracitate DGR 1032/2012, DAL 112/2007 e “I.C.M.S.” del Dipartimento della Protezione Civile e Conferenza delle Regioni e P.A. (Gruppo di lavoro MS, 2008).

Detti elaborati sono propedeutici all’elaborazione del PSC, rappresentando uno strumento efficace per indirizzare scelte urbanistiche in zone a riconosciuta minore pericolosità sismica.

Le elaborazioni cartografiche eseguite sono pertanto relative, agli ambiti di interesse per la pianificazione a scala comunale.

Tali disamine sono state sviluppate in base a rilevamenti ed indagini direttamente effettuate che hanno integrato ed approfondito quelle precedentemente eseguite nel contesto delle analisi sviluppate negli studi del P.T.C.P. di Modena relativamente alla cartografia per la riduzione del rischio sismico: aree suscettibili di effetti locali (Tav.2.2a.02 – 2.2a.05).

Le analisi di microzonazione sismica, sono state eseguite su commissione **dell'Amministrazione Comunale di Nonantola, Modena**, in collaborazione con *l'Ufficio S.I.T. della Provincia di Modena*.

L'analisi di microzonazione sismica, realizzata con il *contributo di cui all'OPCM 4007/2012*, è stata sviluppata in *coordinamento con il Servizio Geologico, Sismico e dei suoli, Dr. Luca Martelli, della Regione Emilia Romagna*.

Le rilevazioni in sito ed elaborazioni sono state effettuate da Dr. A. Arbizzi, M. Mazzetti, Dr. Stefano Gilli, Dr. G.P. Mazzetti, dello studio *Centrogeo Survey Snc*, Correggio, Reggio Emilia.

Le elaborazioni GIS sono state eseguite da Geom. Corrado Ugoletti, Studio Associato Benaglia, Reggio Emilia.

INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO

Il territorio comunale di Nonantola è delimitato nella zona occidentale dal Panaro sino circa all'altezza di I Casoni, da qui il confine settentrionale si estende in direzione orientale assecondando l'andamento della SP Argini mediamente 100 m a sud sino a Loberso. Da quest'ultimo toponimo si dirige in verso sud orientale subparallelamente a via Canaletto sino all'omonima frazione dalla quale assume direzione sud, coincidendo col Cavo Muzza, formando il confine orientale sino all'intersezione col Canale Galletto ed assecondando l'andamento di strada confine / Canale Tiepido si dirige ad ovest e poi a sud intercettando Strada Imperiale e seguendo la stessa in verso occidentale sino al F. Panaro.

Il Comune di Nonantola (MO) ricade nella tavoletta NONANTOLA III SO, appartenente al F° MIRANDOLA N° 75 e CASTELFRANCO EMILIA IV NO appartenente al F° BOLOGNA N° 87 I.G.M. PQ zona 32 T.

La zona in analisi ricade alle sezioni della Carta Tecnica Regione Emilia Romagna:

BOMPORTO N° 202050,

CREVALCORE N° 202060,

NONANTOLA N° 202090,

SANT'AGATA BOLOGNESE N° 202100,

GAGGIO N° 202130,

Il territorio comunale si estende su una superficie di 55 Km² con geometria sub rettangolare allungata in direzione sud ovest – nord est delimitata dai meridiani 657.800 ad ovest, 668.000 ad est e dai paralleli 4945500 a sud e 4955000 a nord.

Dal punto di vista altimetrico i terreni sono compresi tra i 26 - 30 m slm, in prossimità del F. Panaro (confine ovest), tra 23 – 26 m slm nella fascia settentrionale, tra 20 – 23 m slm al bordo orientale – nord orientale e tra 27 – 30 m slm nel settore meridionale.

Tali quote collocano il territorio comunale nella fascia di media pianura padana.

Analizzando l'andamento delle curve di livello si osserva che i terreni hanno altimetria mediamente compresa circa tra 25 e 28 m slm ad eccezione della fascia territoriale occidentale adiacente al F. Panaro, nella quale gli interventi antropici per la messa in sicurezza idraulica del territorio, hanno costruito un rilevato arginale con altezze comprese tra 34 e 35 m slm; fa inoltre eccezione il settore nord orientale caratterizzato da un'area valliva di pianura con quote comprese tra 20 e 23 m slm.

L'assetto topografico declina in direzione sud nord nella parte a meridione di Strada Valluzza - Strada San Lorenzo Secchia - Via Borsara, zona alla quale appartiene

il capoluogo; la clivometria è orientata ovest – est a settentrione dell’allineamento delle sopracitate vie.

Il territorio è caratterizzato dalla presenza, oltre al sopradescritto corpo del F. Panaro, da due dossi topografici, correlabili ad antichi corpi di canale fluviale estinti, uno dei quali è allungato in senso sud nord e si estende subparallelamente all’andamento della Strada Mavora, sino al capoluogo ed alla frazione Le Casette; un secondo dosso si estende in direzione ovest est dagli argini del F. Panaro a Cantone – Canaletto e rappresenta il confine settentrionale dell’area comunale. Detti corpi morfologici hanno quote comprese tra 23 e 29 m slm con pendenze longitudinali dell’1‰ e trasversali dell’1÷5‰ nella zona centrale; e tra 23 e 27 m slm ed analogamente pendenze, nella fascia settentrionale. A meridione di quest’ultimo ed a nord di Via Valluzza la superficie del piano campagna assume una morfologia blandamente concava con quote tra 20 e 23 m slm, e pendenze comprese tra 0,5 e 1‰.

Tale zona, morfologicamente più ribassata, costituisce un ambito vallivo di pianura nel quale sussistono condizioni di drenaggio superficiale difficoltoso.

L’assetto morfologico territoriale di insieme è pertanto caratterizzato da forme convesse nel settore occidentale, settentrionale e centrale che delimitano zone a minore acclività nella parte nord orientale dove il territorio costituisce un areale vallivo di pianura.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO STRUTTURALE

Il Comune di Nonantola, MO, appartiene al bacino subsidente Pliocenico Quaternario della Pianura Padana, estendentesi su una superficie di circa 46.000 kmq, formato da un'ampia e profonda depressione a stile compressivo, costituita da sedimenti di età Mesozoica, Terziaria e Quaternaria. In tale complesso la base delle formazioni plioceniche si rinviene tra 200 e 6.000 m di profondità e lo spessore medio delle formazioni quaternarie è di circa 1.000 m.

Le conoscenze dell'assetto geologico strutturale del Bacino Padano derivano dalle prospezioni geofisiche eseguite da *AGIP ENI* e dalle indagini ed elaborazioni effettuate dal *Servizio Geologico Sismico e dei Suoli Regione Emilia Romagna* sviluppate nel contesto del Progetto CARG.

Dette analisi indicano una suddivisione, dal punto di vista litostratigrafico, in un complesso inferiore ed uno superiore; il primo caratterizzato da formazioni pre pleistoceniche, sostanzialmente costituite da sedimenti in facies marina; il secondo, a sua volta diviso in una litozona inferiore ed una superiore, la prima delle quali è formata da depositi marini (Qm) di età pleistocenica che sono sovrastati da sequenze marine marginali e da depositi messi in posto dalle alluvioni dei fiumi alpino appenninici e dal Po del Pleistocene superiore – Olocene a loro volta suddivisi in due cicli dei quali quello inferiore AEI è costituito dai materiali depositatisi tra 800.000 e 400/450.000 anni b.p., il ciclo superiore AES si è sedimentato da 400/450.000 anni b.p. all'attuale.

Detti complessi formano un'ampia struttura sinclinalica, complicata in numerose pieghe e dislocazioni tettoniche con direttrici prevalentemente appenniniche, conseguite alle fasi *Mioplioceniche* (Zona Piacentino Lombarda) e *Plioceniche Inferiori* (zona Emiliano Romagnola) che hanno determinato una struttura a carattere compressivo.

L'assetto geostrutturale della base del Pliocene nel sottosuolo del territorio di Bastiglia – Nonantola – Crevalcore – Sorbara – Limidi – Soliera è caratterizzato dalla zona di transizione tra le pieghe del margine appenninico padano denominate Pieghe Romagnole e quella delle Pieghe Ferraresi, alle quali è interconnessa la depressione sinforme, con asse orientato ovest – est che si immerge in verso orientale, circa estesa tra Soliera – Bastiglia – S. Agata Bolognese – S. Giovanni in Persiceto.

Tali strutture sono interessate da numerose dislocazioni tettoniche a direttrice appenninica ancor oggi attive, che separano l'area collinare, in lento sollevamento, da quella planiziale in regime subsidente.

Le Pieghe Romagnole, 3 ÷ 5 km a meridione dell'allineamento Campogalliano – Nonantola – S. Giovanni In Persiceto, costituiscono assetti strutturali positivi, sovrascorsi sul fianco settentrionale ed embriciate in direttrice settentrionale, che

hanno determinato l'innalzamento della base del Pliocene a $-3 \div -2$ km dal piano campagna. Il substrato prepliocenico, procedendo verso nord, si approfondisce rapidamente sino a giungere a $-7,5 \div -8,5$ km dal p.c. in corrispondenza dell'asse della sinclinale Soliera – Bastiglia – Crevalcore – S. Giovanni in Persiceto – Argelato - Sabbiuino. In direzione settentrionale il substrato prepliocenico, mediante una sequenza di faglie inverse e sovrascorrimenti, disposti ad embrici, $12 - 16$ km a nord dell'allineamento S. Agata Bolognese – Soliera, passa alla Regione delle Pieghe Ferraresi, caratterizzate dall'arco più interno omonima Dorsale, dove le isobate del prepliocene salgono a $1 \div 2$ km dal p.c. giungendo alla massima culminazione assiale in prossimità di Novi di Modena, località Cavone, dove il tetto delle Unità Preplioceniche si rinviene circa a $-220 \div -300$ m dal p.c. ed il tetto del pliocene a $-70/-90-120$ m pc.

I movimenti tettonici che hanno interessato tale regione risultano essersi verificati anche in tempi recenti, denunciando un'attività neotettonica (*C.N.R.; Progetto Finalizzato Geodinamica, Sottoprogetto Neotettonica 1987*), confermata anche dalle migrazioni verso ovest dei fiumi che hanno attraversato tale area e sulle quali hanno probabilmente influito i movimenti della Dorsale Ferrarese, soprattutto per il Po.

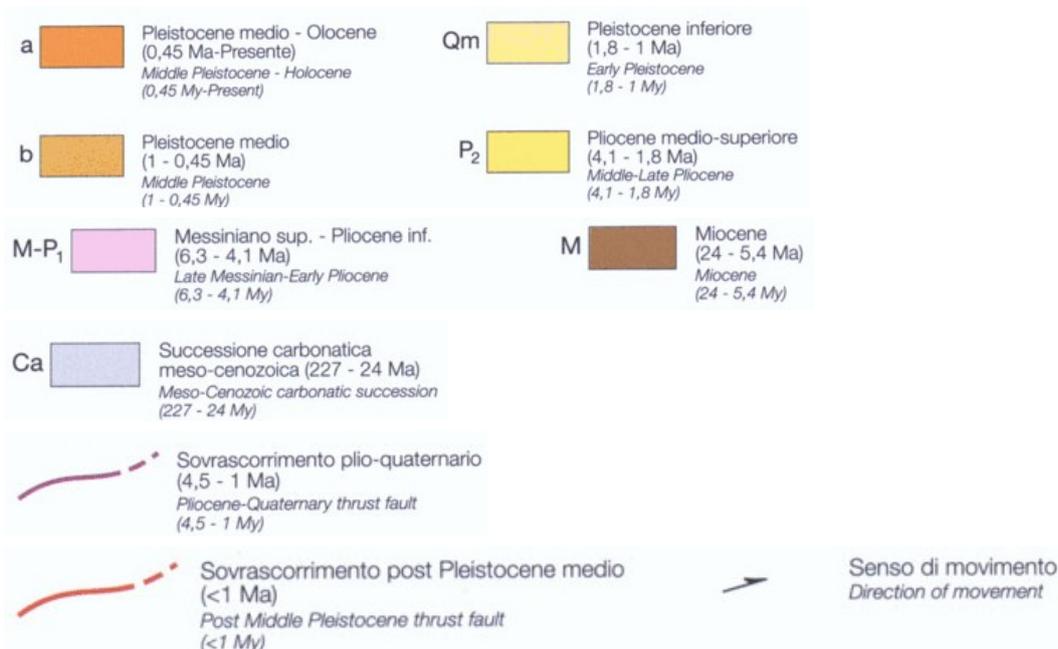
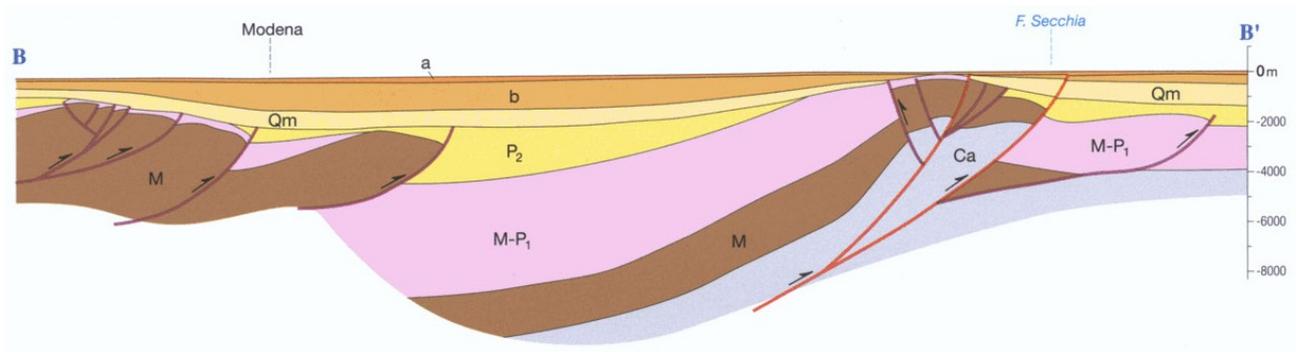
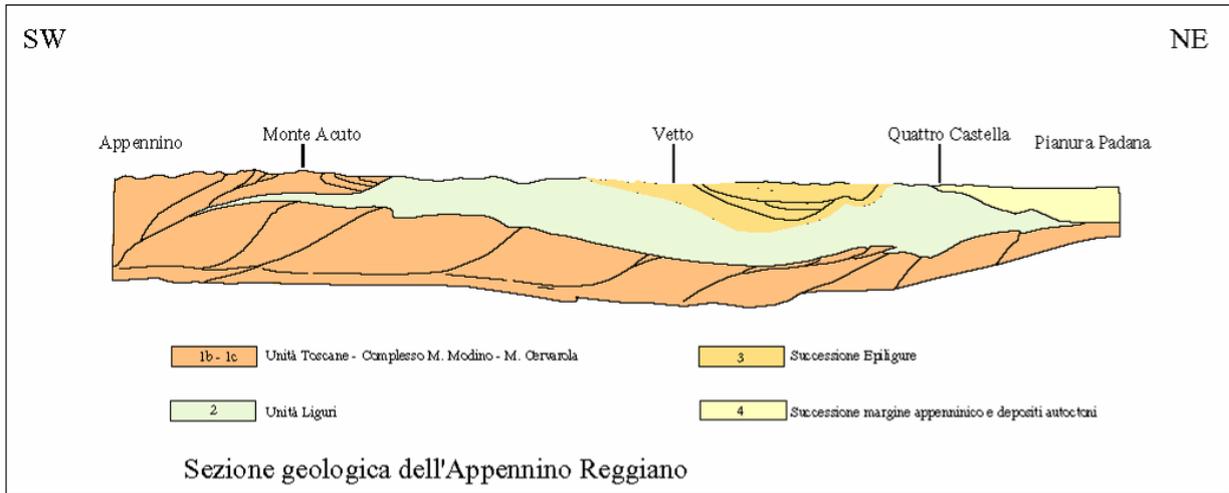
Le principali faglie neotettoniche, individuate nel contesto del sopraindicato progetto, non evidenziano la presenza di ripercussioni in superficie e dislocazioni attive in prossimità dell'area sede del territorio di Nonantola, MO.

Nel sottosuolo di quest'ultimo, in base ai dati *AGIP e R.E.R.*, il tetto del Quaternario Marino (Qm. CARG ER) si rileva a -450 m dal piano campagna ed appartiene ad una depressione sinforme. Tale struttura è coperta da sedimenti di piana fluviodeltizia di ambiente marino marginale ed in parte di piana alluvionale e di conoide distale, seguiti verso l'alto stratigrafico da alluvionali formate da livelli sabbiosi più o meno continui, soventemente lentiformi, intercalati a sequenze prevalentemente limoso argillose.

Dette sequenze, Sintema Emiliano – Romagnolo, nel sottosuolo dell'area a cui appartiene Nonantola non evidenziano la significativa presenza di deformazioni correlate ad azioni tettoniche, come invece si osserva nelle zone $20 - 25$ Km ad ovest (Correggio – Bagnolo – Novellara).

L'interfaccia acque dolci - acque salmastre è generalmente rinvenibile, tra Nonantola, Sorbara e Soliera, tra $-450/-500$ m e $-600/-650$ m dal piano campagna.

La serie litostratigrafica, che sarà descritta con maggior dettaglio nella parte idrogeologica, è ascrivibile alla fascia della Media Pianura Padana costituita dagli apporti distali dei fiumi appenninici. Detta successione ricalca l'assetto strutturale del substrato prepliocenico attenuandolo.



SCALA GEO-CRONOMETRICA IN MA			SCALA CRONOSTRATIGRAFICA	
EPOCHE		ETÀ STANDARD		
0	PLEISTOCENE	1.7 CALABRIANO		
5	PLIOCENE	4.2 PIACENZIANO	2.8 CALABRIANO	RUSSELLIANO
		5.2 TABIARIANO		
		6.6 MESSINIANO		
10	MIOCENE SUPERIORE	11.5 TORTONIANO		
15	MIOCENE MEDIO	15.5 SERRAVALLIANO		
		16.5 LANGHIANO		
20	MIOCENE INFERIORE	22.5 BURDIGALIANO		
		24 AQUITANIANO		
25	OLIGOCENE SUPERIORE	32 CATTIANO		
30	OLIGOCENE INFERIORE	37 RUPELIANO		
35	EOCENE SUPERIORE	40 PRIABONIANO		
		44 BARTONIANO		
40	EOCENE MEDIO	49 LUTEZIANO		
45	EOCENE INFERIORE	53.5 YPRESIANO		
50	PALEOCENE SUPERIORE	60 THANETIANO		
55	PALEOCENE INFERIORE	65 DANIANO		

DATAZIONI IN MA	UNITA' DELLA SCALA STANDARD				ALTRE UNITA'	UNITA' LOCALI E NOM. ABBANDONATI
	PERIODI	EPOCHE	ETK			
1.8	QUATERNARIO	DIOCENE	VERSILIANO	FLANDRIANO	IRECENTE	
5	NEOGENE	PLEISTOCENE	TIRRENIANO	CROTONIANO		
			MILAZZIANO			
			SICILIANO			
			EMILIANO			
			CALABRIANO	SANTERAMO VELA-FRANCIANO		
			PIACENZIANO			
			ZANCLEANO			
			MESSINIANO	PONTICO	ANDALUSIANO	
			TORTONIANO	PANNONICO		
			SERRAVALLIANO	SARMAZIANO	ELVEZIANO	
			LANGHIANO			
			BURDIGALIANO			
			AQUITANIANO			
	OLIGOCENE		CATTIANO			
			RUPELIANO	LATORFIANO	TORONIANO LUDIANO	
	EOCENE		PRIABONIANO		BARTONIANO	
			LUTEZIANO	BIARRIZIANO	SAUVESIANO	
			YPRESIANO	LUSIANO	LEZIANO	
			THANETIANO	SPILLECCHIANO	ESPARNACIANO	
	PALEOCENE		DANIANO		LANDESIANO	
			MAASTRICHTIANO			
	CRETACICO	superiore	SENONIANO			
			CAMPANIANO			
			SANTONIANO			
			CONIACIANO			
			TURONIANO			
			CENOMANIANO			
	inferiore	NEOCOMIANO	ALBIANO			
			APTIANO			
			BARREMIANO		ARGONIANO	
			HAUTERIVIANO		WELDLIANO	
			VALANGINIANO		PLURENANO	
			BERRIASIANO		TIETONICO	
			PORTLANDIANO			
			KIMMERIDGIANO			
	GIURASSICO	Malm	OXFORDIANO			
			DOGGER			
	LIAS		CALLOVIANO			
			BATHONIANO			
			BAJOCIANO			
			AALENIANO			
			TOARCIANO			
			PLIENS-BACHIANO			
			SINE-MURIANO			
			NETTANGIANO			
	TRIASSICO	superiore	RETICO			
			MORICO			
			CARNICO			
			LADINICO			
			ANISICO			
	inferiore		SCITICO			
			TATARIANO			
	PERMIANO	superiore	KAZANIANO			
			KUNGURIANO			
			ARTINSKIANO			
			SARMARIANO			
	CARBONIFERO	SILESIANO	ORENBURGIANO			
			GZELIANO			
			MOSCOWIANO			
			BASHKIRIANO			
			SERPUKHOVIANO			
	DINANTIANO		VISEANO			
			TOURNAISIANO			
	superiore		FAMENNANO			
			FRASNIANO			
	medio		GIVETIANO			
			FIFELIANO			
	inferiore		EMSIANO			
			SIEGEMANO			
			GEDINNIANO			
	superiore		PRIDOLIANO			
			LUDLOVIANO			
			WENLOCKIANO			
	inferiore		LLANDOVERIANO			
			VALENTIANO			
	superiore		ASHGILLIANO			
			CARADOCIANO			
	inferiore		LLANDEILIANO			
			LLANVIRNIANO			
			ARENIGIANO			
			SKIDDAVIANO			
	superiore		TREMADOCIANO			
	medio					
	inferiore					

Da: P.R. Vail, 1977
parz. mod.

MODELLAZIONE SISMICA

Caratteri Tettonici e Sismici del Territorio

Il sottosuolo del territorio tra Soliera – Crevalcore – S. Giovanni in Persiceto – Nonantola – Ganaceto - Carpi, appartiene all'area pianiziale della Provincia di Modena, rappresentata nel settore in oggetto della fascia della media pianura. Tale zona è contraddistinta in profondità dalla sinclinale: Soliera – S. Agata Bolognese - S. Giovanni in Persiceto – Argelato – Sabbiuino che raccorda il sistema delle Pieghe Romagnole - Emiliane, presenti a 3 ÷ 5 km più a sud, con quello delle Pieghe Ferraresi rinvenibili 12 ÷ 16 km a settentrione.

Le Pieghe Romagnole, a meridione della zona in oggetto, sono caratterizzate dalla Dorsale di Castelfranco E. – Ponte Samoggia – Tavernello d'Emilia e dalla Dorsale di Albareto - Bagazzano, rappresentati il proseguimento settentrionale dei motivi tettonici appenninici affioranti a sud di Modena – Bologna. In direzione nord, superata la fascia pedecollinare che corrisponde all'interruzione della coltre ligure, il substrato si approfondisce rapidamente a 6 – 8 km nella Sinclinale di Soliera – S. Agata Bolognese – Argelato – Sabbiuino, per poi innalzarsi gradualmente sino ai sovrascorrimenti che delimitano l'ala meridionale dell'arco più interno delle Pieghe Ferraresi nella fascia S. Pietro in Casale – Cento – S. Felice sul Panaro.

L'assetto della sinclinale Soliera – Argelato, nel settore tra Nonantola – Soliera – Sorbara, presenta una conformazione regolare con asse orientato ovest nord ovest – est sud est con blanda immersione in verso est sud est. Detta struttura, nella fascia tra Ganaceto - Nonantola – S. Agata B.se e S. Giovanni in P.to, denota la presenza di due linee di sovrascorrimento, ad andamento circa sub parallelo, orientate ovest est.

La più settentrionale di dette linee, tra S. Agata B.se e S. Giovanni in P.to flette in direttrice sud in direzione di S. Giacomo di Martignone dove è interessata da uno sovrascorrimento esteso in senso ovest nord ovest – est sud est.

Analoga condizione si riscontra nelle zone occidentali dove, ad ovest di Ganaceto, i sopraccitati sovrascorrimenti flettono a sud ovest verso Campogalliano – Rubiera.

Le strutture delle Pieghe Romagnole è ulteriormente suddivisa in blocchi da faglie trasversali, che delimitano le dorsale di Minerbio – Selva e le componenti arcuate degli sovrascorrimenti nella Dorsale Castelfranco E. – P.te Samoggia. Dette linee tettoniche avrebbero subito movimenti anche in tempi recenti, Pliocene – Pleistocene inf. (5 ÷ 0,89 Ma¹), come suggeriscono le flessioni in verso occidentale del

¹ Ma: Milioni di anni

F. Reno e T. Samoggia che non appaiono giustificabili solamente con diversi equilibri di sedimentazione.

Analoga indicazione è correlabile alla progressiva migrazione verso nord nel Po avvenuta negli ultimi 3000 anni (*Viaggiani 1974*) che asseconda la geometria dell'arco interno delle Pieghe Ferraresi.

In tale contesto si collocano inoltre, in base agli studi sui fenomeni di spostamento recenti verificatisi nella pianura Bolognese – Modenese (*C.N.R. Progetto Finalizzato Geodinamica, Sottoprogetto Neotettonica; 1987*), le interruzioni a pulsazioni con fenomeni di rallentamento (sollevamento?) del generale trend subsidente nelle fasce a settentrione di Modena – Bologna ed a est – nord est di quest'ultima. Le principali faglie inverse sepolte di carattere neotettonico comunque non risulta interessino l'area tra Soliera – Bastiglia – Nonantola – Ravarino – Sorbara , con ripercussioni superficiali palesi e sebbene possano generare terremoti distruttivi con magnitudo inferiore a 6, di solito non si propagano sino alla superficie.

L'assetto geologico delle formazioni sottostanti l'unità dei depositi alluvionali – marino marginali, nelle aree a sud di Soliera – S. Agata Bolognese – S. Giovanni in Persiceto ed a settentrione degli stessi, sono costituite dal succedersi di scaglie tettoniche embricate con assi ad orientamento appenninico, vergenti verso nord, separate da faglie inverse che ne determinano l'ampliamento in direzione settentrionale.

Nell'insieme tale sistema genera un assetto nel quale le faglie listriche che separano le successioni o unità litostratigrafiche immergono in direttrice meridionale.

L'assetto geostrutturale della base del Pliocene nel sottosuolo del territorio in narrativa evidenza che esso è ubicato in corrispondenza della zona occidentale della sinclinale di Soliera – S. Agata Bolognese – S. Giovanni in Persiceto, al passaggio, mediante faglie inverse, alle Pieghe Emiliane.

Nel sottosuolo della zona centro settentrionale del territorio di Nonantola è presente una linea di sovrascorrimento che si estende in direttrice ovest est che, transitando allo spigolo sud est del comune di Bastiglia, procede in verso orientale in direzione di S. Agata Bolognese.

Un'analoga linea di sovrascorrimento si rileva nel sottosuolo della fascia centrale circa orientata secondo l'allineamento Ganaceto – Nonantola Capoluogo – S. Benedetto.

Detti sovrascorrimenti di età Miocene – Pliocene risultano successivamente riattivati.

L'assetto strutturale sopra descritto ha generato condizioni che hanno consentito l'accumularsi di una potente coltre sedimentaria alluvionale che, nel sottosuolo di Soliera – Crevalcore – S. Giovanni in Persiceto - Nonantola - Albareto giunge a -250 ÷ -300 m dal piano campagna per le sequenze del Gruppo Acquifero A (0,35 ÷ 0,45 Ma),

questo è seguito sino a $-400 \div -500$ m pc dal Gruppo Acquifero B ($0,45 \div 0,65$ Ma); dalla sopraddetta profondità a $-700 \div -800$ m pc si rinviene la parte sommitale del Gruppo Acquifero C ($0,65 \div 0,8$ Ma).

Attività Tettonica

L'interazione tra le strutture che costituiscono le Pieghe Romagnole, alla quale è conseguito il sollevamento delle sopraccitate dorsali, evidenzia l'attività in età Pliocene – Pleistocene inf., della linea di sovrascorrimento Ganaceto - Nonantola – Corticella ed analogamente anche per la linea S. Agata B.se – S. Giovanni in P.to – S. Giacomo Martignone (*Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna, M, Boccaletti – L. Martelli; 2004*).

A meridione di queste ultime è presente il sovrascorrimento attivo di Scandiano - Sassuolo – Spilamberto e quello di Bazzano – Bologna – S. Lazzaro, che delimitano il passaggio tra le Pieghe Pedappenniniche e quelle Romagnole.

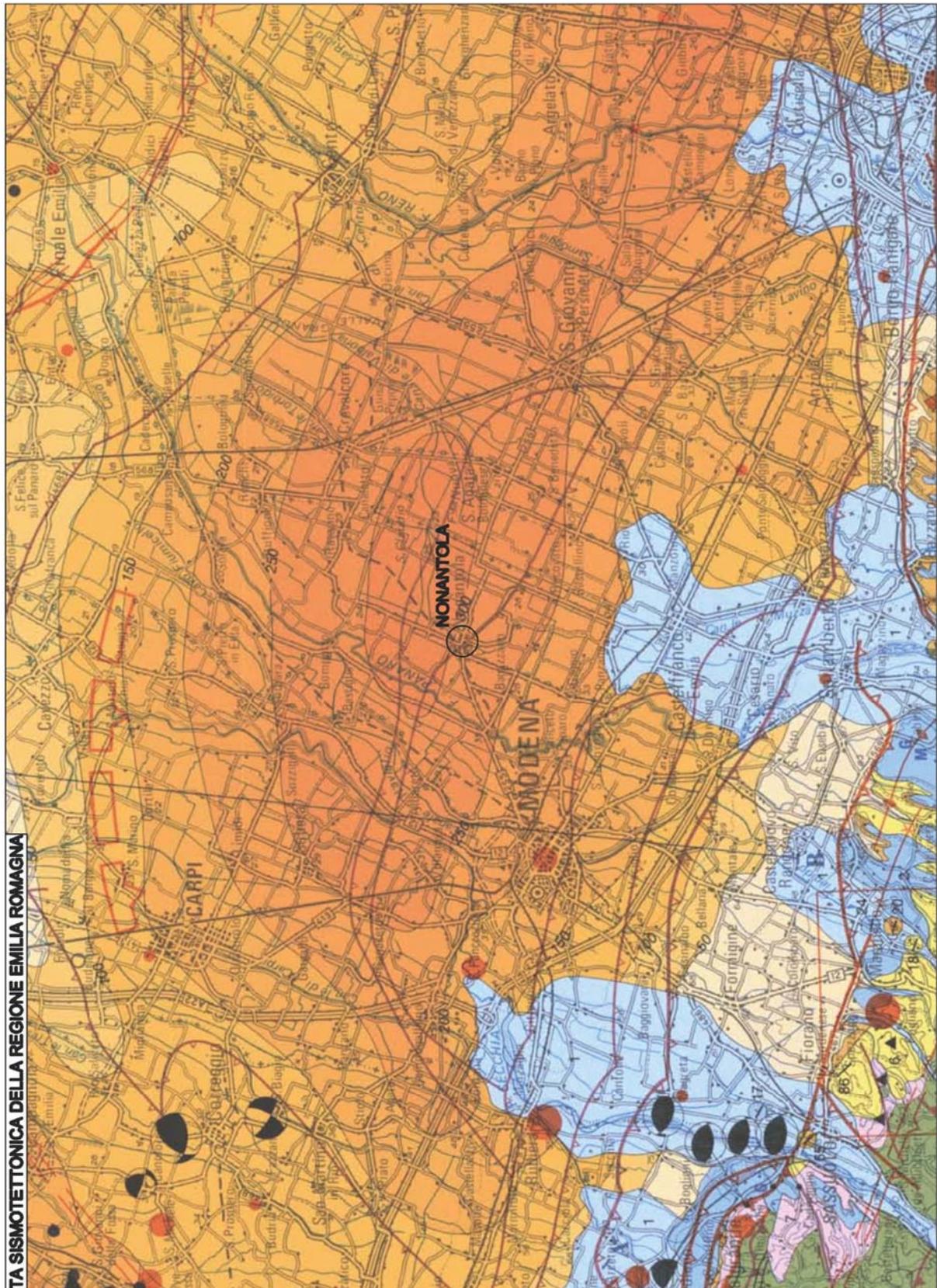
Nella zona a settentrione, $20 \div 24$ km a nord di Soliera – Bastiglia, le linee attive sono rappresentate rispettivamente dal Fronte di Accavallamento della Successione Carbonatica Meso – Cenozoica e dallo sovrascorrimento che delimita l'ala settentrionale della Dorsale Ferrarese, entrambi orientati ovest nord ovest – est sud est, circa da Fabbrico – Novi di Modena e successivamente ovest – est da quest'ultima a Mirandola - Poggio Renatico.

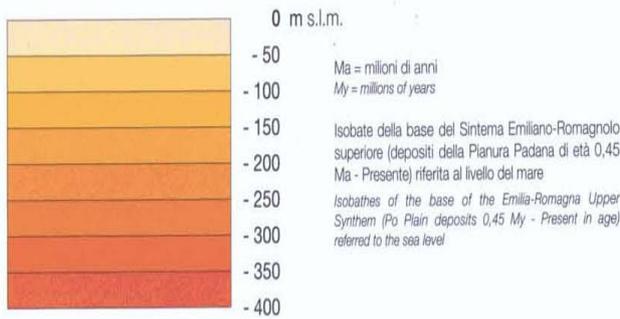
A sud delle sopra citate linee, circa 10 Km a settentrione di Soliera – Bastiglia, è individuata la presenza del Fronte di Accavallamento del Basamento.

Nel territorio in analisi la sismicità è principalmente correlata all'attività delle faglie delle Pieghe Ferraresi, i processi deformativi che interessano dette strutture sono prevalentemente superficiali, primi 15 Km del sottosuolo, connessi in percentuale predominante a meccanismi focali compressivi e trascorrenti, in percentuale relativa inferiore alle deformazioni compressive delle strutture medio profonde ($15 \div 25$ Km) e profonde ($25 \div >35$ Km).

Alle fasi compressive che hanno generato le sopra descritte strutture è correlata l'attività sismogenetica, prevalentemente di tipo superficiale: < 15 km dal piano campagna, che principalmente interessa il territorio in oggetto come evidenziano gli epicentri sismici con $M = 5,9 - 5,8$ di Finale Emilia e Mirandola con ipocentri a 6 ed a 10 km di profondità.

La sismicità del territorio è testimoniata, oltre agli eventi sopracitati, dai terremoti con magnitudo stimate di: Ferrara (1570) $M_w = 5,46$, Emilia orientale (1796) con $M_w = 5,61$, margine appenninico modenese (1501) $M_w = 5,98$, Bassa Padana (1909) $M_w = 5,53$, Correggio (1996) $M_w = 5,41$.





- 1** Depositi di conoide e alluvionali intramontani (Pleistocene medio-Olocene, 0,8 Ma - Presente)
Alluvial fan and intramountain alluvial deposits (Middle Pleistocene-Holocene, 0,8 My - Present)
- 2** Depositi alluvionali terrazzati della Pianura Padana (Pleistocene medio e superiore, 0,8 - 0,01 Ma)
Po Plain terraced alluvial deposits (Middle and Late Pleistocene, 0,8 - 0,01 My)
- 3** Sabbie di Imola (Pleistocene medio, 0,8 - 0,65 Ma)
Imola Sands (Middle Pleistocene, 0,8 - 0,65 My)
- 4** Sabbie gialle (Pleistocene inferiore, 1 - 0,8 Ma)
Yellow sands (Early Pleistocene, 1 - 0,8 My)

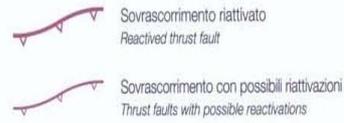
- 6** Depositi marini post fase Pliocene inferiore (zona a G. Puncticulata) (Pliocene inferiore-Pleistocene inferiore, 4,5 - 1 Ma)
Post Early Pliocene (G. Puncticulata zone) tectonic phase marine deposits (Early Pliocene -Early Pleistocene, 4,5 - 1 My)
- 7** Depositi lagunari e marini compresi tra le fasi tettoniche del Messiniano superiore e del Pliocene inferiore (zona a G. Puncticulata) (6,3 - 4,5 Ma)
Late Messinian-Early Pliocene (G. Puncticulata zone) lagoonal and marine deposits (6,3 - 4,5 My)
- 10** Unità Liguri, Subliguri ed Epiliguri (Giurassico - Miocene, 205 - 6,8 Ma)
Ligurian, Subligurian and Epiligurian Units (Jurassic - Miocene, 205 - 6,8 My)

Strutture sepolte Buried structures

Strutture attive e recenti (<1 Ma), determinate sulla base di dati morfologici di superficie e di dati geologici di sottosuolo
Active and recent structures (<1 My), recognized on the basis of surface morphological data and subsol geological data



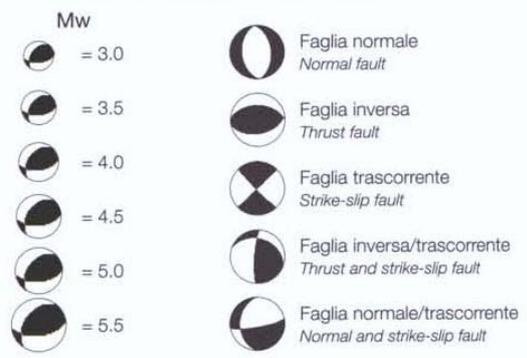
Fronti dei principali sovrascorimenti di età Pliocene-Pleistocene inferiore (4,5 - 1 Ma) (da Structural Model of Italy, 1:500,000)
Fronts of the main Pliocene-Early Pleistocene thrust faults (4,5 - 1 My) (from Structural Model of Italy, 1:500,000)



Epicentri dei terremoti Earthquake epicenters

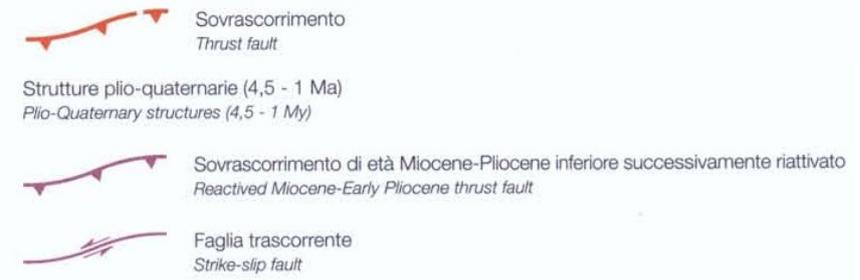


Meccanismi focali Earthquake focal solutions



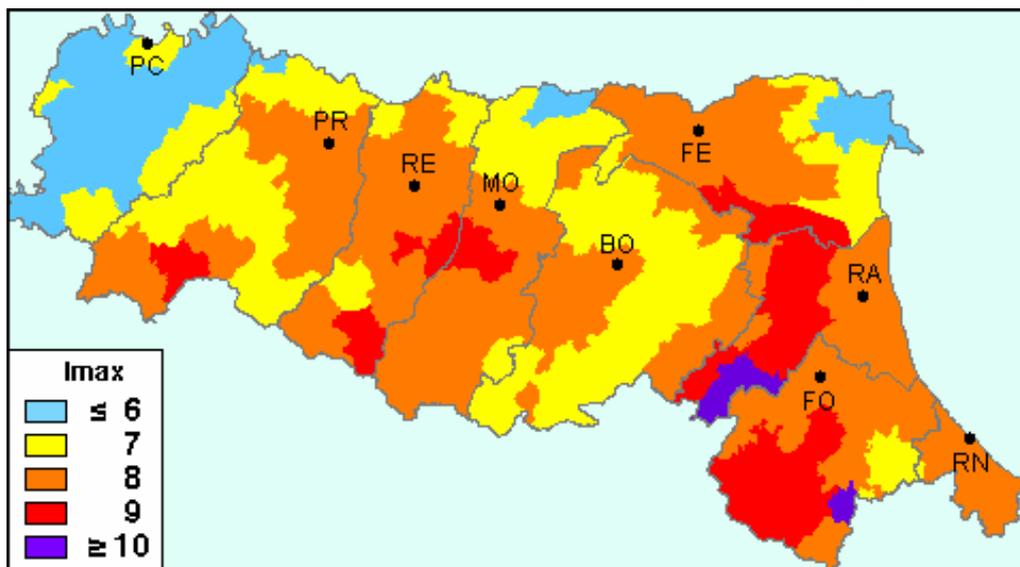
Strutture affioranti Outcropping structures

Strutture attive e recenti (<1 Ma), determinate su base morfostrutturale (M) e/o geologica (G)
Active and recent structures (<1 My), recognized on the basis of morphostructural (M) and/or geological (G) data



DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

Nell'ambito territoriale a cui appartiene l'area comunale di Nonantola (MO) il catalogo delle massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani, valutate a partire dalla banca dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia di ING/SGA, Elaborato per il Dipartimento della Protezione Civile (*D. Molin, M. Stucchi e G. Valensise, 1996*) documenta eventi sismici giungenti al 8° grado della Scala Mercalli - Cancani - Sieberg, con magnitudo massima corrispondente ad $M = 5,5 \div 5,6 \div 5,9$, come evidenziato nella seguente figura.



Nell'ambito a cui appartiene il territorio comunale di Nonantola il Database Macrosismico DBMI11 (a cura di *M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi*), utilizzato per la compilazione del catalogo parametrico CPTI11 (*Gruppo di lavoro CPTI, 2011 - INGV, Bologna*) sono documentati gli eventi sismici giungenti al 7° grado della scala Mercalli - Cancani Siedberg, con intensità variabile tra $M = 5.5 \div 5.6 \div 5.9$.

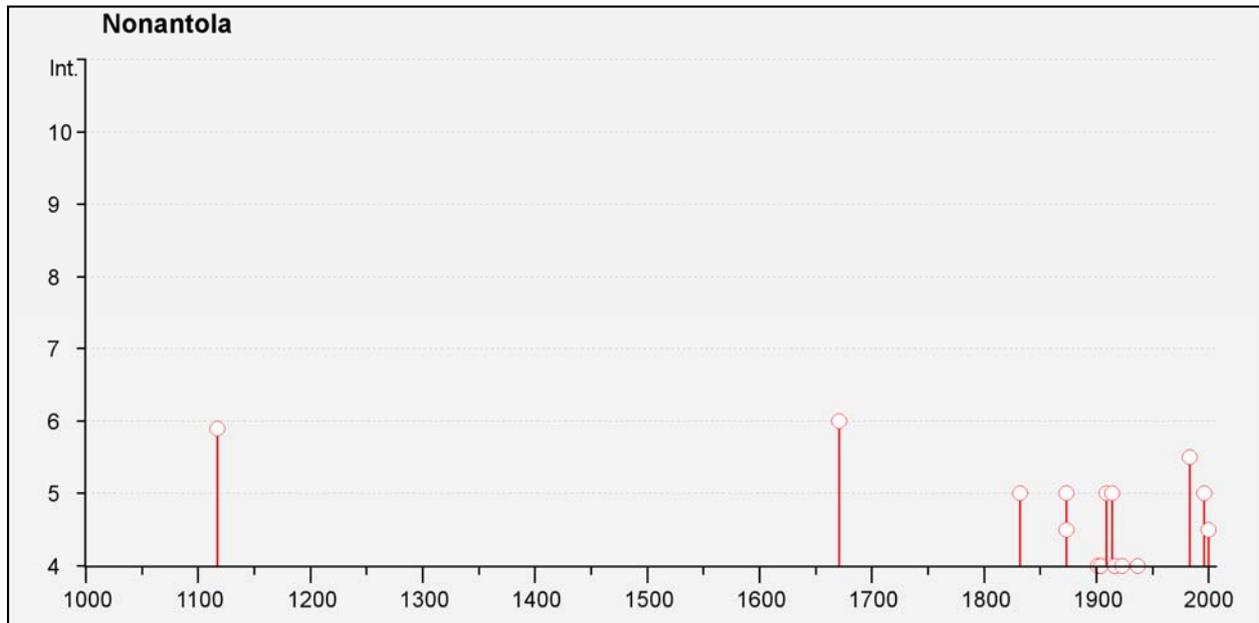
I principali eventi registrati nel territorio in analisi ed al suo intorno sono riportati nelle tabelle di seguito esposte:

Storia sismica di Nonantola
Numero di eventi: 29

Effetti	In occasione del terremoto del:				
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io	Mw
D	1117 01 03 15:15	Veronese	55	9-10	6.69 ±0.20
NR	1547 02 10 13:20	Reggio Emilia	13	7	5.14 ±0.34
6	1671 06 20 10:00	Modena-Reggio Emilia	8	7	5.25 ±0.72
5	1832 03 13 03:30	Reggiano	98	7-8	5.53 ±0.18

Effetti	In occasione del terremoto del:				
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io	Mw
5	1873 05 16 19:35	REGGIANO	15	6-7	5.09 ±0.59
4-5	1873 06 29 03:58	Bellunese	199	9-10	6.32 ±0.11
F	1875 03 17 23:51	Romagna sud-orientale	144		5.93 ±0.16
NF	1898 01 16 12:10	Romagna settentrionale	73	6-7	4.79 ±0.33
4	1901 10 30 14:49	Salò	190	8	5.70 ±0.10
4	1904 02 25 18:47	Reggiano	62	6	5.05 ±0.18
NF	1904 11 17 05:02	Pistoiese	204	7	5.15 ±0.14
5	1909 01 13 00:45	BASSA PADANA	799	6-7	5.53 ±0.09
NF	1909 08 25 00:22	MURLO	283	7-8	5.37 ±0.10
5	1914 10 27 09:22	Garfagnana	618	7	5.76 ±0.09
3	1915 01 13 06:52	Avezzano	1041	11	7.00 ±0.09
4	1916 05 17 12:49	Alto Adriatico	132		5.95 ±0.14
4	1916 08 16 07:06	Alto Adriatico	257		6.14 ±0.14
4	1923 06 28 15:11	FORMIGINE	22	6	4.88 ±0.24
2	1931 06 10 17:01	Modenese	14	4	4.42 ±0.22
4	1937 12 10 18:03	APP. MODENESE	28	6	5.17 ±0.25
F	1957 08 27 11:54	ZOCCA	58	5	4.65 ±0.21
NF	1965 11 09 15:35	ALTA V. SECCHIA	32	5	4.74 ±0.25
5-6	1983 11 09 16:29	Parmense	850	6-7	5.06 ±0.09
2-3	1986 12 06 17:07	BONDENO	604	6	4.61 ±0.10
NF	1988 03 15 12:03	Reggiano	160	6	4.66 ±0.12
5	1996 10 15 09:56	Correggio	135	7	5.41 ±0.09
3-4	1997 05 12 22:13	Reggiano	56	4-5	4.22 ±0.27
3	1998 03 26 16:26	Appennino umbro-marchigiano	408	6	5.29 ±0.09
4-5	2000 06 18 07:42	Parmense	300	5-6	4.43 ±0.09

Dove: Io ed Mw = Intensità e Momento sismico epicentrale; Is = Intensità sismica percepita
NF=non avvertito



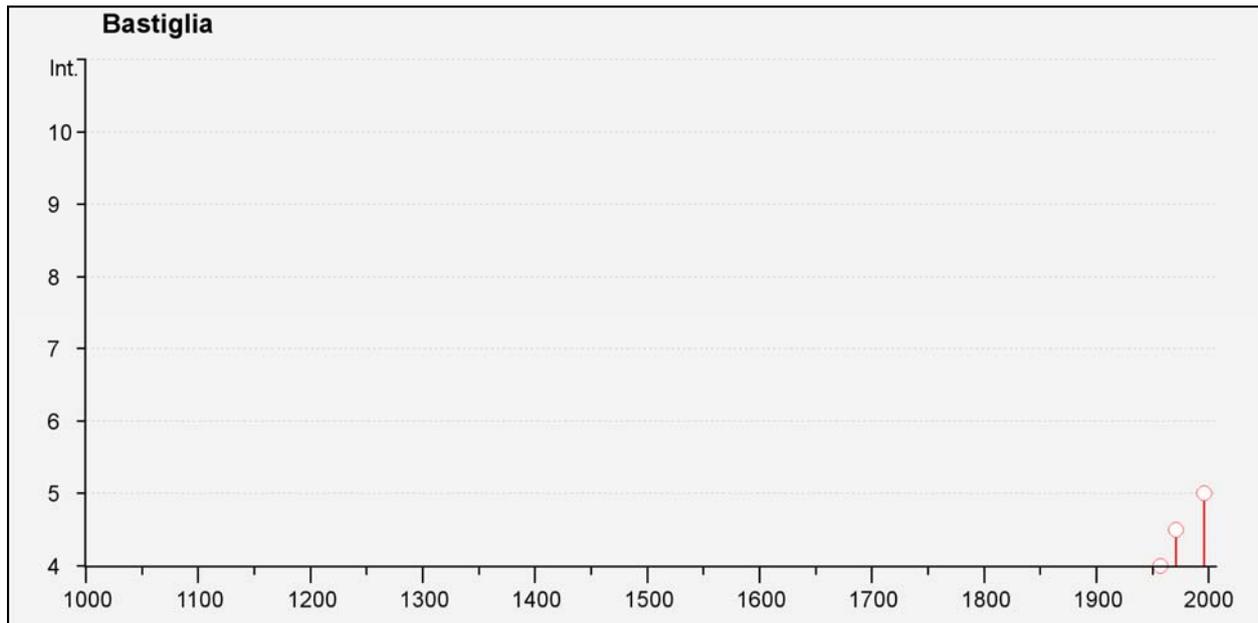
(tabella e grafico reperiti dall'archivio DBMI11, consultabile al sito internet <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/>)

Storia sismica di Bastiglia
Numero di eventi: 8

Effetti In occasione del terremoto del:

I[MCS]	Data	Ax	Np	Io	Mw
4	1957 08 27 11:54	ZOCCA	58	5	4.65 ±0.21
4-5	1971 07 15 01:33	Parmense	229	8	5.64 ±0.09
NF	1986 12 06 17:07	BONDENO	604	6	4.61 ±0.10
3-4	1988 03 15 12:03	Reggiano	160	6	4.66 ±0.12
NF	1992 04 17 11:59	Monteveglia	56	4-5	4.32 ±0.18
5	1996 10 15 09:56	Correggio	135	7	5.41 ±0.09
3	1997 05 12 22:13	Reggiano	56	4-5	4.22 ±0.27
3	1998 02 21 02:21	Reggiano	104	5	4.34 ±0.17

Dove: Io ed Mw = Intensità e Momento sismico epicentrale; Is = Intensità sismica percepita
NF=non avvertito



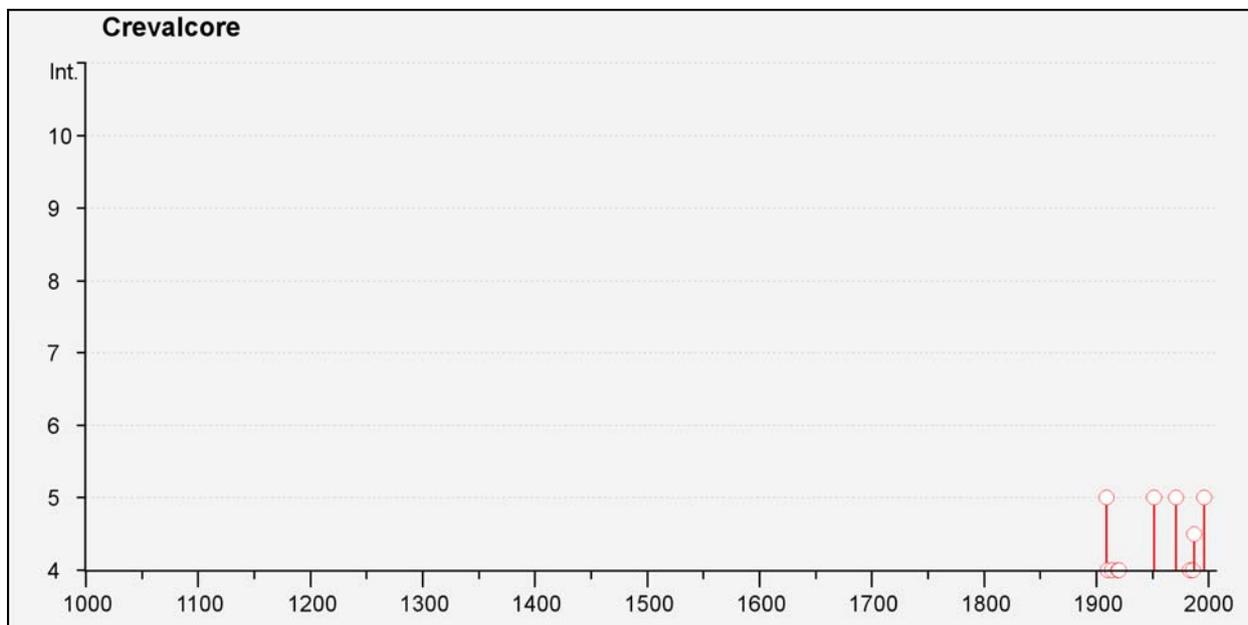
(tabella e grafico reperiti dall'archivio DBMI04, consultabile al sito internet <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/>)

Storia sismica di Crevalcore
Numero di eventi: 26

Effetti	In occasione del terremoto del:				
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io	Mw
F	1891 06 07 01:06	Valle d'Ilasi	403	8-9	5.86 ±0.06
3	1894 11 27 05:07	FRANCIACORTA	183	6	5.07 ±0.10
F	1895 04 14 22:17	Slovenia	296	8	6.23 ±0.08
2	1904 02 25 18:47	Reggiano	62	6	5.05 ±0.18
3	1904 06 10 11:15	Frignano	102	6	5.03 ±0.18
NF	1904 11 17 05:02	Pistoiese	204	7	5.15 ±0.14
3-4	1908 06 28 03:19	Finale Emilia	15	5	4.27 ±0.53
5	1909 01 13 00:45	BASSA PADANA	799	6-7	5.53 ±0.09
4	1910 03 22 23:29	Bassa modenese	15	5	4.30 ±0.34
2	1911 02 19 07:18	Romagna meridionale	181	7	5.28 ±0.11
4	1914 10 27 09:22	Garfagnana	618	7	5.76 ±0.09
2-3	1915 10 10 23:08	REGGIO EMILIA	30	6	5.02 ±0.22
4	1919 06 29 15:06	Mugello	566	10	6.29 ±0.09
4	1920 09 07 05:55	Garfagnana	756	10	6.48 ±0.09
2	1923 06 28 15:11	FORMIGINE	22	6	4.88 ±0.24
2-3	1939 10 15 14:05	Garfagnana	62	6-7	5.08 ±0.16
5	1951 05 15 22:54	LODIGIANO	154	6-7	5.39 ±0.14
5	1971 07 15 01:33	Parmense	229	8	5.64 ±0.09

Effetti	In occasione del terremoto del:				
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io	Mw
4	1983 11 09 16:29	Parmense	850	6-7	5.06 ±0.09
4	1986 12 06 17:07	BONDENO	604	6	4.61 ±0.10
4-5	1987 05 02 20:43	Reggiano	802	6	4.74 ±0.09
3	1988 03 15 12:03	Reggiano	160	6	4.66 ±0.12
NF	1992 04 17 11:59	Monteveglia	56	4-5	4.32 ±0.18
5	1996 10 15 09:56	Correggio	135	7	5.41 ±0.09
3-4	1998 02 21 02:21	Reggiano	104	5	4.34 ±0.17
3-4	2000 06 18 07:42	Parmense	300	5-6	4.43 ±0.09

Dove: Io ed Mw = Intensità e Momento sismico epicentrale; Is = Intensità sismica percepita
NF=non avvertito



(tabella e grafico reperiti dall'archivio DBMI04, consultabile al sito internet <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/>)

Storia sismica di Modena
Numero di eventi: 139

Effetti	In occasione del terremoto del:				
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io	Mw
7	1222 12 25 12:30	Basso Bresciano	18	7-8	5.84 ±0.56
7-8	1249 09	Modena	4	6-7	4.93 ±0.34
5	1323 02 25 19:00	Bologna	5	5	4.30 ±0.34
5	1348 01 25 15:30	Carinzia	58	9-10	7.02 ±0.18
3	1349 09 09 08:15	Viterbese-Umbria	9		

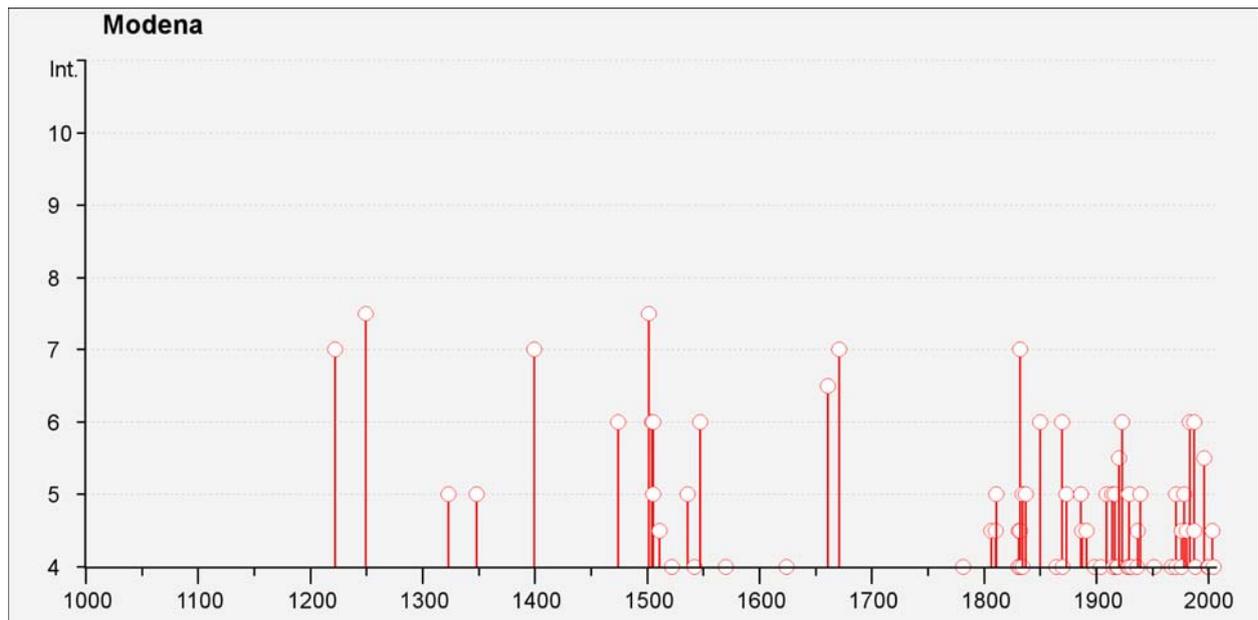
Effetti	In occasione del terremoto del:				
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io	Mw
7	1399 07 20 23:00	Modenese	6	7	5.14 ±0.34
NR	1438 06 11 02:00	Parmense	10	8	5.57 ±0.34
NR	1465 04 07 15:30	Pianura Padana	11	5-6	4.51 ±0.34
6	1474 03 11 20:30	MODENA	12	5	4.30 ±0.34
7-8	1501 06 05 10:00	Appennino modenese	20	9	5.98 ±0.32
6	1504 12 31 04:00	Bolognese	15		
6	1505 01 03 02:00	Bolognese	31	8	5.57 ±0.25
5	1505 01 20 23:50	Bolognese	11		
5	1505 01 27 02:40	Bolognese	2		
4-5	1511 03 26 14:40	Slovenia	66	9	6.98 ±0.17
4	1522 10 05 00:10	Pianura Padana	6	5	4.80 ±0.54
5	1536 08 17 00:05	Appennino tosco-emiliano?	10	6-7	5.29 ±0.56
4	1542 06 13 02:15	Mugello	46	9	5.94 ±0.21
NR	1545 06 09 15:45	Valle del Taro	8	7-8	5.25 ±0.78
6	1547 02 10 13:20	Reggio Emilia	13	7	5.14 ±0.34
F	1561 11 24 01:25	Ferrara	5	5-6	4.51 ±0.34
4	1570 11 17 19:10	Ferrara	60	7-8	5.46 ±0.25
NR	1591 05 24	REGGIO EMILIA	4	6	4.72 ±0.34
F	1608 01 06 22:20	Reggio Emilia	2	5-6	4.51 ±0.34
4	1624 03 19 19:45	Argenta	18	7-8	5.47 ±0.49
6-7	1661 03 21 23:00	Modenese	4	6-7	4.93 ±0.34
F	1661 03 22 12:50	Appennino romagnolo	79	9	6.09 ±0.16
7	1671 06 20 10:00	Modena-Reggio Emilia	8	7	5.25 ±0.72
F	1779 07 14 19:30	Bolognese	17		
F	1779 11 23 18:30	Bolognese	14	5	4.99 ±0.31
F	1779 12 24 17:00	Pistoiese	9	5-6	4.64 ±0.39
4	1781 04 04 21:20	Romagna	96	9-10	5.94 ±0.17
4-5	1806 02 12	NOVELLARA	28	7	5.19 ±0.39
4-5	1810 12 25 00:45	NOVELLARA	33	6	5.29 ±0.22
5	1811 07 15 22:44	SASSUOLO	21	6-7	5.25 ±0.40
3	1818 12 09 18:55	Parmense	26	7	5.28 ±0.35
3	1828 10 09 02:20	Valle Staffora	114	8	5.76 ±0.15
4	1830 01 26 04:30	Appennino bolognese	11	5-6	4.74 ±0.65
3	1831 07 14 15:30	Reggiano	8	5-6	4.69 ±0.44

Effetti	In occasione del terremoto del:				
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io	Mw
4-5	1831 09 11 18:15	Reggiano	25	7-8	5.54 ±0.32
4	1832 03 11 06:45	Carpi (MO)	14	5	4.80 ±0.37
4-5	1832 03 11 08:45	Reggiano	14		
7	1832 03 13 03:30	Reggiano	98	7-8	5.53 ±0.18
4	1834 02 14 13:15	Valle del Taro-Lunigiana	112	9	5.83 ±0.15
3	1834 07 04 00:45	Lunigiana-Parmense	24		
5	1834 10 04 19:00	Bolognese	12	6	4.85 ±0.43
5	1837 04 11 17:00	Alpi Apuane	60	9	5.81 ±0.20
NR	1841 10 15 22:00	SANGUINETTO	19	5	4.19 ±0.44
F	1846 08 14 12:00	Toscana settentrionale	122	9	5.91 ±0.13
6	1850 09 18 06:20	Modenese	7	5	4.30 ±0.34
F	1857 02 01	PARMENSE	22	6-7	5.09 ±0.25
4	1864 03 15	ZOCCA	13	6-7	4.90 ±0.71
6	1869 06 25 13:58	Media valle del Reno	18	7-8	5.42 ±0.48
4	1870 10 30 18:34	Romagna	41	8	5.58 ±0.27
2-3	1873 03 12 20:04	Marche meridionali	196	8	5.95 ±0.10
5	1873 05 16 19:35	REGGIANO	15	6-7	5.09 ±0.59
5	1873 06 29 03:58	Bellunese	199	9-10	6.32 ±0.11
3-4	1873 09 17	LIGURIA ORIENTALE	67	6-7	5.43 ±0.15
F	1874 10 07	IMOLESE	60	7	5.02 ±0.18
3	1881 01 24 16:14	Bolognese	38	7	5.16 ±0.30
F	1885 02 26 20:48	SCANDIANO	78	6	5.19 ±0.15
5	1886 10 15 02:20	COLLECCHIO	44	6	4.70 ±0.24
4-5	1887 02 23 05:21	Liguria occidentale	1516		6.97 ±0.15
4-5	1891 06 07 01:06	Valle d'Ilasi	403	8-9	5.86 ±0.06
3	1892 01 05	GARDA OCC.	100	6-7	5.02 ±0.15
NF	1894 02 09 12:48	Valle d'Ilasi	116	6	4.77 ±0.15
3	1894 11 27 05:07	FRANCIACORTA	183	6	5.07 ±0.10
3	1895 05 18 19:55	Fiorentino	401	8	5.43 ±0.08
4	1898 03 04 21:05	Valle del Parma	313	7-8	5.41 ±0.09
2	1899 06 26 23:17	Valle del Bisenzio	138	7	5.06 ±0.15
3	1901 10 30 14:49	Salò	190	8	5.70 ±0.10
NF	1903 07 27 03:46	LUNIGIANA	79	7-8	5.25 ±0.17
4	1904 02 25 18:47	Reggiano	62	6	5.05 ±0.18

Effetti	In occasione del terremoto del:				
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io	Mw
4	1904 06 10 11:15	Frignano	102	6	5.03 ±0.18
NF	1904 11 17 05:02	Pistoiese	204	7	5.15 ±0.14
RS	1905 11 26 06:48	Irpinia	136	7-8	5.21 ±0.13
3-4	1908 06 02 22:30	FRIGNANO	18	4-5	4.52 ±0.25
5	1909 01 13 00:45	BASSA PADANA	799	6-7	5.53 ±0.09
RS	1909 08 25 00:22	MURLO	283	7-8	5.37 ±0.10
NF	1910 03 22 23:29	Bassa modenese	15	5	4.30 ±0.34
2	1911 02 19 07:18	Romagna meridionale	181	7	5.28 ±0.11
RS	1914 10 26 03:43	TAVERNETTE	67	7	5.41 ±0.16
5	1914 10 27 09:22	Garfagnana	618	7	5.76 ±0.09
4	1915 01 13 06:52	Avezzano	1041	11	7.00 ±0.09
4	1915 10 10 23:08	REGGIO EMILIA	30	6	5.02 ±0.22
3	1916 05 17 12:49	Alto Adriatico	132		5.95 ±0.14
5	1916 08 16 07:06	Alto Adriatico	257		6.14 ±0.14
4	1918 05 06 08:05	Reggiano	8	5-6	4.52 ±0.69
4	1918 11 10 15:12	Appennino romagnolo	187	9	5.88 ±0.11
4	1919 06 29 15:06	Mugello	566	10	6.29 ±0.09
5-6	1920 09 07 05:55	Garfagnana	756	10	6.48 ±0.09
6	1923 06 28 15:11	FORMIGINE	22	6	4.88 ±0.24
3	1926 01 01 18:04	Slovenia	63	7-8	5.85 ±0.18
4	1928 06 13 08:00	CARPI	35	6	4.78 ±0.23
4	1929 04 10 05:43	Bolognese	87	7	5.03 ±0.13
NF	1929 04 12 00:32	Bolognese	7		5.09 ±0.37
5	1929 04 19 04:15	Bolognese	82		
5	1929 04 20 01:09	Bolognese	109	7	5.34 ±0.13
4	1929 04 22 08:25	Bolognese	41		
5	1929 04 29 18:35	Bolognese	45		
5	1929 05 11 19:22	Bolognese	64		
4	1931 06 10 17:01	Modenese	14	4	4.42 ±0.22
3	1934 06 13 09:06	BORGO VAL DI TARO	29	6	4.99 ±0.24
4	1936 10 18 03:10	BOSCO CANSIGLIO	267	9	6.12 ±0.09
4-5	1937 12 10 18:03	APP. MODENESE	28	6	5.17 ±0.25
5	1939 10 15 14:05	Garfagnana	62	6-7	5.08 ±0.16
4	1951 05 15 22:54	LODIGIANO	154	6-7	5.39 ±0.14

Effetti	In occasione del terremoto del:				
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io	Mw
3	1957 08 27 11:54	ZOCCA	58	5	4.65 ±0.21
F	1963 07 19 05:45	Mar Ligure	463		6.02 ±0.14
NF	1965 11 09 15:35	ALTA V. SECCHIA	32	5	4.74 ±0.25
4	1967 04 03 16:36	Reggiano	47	5-6	4.69 ±0.19
4	1967 12 30 04:19	BASSA PADANA	40	6	5.24 ±0.19
5	1971 07 15 01:33	Parmense	229	8	5.64 ±0.09
4	1971 09 11 23:18	Correggio	15	5	4.23 ±0.31
4-5	1976 05 06 20:00	Friuli	770	9-10	6.46 ±0.09
3	1976 09 11 16:35	Friuli	40		5.63 ±0.09
4	1976 09 15 09:21	Friuli	54		5.98 ±0.15
5	1978 12 25 22:53	Bassa mantovana	28	5	4.22 ±0.22
NF	1980 11 23 18:34	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.89 ±0.09
4-5	1980 12 23 12:01	Piacentino	38	6-7	4.60 ±0.09
6	1983 11 09 16:29	Parmense	850	6-7	5.06 ±0.09
NF	1984 04 29 05:02	GUBBIO/VALFABBRICA	709	7	5.65 ±0.09
2-3	1986 12 06 17:07	BONDENO	604	6	4.61 ±0.10
6	1987 05 02 20:43	Reggiano	802	6	4.74 ±0.09
4-5	1987 05 08 11:10	Bassa modenese	17	6	4.57 ±0.23
2	1988 02 08 11:24	Garfagnana	75	6	4.53 ±0.13
4	1988 03 15 12:03	Reggiano	160	6	4.66 ±0.12
3	1992 04 17 11:59	Monteveglia	56	4-5	4.32 ±0.18
3	1995 08 24 17:27	Appennino bolognese	56	6	4.48 ±0.09
2-3	1995 10 10 06:54	LUNIGIANA	341	7	4.85 ±0.09
5-6	1996 10 15 09:56	Correggio	135	7	5.41 ±0.09
3	1997 05 12 22:13	Reggiano	56	4-5	4.22 ±0.27
3	1997 09 26 09:40	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	6.01 ±0.09
3-4	1998 02 21 02:21	Reggiano	104	5	4.34 ±0.17
3	1998 03 26 16:26	Appennino umbro-marchigiano	408	6	5.29 ±0.09
4	1999 07 07 17:16	Friulano	32	5	4.70 ±0.09
4	2000 06 18 07:42	Parmense	300	5-6	4.43 ±0.09
4-5	2003 09 14 21:42	Appennino bolognese	133	6	5.29 ±0.09
4	2004 11 24 22:59	Lago di Garda	176	7-8	5.06 ±0.09

Dove: Io ed Mw = Intensità e Momento sismico epicentrale; Is = Intensità sismica percepita
NF=non avvertito

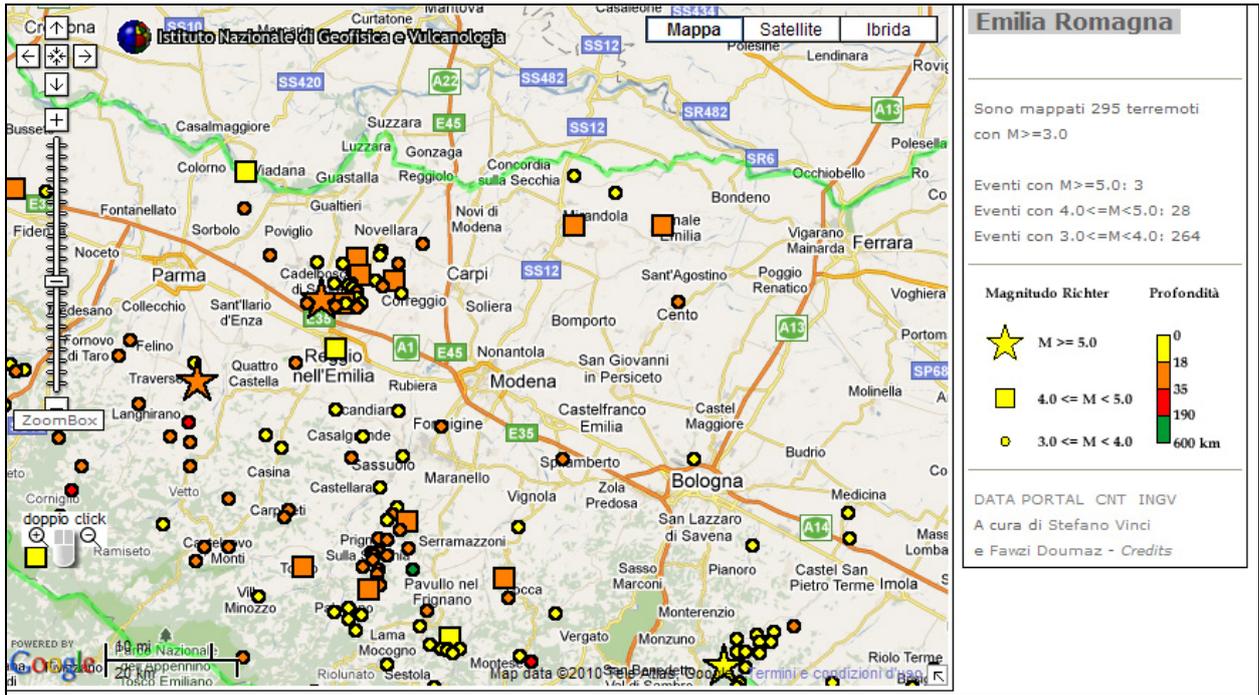


(tabella e grafico reperiti dall'archivio DBMI04, consultabile al sito internet <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/>)

Dalle tabelle e dai grafici sopra esposti possono essere tratte le seguenti osservazioni:

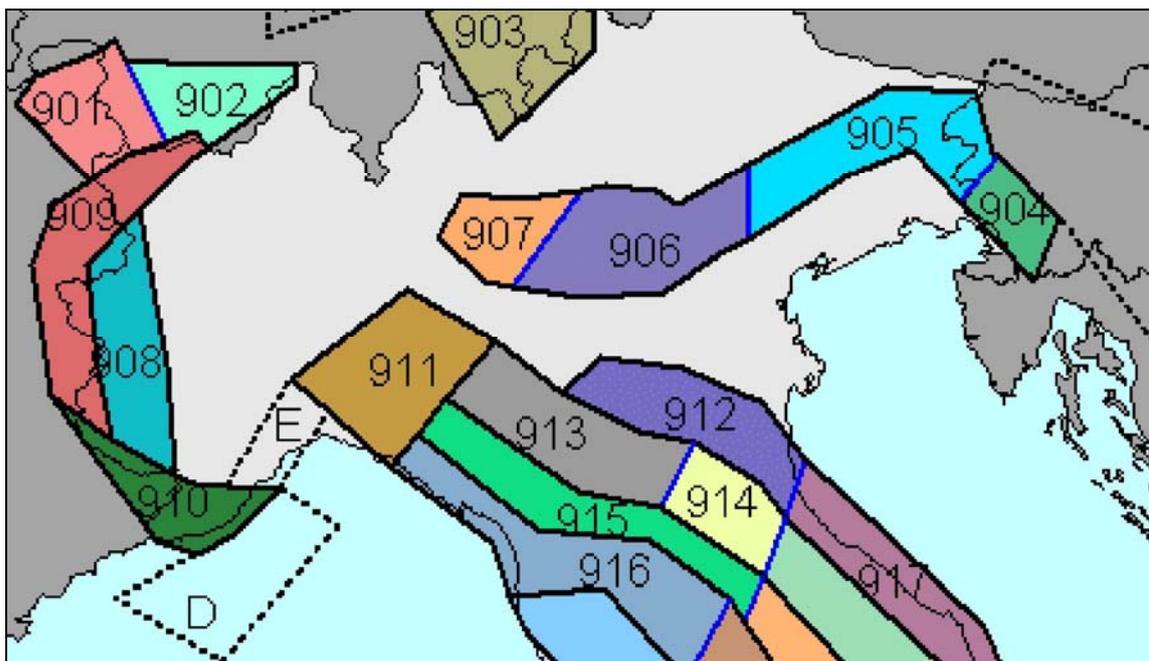
- la storia sismica di Nonantola ed il suo intorno ha una discreta testimonianza ed estensione temporale (il primo evento riportato risale al 1222-1249)
- la sismicità è di tipo medio – medio elevato con intensità massime percepite corrispondenti al 7 ÷ 8 grado MCS, corrispondente a magnitudo stimate in 5.5 ÷ 5.6
- le sopradette massime intensità sismiche sono state prodotte da eventi di elevata intensità sismica a piccola distanza, mentre i contributi di sismi ad elevata intensità e distanti contribuiscono in maniera meno importante

Gli epicentri sismici verificatisi nel territorio in analisi hanno origine, per la percentuale maggiore, nei primi 15 km del sottosuolo evidenziando la prevalenza di un'attività sismogenetica di tipo superficiale o crostale.



Epicentri dei principali terremoti ($M > 3$) rilevati da INGV tra il 1981 ed il 2006 nell'intorno dell'area di interesse

La zonazione sismica del territorio nazionale ZS9, che identifica le zone sorgente a caratteristiche sismiche omogenee, elaborata da I.N.G.V. 2004, attribuisce l'ambito comunale di Nonantola alla zona sismogenetica 912, macroarea di dominio della Dorsale Ferrarese e ad una distanza di circa 6 km dal bordo settentrionale della zona sismogenetica 913, dominio delle Pieghe Pedeappenniniche sia Emiliane che Romagnole.



Zonazione sismogenetica ZS9 (INGV, 2004)

La prima di dette fasce rappresenta la porzione più esterna della zona in compressione dell'arco appenninico ed è caratterizzata da terremoti storici che raramente hanno raggiunto valori molto elevati di magnitudo.

Le fonti storiche suggeriscono una ripetuta attivazione nel corso dell'Olocene.

ZS	4.76	4.99	5.22	5.45	5.68	5.91	6.14
912	12	9	6	7	2	2	0
913	26	13	11	6	4	1	0

Distribuzione degli eventi sismici per classi di magnitudo per le zone 912 e 913 (INGV, 2004)

La riclassificazione sismica del territorio nazionale NTC 14/09/2005 – OPCM 3274, attribuisce il comune di Nonantola alla zona 3 con grado di sismicità, riferito alla previgente normativa sismica, equivalente agli ambiti con S6.

In occasione dei sismi che hanno colpito il territorio emiliano il 20 e 29 maggio 2012 l'area di Nonantola, Modena, ha subito effetti inferiori al V° grado MCS e non è stato inserito nei comuni appartenenti al cratere sismico. (Fonte: “Rilievo Macrosismico MCS Speditivo” – Rapporto Finale – Protezione Civile – Giugno 2012).

Le mappe di scuotimento INGV (<http://shakemap.rm.ingv.it/shake>) per gli eventi sismici del 20, 29 maggio e 3 giugno 2012, indicano per la parte di territorio in analisi i parametri di seguito esposti:

Sito Nonantola, capoluogo

Data evento - M	PGA (g)	PGV (cm/s)	PSA 0,3s (g)	PSA 1,0s (g)	PSA 3,0s (g)
20-05-2012 – 5.9	0,0663	8,04	0,114	0,0905	0,0162
29-05-2012 – 5.8	0,0701	6,28	0,2135	0,0748	0,0178
29-05-2012 – 5.3	0,0318	4,37	0,0817	0,0602	0,0077
03-06-2012 – 5.1	0,0176	1,47	0,0403	0,0111	0,0031

Sito Bastiglia

Data evento - M	PGA (g)	PGV (cm/s)	PSA 0,3s (g)	PSA 1,0s (g)	PSA 3,0s (g)
20-05-2012 – 5.9	0,0804	8,65	0,1402	0,0875	0,0157
29-05-2012 – 5.8	0,1187	9,01	0,2729	0,1008	0,0211
29-05-2012 – 5.3	0,0515	5,76	0,1197	0,0617	0,009
03-06-2012 – 5.1	0,0244	1,86	0,0519	0,013	0,0034

Sito Crevalcore

Data evento - M	PGA (g)	PGV (cm/s)	PSA 0,3s (g)	PSA 1,0s (g)	PSA 3,0s (g)
-----------------	---------	------------	--------------	--------------	--------------

20-05-2012 – 5.9	0,106	8,71	0,1864	0,076	0,0126
29-05-2012 – 5.8	0,1682	13,57	0,4863	0,1668	0,0263
29-05-2012 – 5.3	0,043	3,7	0,0985	0,0257	0,0052
03-06-2012 – 5.1	0,0202	1,25	0,0416	0,0088	0,0013

L'evento più gravoso per le strutture site sul territorio comunale è risultato quindi essere quello del **29 maggio 07.00.03 (GMT) $M_L = 5.8$** .

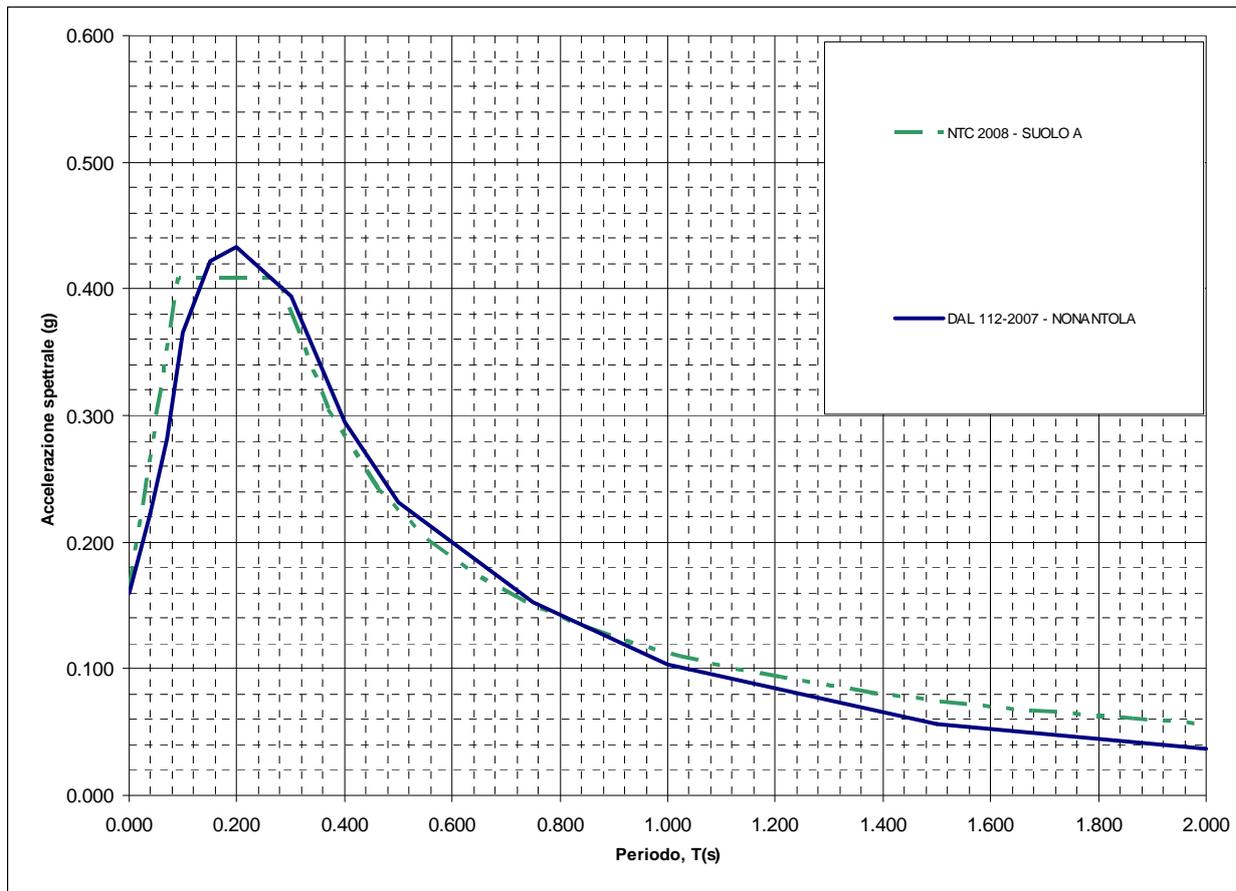
I valori di PGA degli eventi sopra elencati sono inferiori a quelli della PGA di progetto della griglia INGV e della tab. 2 dell'allegato 4 DAL 112/2007.

Pericolosità sismica – Definizione del moto di riferimento

La PGA di riferimento per un periodo di ritorno di 475 anni riportata nelle mappe di pericolosità sismica di INGV (*Meletti C., Montaldo V., 2007*).

Stime di pericolosità sismica per diverse probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni: valori di ag. Progetto DPC-INGV S1, Deliverable D2, <http://esse1.mi.ingv.it/d2.html>) varia nell'intervallo 0,125 ÷ 0,175g. Tali dati sono anche stati utilizzati dalla Regione Emilia Romagna per la redazione delle tabelle della Delibera dell'Assemblea Legislativa n° 112 - 2007 "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica" dove viene indicata una PGA corrispondente a 0,160 g per l'intero territorio comunale.

Mediante i dettami di detta delibera è stato costruito lo spettro di riferimento a probabilità uniforme per il comune di Nonantola, evidenziato nella seguente figura, dove è confrontato con lo spettro elastico in superficie per sottosuolo di categoria A (DM 14-01-2008) riferito al medesimo comune.



Spettri di risposta a probabilità uniforme, pari al 10% di almeno una eccedenza in 50 anni per Nonantola. Smorzamento pari al 5%. Con linea blu viene riportato lo spettro costruito con i parametri riportati nella delibera dell'assemblea legislativa ER – DAL112-2007, mentre con linea verde tratteggiata è riportato lo spettro elastico di risposta per suolo A determinato secondo i dettati delle NTC 2008.

Ai fini delle successive determinazioni è stato considerato lo spettro di risposta a probabilità uniforme proposto dalla Regione Emilia Romagna (DAL RER 112/2007).

INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Nel contesto delle valutazioni della pericolosità sismica dei territori di pianura, costituiti essenzialmente dalle evoluzioni degli assi fluviali e/o torrentizi, assume un significato principale l'individuazione delle testimonianze delle preesistenti zone occupate da percorsi fluviali, poiché esse sono caratterizzate dalla presenza, nei primi 5 ÷ 10 m del sottosuolo, di alternanze prevalentemente sabbiose – sabbioso limose, suscettibili di rischio di liquefazione.

È altresì di rilevante importanza l'individuazione degli ambiti geomorfologici e sedimentazione lenta e soggetti a periodiche esondazioni, quali le valli di pianura, poiché dette zone possono essere contraddistinte nei 5 – 10 m dal piano campagna da successioni limoso argillose – argilloso limose a bassa consistenza soggette sensibili cedimenti di tipo differenziale.

L'analisi geomorfologia del territorio di Nonantola è stata sviluppata mediante l'esame delle caratteristiche topografiche del microrilievo, fotogeolitologico, del reticolo idrografico superficiale, degli interventi antropici, delle colonne litostratigrafiche di pozzi, sondaggi geognostici, prove penetrometriche, prospezioni geofisiche, basi topografiche IGM relative al primo impianto 1881 e delle notizie e pubblicazioni storico – geomorfologiche, modello digitale del terreno e banca dati geologica, resi disponibili in forma digitale dal Servizio Geologico e dei Suoli Regione Emilia Romagna, banca dati e cartografie in forma digitale resi disponibili dal Servizio Urbanistica e S.I.T. della Provincia di Modena.

L'analisi fotogeologica è stata eseguita in base ai fotogrammi PROV. MO/C, in scala approssimata 1:24.000, voli Aprile 1989, fotogrammi IGM/BN in scala 1:35.000 voli 1955, sulla fotosatellite LANDSAT in scala 1:200.000 e riprese in rete su Google Heart.

Caratteri Geomorfologici (Carta Geologico Tecnica)

Il territorio in oggetto, circa compreso tra la Via Emilia e l'allineamento Carpi – Cento, appartiene alla Fascia della Media Pianura Appenninica costituita dalle evoluzioni idrografiche dei fiumi appenninici affluenti al Po, che hanno colmato il golfo padano delimitato dagli affioramenti appenninici a sud e da quelli alpini a nord.

In tali ambiti planiziali, i fiumi, ad assetto pensile, svolgono prevalentemente un'azione sedimentante per colmare le aree più depresse. In occasione delle variazioni climatiche comportanti fenomeni di piena fluviale, in detti territori, si generano, rotte e/o tracimazioni che causano la mutazione nelle direzioni degli alvei. I tratti residui di fiume così originatisi costituiscono ostacoli alle successive impostazioni del reticolo idrografico.

Un sistema paleoidrografico come quello descritto (Tav. 1.2 e Tav. QC.02.1.1.2) è chiaramente osservabile nella zona settentrionale del territorio comunale, a meridione dell'allineamento Casoni – Rami - Canaletto ed a settentrione di Via Valluzza ad oriente del capoluogo. In tale zona sono presenti due tratti di antico percorso fluviale estinto, uno dei quali si estende in direzione ovest – est assecondando l'andamento del confine comunale settentrionale da Bomporto a Canaletto, l'altro paleoalveo si sviluppa in senso sud – nord da Rubbiara al Capoluogo – Casette con successiva flessione in verso orientale. Detti corpi fluviali delimitano ambiti morfologicamente depressi. Questi ultimi denunciano aree con ritardo di colmamento e soggette a grado subsidente relativamente maggiore, rappresentanti ambiti vallivi di pianura. Il settore in oggetto, territorio nord orientale, è ulteriormente suddiviso in due fasce da un dosso secondario esteso ovest est assecondante l'andamento del Canal Torbido.

Nella zona sud occidentale dell'area comunale è osservabile la morfologia a dosso del F. Panaro e nel settore centrale circa da Rubbiara – Villa Rossi al centro del capoluogo alle Casette, è riscontrabile un tracciato residuale di canale fluviale.

Sono inoltre presenti ad occidente di quest'ultimo tratti di paleoalveo secondari estesi in direzione sud nord e ventagli di coni di rotta nelle zone a settentrione della Provinciale Ovest. Simili morfologie si osservano nelle zone a sud est e ad est del Capoluogo a meridione della Provinciale Est.

Le successioni litologiche dei primi 20 ÷ 25 m dal piano campagna sono prevalentemente costituite da alternanze di strati argilloso limosi e limosi con intercalati subordinati strati lentiformi sabbioso limosi e torbosi con spessore di 0,4 ÷ 1 ÷ 1,5 m, nelle aree di infralveo comprese tra il dosso del F. Panaro ed il tratto di antico percorso fluviale tra Rubbiara – Capoluogo – Casette. Ad est di quest'ultimo, nella zona a sud di via Valluzza e nella fascia settentrionale del territorio comunale a nord di via Guercinesca, si rilevano sequenze prevalentemente argillose – argilloso limose con subordinate sottili intercalazioni lentiformi limose – limoso sabbiose nelle zone vallive che costituiscono il settore orientale – settentrionale circa compreso tra via Valluzza e via Guercinesca.

Sono altresì presenti successioni litologiche prevalentemente limose – limoso sabbiose, alle quali si intercalano orizzonti sabbioso limosi e sabbiosi, ad assetto spiccatamente lenticolare, nei primi 4 ÷ 6 ÷ 8 m del sottosuolo, in corrispondenza delle zone di dosso correlate ad antichi percorsi fluviali estinti ed attuali, rinvenibili in sponda orientale del F. Panaro e nella fascia centrale del territorio allungata sud nord da Rubbiara a Capoluogo - Casette.

Le sequenze litostratigrafiche dei primi 5 ÷ 6 m del sottosuolo descritte, concordano con i caratteri geomorfologici territoriali ascrivibili alle zone di pianura

contraddistinte, in condizioni naturali, da un medio – medio elevato grado di instabilità idraulica.

I tratti residuali di paleoalvei presenti nell'area in esame sono attribuibili sostanzialmente al Fiume Panaro che, come territorialmente riscontrato in gran parte della Pianura Padana (*Viggiani 1994*), è stato coinvolto da una importante fase di deterioramento climatico, con notevoli incrementi della piovosità tra il IV° e VI° secolo d.C., ai quali sono conseguiti disalveamenti ed alluvionamenti e quindi rilevanti modifiche del preesistente reticolo idrografico.

Sull'evoluzione idrografica naturale ha esercitato una sensibile influenza l'uomo, come evidenzia l'analisi di alcune carte storiche del 1600 – 1700 che visualizzano antichi tratti fluviali che denunciano opere di rettifica e regimazione antropica.

Gli agenti descritti hanno formato una topografia blandamente ondulata in senso ovest – est con quote medie del piano campagna naturale comprese tra 29 ÷ 30 e 25 m slm nelle zone meridionali ed occidentali, tra 23 e 20 m slm nell'area orientale settentrionale.

DRENAGGIO IDRICO SUPERFICIALE – ESONDABILITA'

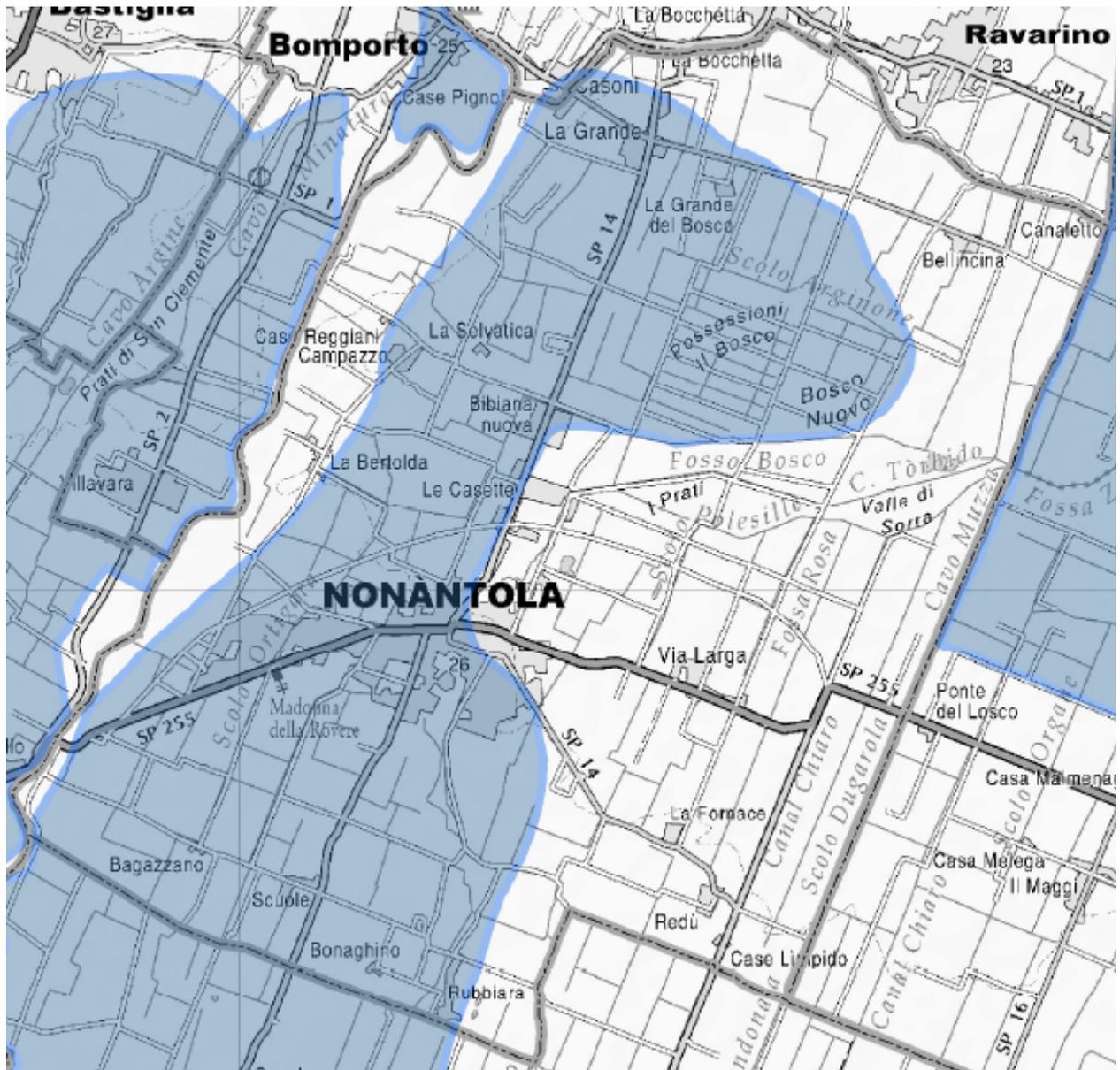
Il territorio comunale appartiene in netta prevalenza alle zone classificate ad elevata criticità idraulica, Art. 11 PTCP MO. La parte predominante di esse è a rapido scorrimento superficiale, mentre la zona orientale settentrionale: area circa compresa tra Scolo Argine – via Guerrine – Strada Valluzza – S.P. S. Matteo della Decima (255) – confine comunale est, è attribuito alle zone a scorrimento lento con possibilità di permanenza di battente idrico anche maggiore di 1 m.. Queste ultime aree, costituite da ambito vallivo pianiziale, sono caratterizzate dalla presenza di terreni essenzialmente argillosi che determinano una molto ridotta – praticamente nulla capacità di infiltrazione delle acque nel sottosuolo.

Sono altresì contraddistinte da condizioni non critiche: la fascia centrale meridionale, a sud del capoluogo, circa da Nosadella a La Carbonara, la fascia orientale del territorio da Case Limpido a C. Formigoni assecondante l'andamento dello Scolo Muzza, la fascia al bordo settentrionale, in corrispondenza del confine comunale, estesa sub parallelamente alla S.P. Argini – via Canaletto da quest'ultima località a I Casoni.

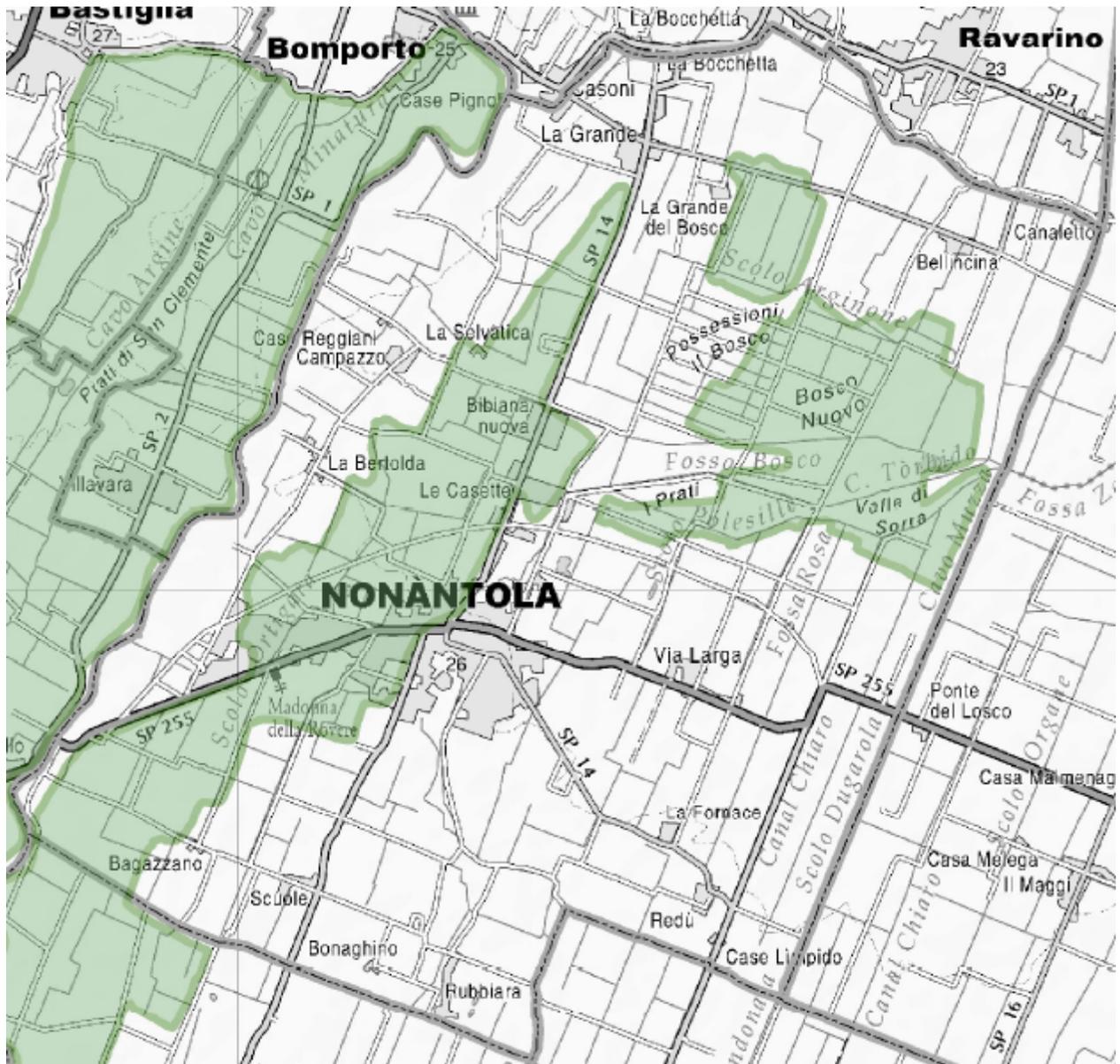
L'area comunale precedentemente alla realizzazione delle casse di espansione, è stata interessata nel 1966 e 1973 da processi di esondazione, che nel primo caso hanno coinvolto il territorio meridionale ad ovest di Rubbiara e la fascia che dal capoluogo si estende sino a La Grande ed in prossimità di quest'ultima si estende in direttrice est sino a Bosco Nuovo.

Il secondo evento ha investito la fascia occidentale del capoluogo circa da Sant'Ambrogio a Bagazzano – Madonna delle Rotte – Capoluogo – Le Casette – Bibiana Nuova – sud di La Grande.

Anche se successivamente alla realizzazione delle casse di espansione tali zone non sono state più esondate, sussiste una potenziale allagabilità per condizioni morfologiche del settore di territorio esteso sud – nord, circa compreso tra via Gazzate – via Modena / Strada Gazzate / La Selvatica / La Bisacca / La Pagliarina – Strada di Mezzo / via Mavora – Madonna della Rovere – Scolo Ortigara. Ne consegue che in dette aree è sconsigliabile la realizzazione di corpi di fabbrica interrati ed è opportuno prevedere la sopraelevazione del piano campagna di almeno 0,5 m nelle aree di nuovi insediamenti urbanizzati.



Aree esondate 1966

**Aree esondate 1973**

In relazione a quanto esposto si evince che necessita inoltre porre particolare attenzione alle previsioni progettuali delle aree di nuovo insediamento residenziale e produttivo per quanto riguarda gli scarichi in acque di superficie.

Pertanto, oltre ad un attento dimensionamento degli assi fognari, rapportati alla topografia dei luoghi, necessita valutare anche la realizzazione di vasche di laminazione delle acque di prima pioggia corredate di comparti separati per la raccolta delle acque di testa delle piogge.

IDROGEOLOGIA

Ambiente Idrico Sotterraneo

In riferimento all' influenza della presenza della falda idrica sotterranea nei primi 10 m del sottosuolo, sulla pericolosità sismica dei territori di pianura, poiché costituisce la principale componente che può indurre processi di liquefazione delle sabbie in occasione di sollecitazione sismica, l'analisi delle caratteristiche idrogeologiche del territorio di Nonantola è stata indirizzata alla definizione dell'assetto a soggiacenza della falda freatica.

Detta disamina si è attuata in base ai rilevamenti diretti nei pozzi eseguita nel contesto delle analisi di QC.PSC 2009. Tale studio è stato integrato dalla raccolta dati sulle stratigrafie di perforazioni e dagli elementi che caratterizzano gli orizzonti idrogeologici più profondi.

Definizione del sistema idrogeologico

Il territorio di Nonantola appartiene al Sistema Acquifero Padano delimitato dagli affioramenti appenninici a sud e da quelli alpini a nord e terminante ad est circa 50 km al largo della Costa Adriatica.

Detto ambito è formato da depositi clastici del Quaternario Continentale assemblati in alternanze di livelli più o meno permeabili con rapporti stratigrafici sensibilmente complessi.

Le formazioni superficiali che costituiscono gli orizzonti idrogeologici del sottosuolo della zona in oggetto sono rappresentate prevalentemente da sedimenti fini (sabbie) depositi dai fiumi appenninici e dal Po.

La base dell'acquifero utilizzabile a scopo idropotabile è formata da orizzonti poco permeabili o impermeabili, saturati da acque salmastre e/o salate che, in corrispondenza della Dorsale Ferrarese tendono a risalire in modo più o meno rapido, passando da -400 ÷ -500 m dal piano campagna, nel territorio di Bastiglia – Soliera, a -25 ÷ -50 m p.c. nell'area di Novi di Modena.

Schema Idrogeologico regionale

La successione di sedimenti fluviali, palustri, deltizi e marini di età pliocenico-quadernaria costituisce un complesso di forma e spessore variabile che ricopre il substrato prepliocenico e può essere schematicamente riassunta come di seguito descritto:

- a - Formazioni Oloceniche** (0 - 0,012 Ma²): alternanze di orizzonti sabbiosi intercalati a complessi argillosi con presenza di livelli torbosi. Le facies sedimentarie sono essenzialmente continentali e gli spessori compresi tra 10 m e 25 / 35 m.
- b - Formazioni Pleistoceniche** (0,012 - 1,8 Ma): orizzonti sabbiosi intercalati ad argille-argille sabbiose che risultano globalmente più argillosi delle formazioni oloceniche; con il Pleistocene compaiono generalmente le acque salate. Tale complesso é costituito dal Quaternario Continentale e Marino e presenta sedimenti di ambiente marino-lagunari per spessori che variano da 20 / 60 m (Novi) a 700 m. Il passaggio tra Pleistocene ed Olocene generalmente non é netto ma graduale.
- c - Formazioni Plioceniche**
- c' - Pliocene Superiore e Medio** (1,8 - 3,55 Ma): orizzonti argillosi che passano lateralmente sia a bancate argilloso sabbiose che a formazioni marnoso siltose con intercalati livelli arenaceo sabbiosi. Sono depositi di ambiente marino e hanno spessore compreso tra 0 (Novi) e 1200 m.
- c" - Pliocene Inferiore e Medio Inferiore** (3,55 - 5,2 Ma). alternanze a sabbie ed argille con intercalazioni marnoso sabbiose. Lo spessore varia da 100 a 1000 m.
- d - Formazioni Mioceniche** (5,2 - 24 Ma): marne, a volte siltose, con intercalazioni sia arenacee che di straterelli gessosi e/o calcareo-arenacei. L'ambiente deposizionale è francamente marino.

Alle Formazioni Mioceniche segue la serie Paleogenica costituita da rocce diagenizzate.

In base alla serie descritta risulta evidente che le falde idriche dolci sono rinvenibili essenzialmente nelle formazioni continentali dato che le acque di strato salmastre e/o salate dei livelli pleistocenici non sono state sostituite.

Interfaccia Acque Dolci - Acque Salate

Per quanto riguarda la base delle acque dolci, in relazione ai dati *AGIP*, *SPI*, *IDROSER*, *RER*, dello studio Riserve Idriche Sotterranee della Regione Emilia

² Ma = Milioni di anni

Romagna, si localizza nel sottosuolo dell'area in oggetto a profondità mediamente comprese tra -400 e -500 metri dal piano campagna.

Definizione spaziale del Modello Idrogeologico Locale

La successione idrogeologica presente nel sottosuolo di Nonantola (MO) ed in zone limitrofe, è stata desunta dalle analisi di sezioni geofisiche eseguite da AGIP, dai dati contenuti in Riserve Idriche Sotterranee della Regione Emilia Romagna (R.E.R. – ENI – AGIP), dai dati del Servizio Urbanistica e S.I.T. della Provincia di Modena.

Tali caratteri e l'assetto geometrico degli acquiferi contraddistinguono l'Unità Idrogeologica della Media Pianura.

Serie Idrogeologica Locale

In riferimento alle sopra descritte indagini ed in particolare ai dati acquisiti da RER ed AGIP, la successione sedimentaria (età Pleistocene inferiore – Olocene) localmente, è suddivisibile in quattro complessi acquiferi. Questi ultimi, in funzione del periodo nel quale si sono sedimentati, evidenziano variabili livelli di influenza dei processi deformativi e variazioni climatiche che hanno coinvolto il bacino padano. Detti eventi hanno generato complessi delimitati alla base ed alla sommità da discontinuità significative, anche alla scala sub-regionale, che ne consentono la suddivisione in UBSU (Unconformity Bounded Stratigraphic Unit) e quindi in unità stratigrafiche. Queste ultime sono quindi unità che differiscono da quelle sottostanti e soprastanti per il fatto di essere separate tra esse da superfici di discontinuità che passano verso il depocentro alle rispettive superfici di continuità.

La successione e gli assetti geometrici dei complessi acquiferi sono visualizzate negli elaborati: Sezioni Geologiche, Tav. 1.2.1.

Complesso Acquifero A0 (Unità geologica AES8): è correlabile a deposizioni di ambito continentale di età olocenica (12.000 – 14.000 anni b.p fino all'attuale.) generalmente non evidenzia influenze dei processi deformativi che hanno interessato il bacino padano ma altresì si riscontrano effetti correlabili a variazioni climatiche.

Queste ultime nel territorio in esame sono evidenziate dalle sequenze argilloso limose con diffusa presenza di livelli ricchi in sostanza organica con spessori centimetrici/decimetrici che nell'insieme costituiscono orizzonti con spessori di $\frac{3}{4}$ m, riscontrati nei sondaggi meccanici eseguiti da RER (S4 202- S5 202) a profondità variabili tra -14/-16 e -17/-20 m pc, con età 7300/8350 anni bp: RER 2009, correlati alla fase di ingressione marina che individua la base dell'AES8

Lo spessore dell'unità in oggetto oscilla mediamente tra 20 ÷ 30 m. e raggiunge tendenzialmente profondità maggiori nelle zone centro settentrionali – nord orientali dell'area in esame, dove si rinviene sino circa a -25 ÷ -30 m dal piano campagna.

In tale unità gli orizzonti che costituiscono l'acquifero freatico (primi 15 m. del sottosuolo) hanno geometria spiccatamente lentiforme e denotano pronunciate variazioni laterali nelle componenti granulometriche, con elevati arricchimenti nelle frazioni limose.

Queste ultime costituiscono fasce che limitano sensibilmente le velocità della circolazione idrica sotterranea orizzontale.

I livelli sabbiosi saturi in acqua che costituiscono acquiferi semi confinati, rilevabili a quote sottostanti -15 m pc, evidenziano un maggior grado di continuità laterale tra -15 e -18/20 m. pc e tra -20/ -22 ÷ -25 m. pc.

Complesso Acquifero A1 (Unità geologica AES7): è correlabile a deposizioni avvenute tra 12 - 14.000 e 125.000 anni b.p., denota l'assenza di influenza di deformazioni correlabili ai processi tettonici che hanno coinvolto il bacino padano ed evidenzia modeste deformazioni per processi di subsidenza per autoconsolidazione correlati all'assetto del substrato prepliocenico. Tale insieme presenta spessori generalmente compresi tra 45 / 50 e 70 m, con potenze relative minori nella zona meridionale corrispondenti in media a 40 / 50 m; si rinviene generalmente sino a -55 / -60 m pc nelle zone sud, -90/-95 m pc nelle aree centrosettentrionali e -75 / -80 m pc nelle fasce settentrionali. Gli spessori più rilevanti si riscontrano nelle fasce nord orientali.

Gli orizzonti acquiferi a maggior grado di continuità laterale in tale unità si riscontrano a profondità tra -27 ÷ -30 m p.c.; tra -30 ÷ -35 m pc (sud); tra -40 ÷ -50 m. pc (nord), tra -45 ÷ -50 m. pc (sud) e -60 ÷ -65 (nord), questi ultimi di tipo discontinuo. Gli spessori di tali livelli sabbiosi sono mediamente equivalenti a 2/3 m localmente 4/8 m.

Complesso Acquifero A2 (Unità geologica AES6): è correlabile a deposizioni avvenute tra 125.000 e 220/250.000 anni b.p., evidenzia l'assenza di deformazioni per processi tettonici ed una moderata influenza sulle geometrie connessa ai processi di subsidenza differenziale, per autoconsolidazione, correlati all'assetto del substrato prepliocenico; presenta spessori di 65/75 m nelle zone meridionali e 75/80 m in quelle settentrionali; si rinviene in genere tra -55/-60 m p.c. e -125/-130 m p.c. nei settori meridionali, tra -90/-100 m p.c. e -160/-170 m pc nelle zone centro settentrionali, tra -80/-90 m p.c. e -170/-180 m pc in quelli settentrionali.

Gli orizzonti acquiferi a maggior grado di continuità laterale si rinvengono tra -55/-60 m p.c. (sud) tra -80/-90 e -95/-105 m p.c. nelle zone centro settentrionali ed in

presenza discontinua tra -120/-130 m p.c. nelle zone settentrionali; gli spessori di tali livelli sabbiosi sono mediamente equivalenti a 2/3/8 m.

Complesso Acquifero A3 (Unità geologica AES5): è correlabile a deposizioni avvenute tra 220/250.000 e 300/320.000 anni b.p., evidenzia indizi di modeste deformazioni correlabili a movimenti tettonici ed una discreta influenza sulle geometrie connesse a processi di subsidenza differenziale per autoconsolidazione correlati all'assetto del substrato prepliocenico; presenta spessori di 40/50 m a sud e di 55 ÷ 60 a nord si rinviene tra -130/-175 m p.c. nelle zone meridionali e tra -170/-220 m p.c. nelle aree centrosettentrionali, tra -150/-160 e -200/-230 m pc nelle fasce settentrionali.

Gli orizzonti acquiferi che denotano maggior grado di continuità laterale si riscontrano tra -130/-135 m p.c. a sud tra -170/-175 m p.c. nelle zone centro settentrionali.

Complesso Acquifero A4 (Unità Geologica AES4)

Porzione basale del Sintema Alluvionale Superiore - AES: localmente non evidenzia significative influenze deformative correlate ai movimenti tettonici che hanno interessato il bacino padano tra 300/320.000 e 400/450.000 anni b.p. ed è contraddistinto da sensibili influenze sulle geometrie degli orizzonti connesse a subsidenza differenziale per processi di autoconsolidazione; presenta spessori generalmente variabili tra 50 e 60 m e si riscontra -170/-180 m pc e -220/-230 m pc nelle zone meridionali, tra -220/-230 m pc e -270/-290 m pc nelle aree centro-settentrionali.

Gli orizzonti acquiferi a maggior grado di continuità, sono presenti prevalentemente al tetto dell'unità tra -175 e -180 m p.c. a sud e tra -230/-240 m p.c. a nord ed hanno spessore di 3 ÷ 5 m; è in oltre riscontrabile un livello discontinuo tra -210/-215 m a sud e -250/25 m pc nella zona centrale.

Gruppo Acquifero B (Sintema Alluvionale Inferiore - AEI): non evidenzia sia alla base che al tetto significative influenze dei movimenti tettonici che hanno coinvolto il bacino padano da 400.000 ÷ 450.000 a 650.000 anni b.p. e denota deformazioni correlate a processi di subsidenza differenziata per autoconsolidazione; la distinzione rispetto all'unità superiore è correlata essenzialmente a caratteristiche di ambiente deposizionale.

Presenta spessori variabili tra 180 e 200 m e superati -230 ÷ -280 m pc si rinviene sino a profondità di -450 ÷ 500 m p.c..

Gli orizzonti permeabili più significativi sono presenti al tetto dell'unità dove costituiscono il livello di transizione con spessore di 2 ÷ 5 m alla soprastante unità (AES).

Parametri idrogeologici acquiferi UNITA' AES

In base ai valori di trasmissività medi del territorio, pubblicati da *IDROSER*, equivalenti a:

- $T = 1 / 1,2 \cdot 10^{-2} \div 3 / 5 \cdot 10^{-3} \text{ mq/sec (Bassa Modenese)}$

si evidenzia una velocità di ricarica degli acquiferi, presenti nei primi 200 m del sottosuolo, di tipo medio.

Identificazione dinamica del sistema idrogeologico locale

Allo scopo di definire, nelle linee generali, l'assetto dei deflussi idrici delle acque sotterranee del primo acquifero o falda freatica, si è eseguita una campagna di misurazione del livello d'equilibrio nei pozzi accessibili presenti.

Dette rilevazioni sono state effettuate nel 2008 ed hanno interessato il territorio del comune di Nonantola.

Dai dati relativi ai livelli d'equilibrio dell'acqua nel sottosuolo si sono elaborate le carte delle isopieze e soggiacenza della falda freatica.

La determinazione delle quote del piano campagna nei punti di misura del livello idrico si è effettuata in base ai punti quotati, riportati sugli elementi C.T.R. Emilia Romagna in scala 1:5.000, integrata da livellazioni dal mezzo mediante autolivello mod. Kern. GKO 100.

Piezometria dell'acquifero freatico

La conformazione della superficie piezometrica è condizionata, oltre che dall'andamento del substrato, dai valori di trasmissività ($T = mq/sec$), dall'assetto topografico e dal reticolo idrografico superficiale, ed evidenzia la geometria dei deflussi idrici sotterranei.

Oltre a ciò conoscendo i valori di permeabilità e di porosità efficace dei terreni consente di definire le velocità di deflusso idrico sotterraneo.

Isopieze dell'acquifero

La carta delle isopieze, evidenzia un assetto idrogeologico principale a falda radiale divergente nei settori occidentali e meridionali e prevalentemente a falda conica convergente nelle zone centrali e centro orientali settentrionali.

L'assetto isopiezometrico denota che nel settore occidentale l'acquifero freatico è alimentato dal F. Panaro; tale condizione determina direttrici di moto dei deflussi idrici sotterranei territorialmente orientate in verso nord est – est. Nelle zone meridionali centrali meridionali i moti di flusso si sviluppano prevalentemente in senso sud ovest est – nord nord est in funzione delle condizioni di alimentazione correlate sia al corpo sabbioso di paleoalveo esteso sud nord ad est di strada Mavova che da un analogo corpo sabbioso sepolto che dal F. Panaro e si estende in direttrice orientale circa assecondando l'andamento di via Modena.

Il territorio a nord e ad est del capoluogo è caratterizzato dalla presenza di una falda conica convergente, con direzioni di moto dei flussi idrici orientate ad est e nord est.

La conformazione della superficie piezometrica si articola in alti e bassi strutturali, correlati sia alla variazione in spessore degli orizzonti permeabili che alla geometria dell'acquifero di base.

Soggiacenza Acquifero Freatico

L'analisi d'insieme dell'andamento della profondità dell'acqua nel sottosuolo evidenzia che generalmente il livello d'equilibrio della falda freatica è rinvenibile tra:

$$\delta H_2O \approx -1,5 \div -2 \text{ m p.c.}$$

Da tali condizioni territoriali si discostano moderatamente alcuni settori come di seguito descritto.

Nell'area a cui appartiene il capoluogo, la soggiacenza è risultata mediamente equivalente a:

$$\delta H_2O \approx -1,0 \div -1,5 \text{ m p.c.}$$

Fa eccezione il settore sede del Centro storico dove si riscontrano profondità mediamente comprese tra:

$$\delta H_2O \approx -2,5 \div -3 \text{ m p.c.}$$

Equivalenti condizioni si rilevano nella parte meridionale del territorio comunale: zone a sud dell'allineamento Villa Rossi – via Carbonara – via Rubbiara nei settori ad oriente di Strada Mavora - Strada Masetto, settori a meridione dell'allineamento Masetto – il Casinetto – la Muzza.

Analoghe soggiacenze (-2,5 ÷ -3 m pc) sono rilevabili nella parte nord orientale del territorio: zone ad est di via Guerrine ed a nord di Canal Torbido/Fosso Bosca. Nella fascia occidentale del territorio circa compresa tra l'allineamento Scolo Ortigara – la Pancera – Strada Pagliarina ed il F. Panaro, la soggiacenza corrisponde a:

$$\delta H_2O \approx -2,0 \div -2,5 \text{ m p.c.}$$

Condizioni al Contorno della Struttura Idrogeologica freatica

In funzione delle disamine descritte nei paragrafi precedenti la definizione della condizione al limite dei settori circostanti il territorio comunale può essere schematizzata come di seguito indicato:

- Limite sud: idrodinamica a potenziale imposto con flusso in entrata
- Limite ovest: idrodinamica a potenziale imposto con flusso in entrata
- Limite nord: idrodinamica a potenziale imposto con flusso in entrata
- Limite est: idrodinamica a potenziale imposto con flusso in uscita.

- Limite di tetto: nelle aree con presenza di orizzonti argilloso limosi - limoso argillosi nei primi 1 ÷ 3 m dal p.c., si ha un flusso molto basso; d'altra parte nei settori in cui detto livello è sostituito da limi sabbiosi e sabbie limose (fasce di paleoalveo) o dove di hanno incisioni di cavi e canali che si spingono a quote sottostanti i -2 ÷ -3 m p.c., si ha un flusso idrodinamico in entrata a portata imposta (infiltrazione per piovosità, per irrigazione, per fertirrigazione).
- Limite di letto: substrato argilloso limoso, condizione idrogeologica a flusso nullo.

CARATTERI GEOLOGICO TECNICI

Le caratteristiche litologiche relative ai primi 10 ÷ 20 m del sottosuolo del territorio di Nonantola sono state determinate in base alle analisi geomorfologiche, all'esame delle colonne litostratigrafiche di pozzi, sondaggi geognostici, prove penetrometriche, basi topografiche IGM relative al primo impianto 1881 e delle notizie e pubblicazioni storico – geomorfologiche, Studio Geologico e Sismico del QC. PSC 2008 di Nonantola, (*Centrogeo 2008*).

Gli areali che delimitano le unità litotecniche visualizzate nell'elaborato in narrativa, Tav. 1.2, identificano gli orizzonti litologici che principalmente influenzano il tipo di risentimento sismico in occasione di sollecitazione dinamica.

In funzione di quanto esposto sono pertanto identificate come aree prevalentemente sabbiose – sabbioso limose anche le fasce di territorio dove detti litotipi, anche se non affiorano in superficie, sono però presenti con spessori significativi, maggiori di 1,5/2 – 3 m, nei primi 5/10 ÷ 15 m del sottosuolo. Le classificazioni delle unità prevalentemente limoso argillose – argilloso limose - argillose, esprimono la netta prevalenza di detti terreni nei primi 5 ÷ 10/15 m dal piano campagna.

Carta geologico tecnica

Il territorio in oggetto, circa compreso tra l'asse ferroviario MI-BO, l'allineamento Bomporto – Crevalcore, il F. Panaro, confine provinciale MO-BO, è costituito principalmente dalle evoluzioni idrografiche del F. Panaro, condizionate da quelle del F.Po e dei suoi affluenti, che hanno colmato il golfo padano delimitato dagli affioramenti appenninici a sud e da quelli alpini a nord.

L'area a cui appartiene Nonantola presenta caratteristiche differenziate tra settori che costituiscono le zone occidentali, tra il F. Panaro ed il capoluogo, e quelle orientali tra quest'ultimo – confine comunale est – via Valluzza, le fasce al confine occidentale e settentrionale e quella centrale da Rubbiara al capoluogo, le aree nord orientali.

Le prime, contraddistinte da quote mediamente comprese tra 30 e 23 m slm, con pendenze generalmente variabili tra 3 ÷ 4/5 ‰, sono costituite da litotipi prevalentemente limoso argilloso – limosi ed argilloso limosi con subordinata presenza di limi sabbiosi.

Le fasce occidentali settentrionali e quella centrale orientata sud nord da Rubbiara al capoluogo a Le Casette, sono formate da componenti sabbioso limose – sabbiose, costituite ad ovest dal corpo alluvionale del F. Panaro e nelle zone centrali e

settentrionali da fasce rispettivamente allungate in senso sud nord ed ovest est, correlabili ad antichi percorsi di alveo fluviale estinti.

Il settore nord orientale circa tra Strada di Mezzo – via Valluzza / sS. San Matteo Della Decima – confine comunale est – confine comunale nord, con quote comprese tra 20 e 22 m slm e pendenze dello $0,5 \div 0,8$ % declinanti ad oriente, è costituito, nei primi 5-15 m del sottosuolo, principalmente da litotipi argillosi – argilloso limoso correlabili ad un ambiente vallivo di pianura.

INDAGINI PER LA CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Per determinare le velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio Vs, delle unità litotecniche che costituiscono i primi 40 ÷ 60/70 m del sottosuolo, sono state effettuate prospezioni geofisiche a rifrazione sia con metodo integrato attivo/passivo Multichannel Analysis Surface Waves / Refraction Microtremor (MASW – Re.Mi) che metodo passivo Re.Mi, mediante stendimenti ad antenna monodimensionale con lunghezza di 69 m, e verticali puntuali a stazione singola con acquisizione di microtremori con metodo Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr).

Queste ultime sono state sempre eseguite congiuntamente alle prospezioni MASW/Re.Mi. Di tali prospezioni 9 sono state effettuate con metodo iterato MASW-Re.Mi e 19 con metodo Linear Array: Re.Mi.

Dette indagini, che saranno in maggior dettaglio di seguito elencate, sono state distribuite sul territorio sia in funzione delle finalità di caratterizzazione sismica dell'urbanizzato che degli ambiti suscettibili di urbanizzazione che delle principali infrastrutture, oltre a ciò sono state effettuate verticali di acquisizione delle Vs anche in altri siti al fine di individuare i valori di Vs dei vari tipi di terreni presenti nel territorio di Nonantola.

Le indagini effettuate in rapporto all'estensione dell'area comunale, hanno esaminato il territorio con 1 punto di analisi ogni 1.9 kmq di superficie, con densità relativa maggiore nell'area sede del capoluogo nella quale è stata effettuata una verticale per kmq.

Microtremori con la tecnica HVSr

Le indagini a stazione singola di acquisizione di microtremori ambientali effettuate in 29 punti distribuiti nell'area comunale con maglia statisticamente rappresentativa, sono state eseguite utilizzando un sismometro GeoBox SARA ad elevata dinamica (24 bits) attrezzato con geofono tridirezionale da 4,5 Hz di frequenza propria.

Le acquisizioni sono state effettuate campionando il segnale a 200 Hz per una durata di circa 20 ÷ 30 minuti.

Tali dati sono stati elaborati con la tecnica HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) utilizzando il programma Geopsy .

L'elaborazione HVSR dei dati acquisiti ha evidenziato i risultati riportati nelle allegate schede "Indagine HVSR" in cui la linea blu continua evidenzia la media delle finestre di calcolo, mentre le linee verdi e rosse rappresentano l'intervallo di confidenza al 90% rispetto alla media calcolata.

Prospezione sismica a rifrazione attiva/passiva Re.Mi e MASW/Re.Mi.

Le prospezioni, effettuate in numero di 28, sono state eseguite con un sismografo digitale a 24 canali ad elevata dinamica *GEOMETRICS GEODE*, attrezzato con 24 geofoni verticali con frequenza propria di 4,5 Hz, disposti ad interasse di 3 m per una lunghezza totale di stendimento di 69 m.

Nella procedura del "metodo attivo" le onde superficiali sono generate mediante una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e sono registrate da uno stendimento lineare costituito ricevitori posti a distanza variabile.

Il procedimento del "metodo passivo" presenta caratteristiche geometriche dello stendimento uguali a quelle del sistema attivo ma i ricevitori non registrano le onde superficiali prodotte da una sorgente impulsiva, bensì il rumore di fondo (microtremore) prodotto da sorgenti naturali (vento) e antropiche (traffico, attività industriali).

Le due tecniche esaminano bande spettrali differenti: il metodo attivo consente di acquisire in modo dettagliato una curva di dispersione nel range di frequenza compreso tra 10 e 40 Hz e fornisce informazioni relative alla parte più superficiale del sottosuolo (fino a circa 10-20 m di profondità); il metodo passivo permette di determinare e definire una curva di dispersione nelle bande di frequenza tra 2 e 20 Hz e fornisce informazioni sugli strati più profondi.

La combinazione delle due tecniche consente di ottenere uno spettro completo nella banda di frequenza comprese tra 2 e 40 Hz e permette una dettagliata ricostruzione dell'andamento della velocità delle onde di taglio fino a circa 30-100 m di profondità, in funzione della lunghezza dello stendimento e della densità dei terreni.

Nell'esecuzione della prova MASW (attiva) è stato utilizzato come sistema di energizzazione una mazza di 10 Kg battente su piattello metallico. Per aumentare il rapporto segnale/rumore si è proceduto alla somma di più energizzazioni (processo di stacking). La sorgente è stata posta ad una distanza di 6 e 10 m dal primo geofono ("Optimum Field Parameters of an MASW Survey", *Park et al., 2005; Dal Moro, 2008*).

Per l'acquisizione dei microtremori ambientali (Re.Mi) sono state effettuate venti registrazioni della durata di 30 sec con una frequenza di campionamento di 500 Hz.

L'elaborazione del segnale consiste nell'operare, tramite un opportuno software, una trasformata bidimensionale "*slowness-frequency*" (*p-f*) che analizza l'energia di propagazione del rumore in entrambe le direzioni della linea sismica e nel rappresentare lo spettro di potenza su un grafico *p-f*. Gli spettri delle singole acquisizioni sono quindi mediati, escludendo eventualmente quelli che presentano una bassa coerenza.

In tale spettro mediato si evidenziano gli andamenti che possiedono sia una spiccata coerenza di fase che una potenza significativa, permettendo un riconoscimento visivo delle onde di superficie (che hanno carattere dispersivo), da quelle riconducibili ad altri modi e tipi (onde di superficie di ordine superiore, onde di pressione, suono e rumore incoerente).

In funzione di quanto esposto è possibile effettuare un "*picking*", attribuendo ad un certo numero di punti una o più *slowness* (*p* o *1/velocità di fase*) ed ottenere una "*curva di dispersione*".

Quest'ultima è visualizzata su un diagramma in cui appare anche la curva di dispersione calcolata a partire da un modello di Vs che è modificabile in sede di elaborazione. Variando il numero di strati, la loro velocità e la densità, la curva di dispersione calcolata è adattata sino ad aderire il più possibile a quella sperimentale ottenuta con il picking.

I risultati ottenuti ed i relativi diagrammi di elaborazione sono visualizzati nelle allegate schede "*indagine MASW/Re.Mi. - Re.Mi*", riportanti lo spettro di potenza mediato, la curva di dispersione, sia sperimentale che calcolata, ed il relativo modello interpretativo.

Tale procedura consente di ottenere uno spettro nella banda di frequenza compresa tra i valori di 2 ÷ 40 Hz e permette la ricostruzione dell'andamento della velocità delle onde di taglio fino a circa 40-80 m di profondità, in funzione della lunghezza dello stendimento e densità dei terreni.

L'elaborazione del segnale, consiste nell'analisi dell'energia di propagazione del rumore in entrambe le direzioni della linea sismica e nel rappresentare lo spettro di potenza su un grafico *p-f*. Gli spettri delle singole acquisizioni sono quindi mediati, escludendo eventualmente quelli che presentano una bassa coerenza.

Il modello di Vs è modificabile in sede di elaborazione, variando il numero di strati, la loro velocità e la densità, adottando la curva di dispersione calcolata sino ad aderire il più possibile a quella sperimentale ottenuta con il picking.

I risultati ottenuti ed i relativi diagrammi di elaborazione sono visualizzati nelle allegate schede “*indagine Re.Mi./MASW*”, riportanti lo spettro di potenza mediato, la curva di dispersione, sia sperimentale che calcolata, ed il relativo modello interpretativo.

PRIMO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

Carta delle indagini

In riferimento all'analisi delle caratteristiche litotecniche territoriali è stata effettuata una raccolta dati, mediante un censimento, delle indagini geognostiche e geofisiche realizzate per varie finalità nel territorio oggetto di analisi, presso le Amministrazioni Pubbliche Locali: Ufficio Tecnico Comunale, Servizio Tecnico Degli Affluenti del Po.

In considerazione del contesto geo-litologico in primo luogo sono state considerate, oltre alle indagini sismiche di tipo Re.Mi, ed HVSR eseguite dallo scrivente, prove penetrometriche statiche CPT, CPTU effettuate da RER, sondaggi meccanici.

Successivamente è stata effettuata una selezione di dette documentazioni in base alla valutazione dell'attendibilità del dato.

In sintesi tra le indagini esistenti sono stati considerati complessivamente:

- 252 prove penetrometriche statiche, CPT-RM.
- 13 prove penetrometriche statiche CPTU (banca dati RER)
- 2 Sondaggi meccanici (SM) sino a -40 m pc (banca dati RER)

In riferimento alla caratterizzazione degli ambiti: urbanizzati a quelli di prevedibile nuovo sviluppo e principali reti infrastrutturali, preventivamente selezionati in accordo con l'U.T. dell'Amministrazione Comunale, per i quali risulta necessario effettuare gli approfondimenti sismici prescritti dai testi di indirizzo riportati in premessa, sono state eseguite le seguenti indagini:

- 28 misure di sismica a rifrazione con metodo combinato attivo/passivo con antenna monodimensionale delle quali 9 MASW/Re.Mi. e 19 Re.Mi;
- 28 misure di sismica passiva con tecnica a stazione singola HVSR.

Le indagini, distinte in esistenti e nuove, sono state georeferenziate in apposito elaborato cartografico in scala 1:10.000 comprensivo dell'intero territorio comunale ed hanno coperto quest'ultimo secondo una maglia sub quadrata – rettangolare con lati di 600 ÷ 900 m nell'area del capoluogo e delle principali frazioni, con interassi di 1500 ÷ 2000 m nella rimanente parte di territorio.

Carta delle frequenze naturali del terreno

La frequenza fondamentale di vibrazione dei terreni è di primaria importanza nelle previsioni di edificabilità nei territori, poiché consente di valutare

preliminarmente la possibilità dell'insorgere dei fenomeni di doppia risonanza con le opere in funzione del periodo di vibrazione delle stesse.

Il territorio comunale di Nonantola è stato oggetto di una estesa campagna di prospezioni geofisiche che ha permesso di determinare le caratteristiche dinamiche dei tipi litologici che formano il sottosuolo delle zone sede dell'urbanizzato, di previsto sviluppo ed aree a case sparse.

A tale finalità sono state utilizzate:

- 29 Verticali a stazione singola con acquisizione di microtremori (HVSR)

Nel contesto delle indagini effettuate, relativamente alle analisi di approfondimento di primo livello, sono risultate significativamente efficienti le verticali con acquisizione di microtremori con stazione singola: HVSR. I dati ottenuti dalle elaborazioni di tali indagini consentono, infatti di definire le modalità di vibrazione del terreno ed individuare sia la frequenza di risonanza (F_0) che l'ampiezza (A) dei rapporti spettrali in corrispondenza delle frequenze.

Considerando che sussiste una correlazione diretta (anche se non lineare) tra i fenomeni di "risonanza" e l'amplificazione del moto del suolo in concomitanza di sollecitazione sismica (effetti di sito), detta tipologia di indagine consente di individuare, come previsto dal primo livello di approfondimento degli Indirizzi e Criteri di Microzonazione Sismica, le aree con comportamento sismico omogeneo - equivalente.

Per meglio evidenziare possibili congruenze tra i risultati, i valori Frequenza/Ampiezza rilevati sono state discretizzate, in termini di frequenza di ampiezza del picco HVSR nelle seguenti classi:

Frequenze Hz	Ampiezze A
$0,5 < F_0 \leq 0,8$	$1,5 < A < 2,0$
$0,8 < F_0 < 1$	$2,0 < A < 3,0$
$F_0 \geq 1$	$A > 3,0$

Dette associazioni sono state riportate nella tavola "Frequenze Naturali Terreni"; le misure sono state identificate mediante una serie di simboli con colori e dimensioni differenti. Il colore è correlato alle diverse classi di frequenza mentre la dimensione alla classe di ampiezza.

In funzione di tale indicizzazione dei risultati è stato possibile valutare la distribuzione delle classi di frequenza e ampiezza sul territorio ed effettuare alcune considerazioni qualitative sull'area oggetto di studio.

I valori delle frequenze principali sono generalmente compresi tra $0,6 \div 1,0$ Hz ad eccezione di una verticale all'estremità sud ovest con valore praticamente equivalente a $1,0$ Hz, indicando in accordo con quanto evidenziato dalle sezioni geologiche, spessore dei depositi soggetti ad amplificazione maggiori di 100 m.

La prevalente parte del territorio è generalmente contraddistinta da valori compresi tra $0,8 \div 0,95$ Hz che caratterizzano il settore a sud ovest del capoluogo tra l'allineamento: Scuole – Poss.ne Carbonara – Madonna della Rovere – le Gazzate – F. Panaro; analoghi valori identificano la fascia meridionale, zone a sud di via Rubbiara, e l'areale sud est tra C. Allegretti, Redù, F.do S. Filippo, la fascia centrale orientata sud nord che dal settore orientale del capoluogo si estende a la Grande.

I valori compresi tra $0,55/0,6$ e $0,75$ Hz descrivevano una fascia ad u che comprende le zone ovest del capoluogo, circa da C. Basellini – Rosselli a Madonna della Rovere – la Bertolda – le Scuole, e le aree ad est del centro storico da Ca de Frati a la Sabatina – la Pagliarina – l'Olma – Bosco – Ca Nuova – C. Molosgnardo.

L'areale con i valori di frequenza relativa maggiori $1 - 0,9/0,85$ Hz contraddistinti da ampiezze $A = 2,5/3$, caratterizzano il settore sud occidentale del territorio comunale, indicando uno spessore relativo inferiore dei depositi amplificabili, in accordo con l'innalzamento del substrato prepliocenico che in tale zona si riscontra a $-2,5$ km dal pc.

In considerazione della netta prevalenza dei valori delle frequenze fondamentali dei terreni nell'intervallo $0,6 \div 1,0$ Hz, un'analisi accurata sarà da eseguirsi nei casi di progettazione di manufatti con periodi compresi tra $0,9 < T < 1,7$ sec. Al fine di evitare l'insorgere di fenomeni di doppia risonanza.

Tetto delle sabbie e del substrato a comportamento rigido: bedrock sismico

Tetto sabbie

Gli elementi nel sottosuolo delle zone di pianura che possono influenzare in modo marcato il moto in superficie sono rappresentati da depositi a comportamento relativo più rigido quali le unità o corpi prevalentemente sabbiosi e/o ghiaioso sabbiosi, più o meno lentiformi, nei primi $10 \div 15/20$ m del sottosuolo. Tali litotipi possono essere inoltre soggetti a deformazioni permanenti di volume per processi di liquefazione correlati ai rapidi ed elevati incrementi delle sovra pressioni interstiziali in concomitanza delle sollecitazioni sismiche.

La carta del tetto delle sabbie, ottenuta dall'analisi congiunta delle prove penetrometriche CPT - CPTU, stratigrafie di sondaggi meccanici, e dei pronunciati contrasti di impedenza nei primi $5 \div 20$ m del sottosuolo evidenziati da alcune delle verticali Re.Mi - MASW/Re.Mi. eseguite, evidenzia la profondità in m rispetto al piano campagna delle litozone nelle quali prevalgono le componenti sabbiose.

L'assetto del tetto delle sabbie denota geometrie sostanzialmente lentiformi tendenzialmente allungate in senso sud nord e l'isobata che delimita il bordo esterno della zona indica la terminazione laterale e la profondità del letto del corpo sabbioso. La distribuzione areale di questi ultimi sostanzialmente concorda con la presenza delle fasce di canale fluviale estinto (paleoalvei) individuate mediante l'analisi geomorfologica.

L'assetto spaziale nel sottosuolo del tetto delle sabbie evidenzia che il corpo di maggior estensione e spessore è rappresentato dalla fascia estesa sud nord, larga di 0.3 ÷ 0.5 km, circa compresa tra via Bollitore e via Rubbiara/Guazzaloca strada Imperiale e tra incrocio strada Tacozza/strada del Masetto, successivamente, assecondando quest'ultima, prosegue sino al capoluogo, formando la fascia centrale dello stesso, superata la sS Bologna – Modena si allarga sino a 1 km circa ed assecondando via di Mezzo prosegue in direzione nord sino a Le Casette dove flette in verso est nord est allungandosi sino all'intersezione Strada dei Gatti / Fosso Signora.

Altre significative unità con presenza di alternanze lentiformi sabbiose – sabbioso limose si riscontrano nelle fasce che formano i bordi occidentale e settentrionale e nel settore occidentale del territorio tra l'area ad uso produttivo a nord di Madonna della Rovere e la Selvatica.

Ulteriori significativi corpi sabbiosi sono presenti nella zona sud orientale tra C. Branchini – Canal Tiepido – Roncadello – Ampergola – Strada Redù, anch'essa contraddistinta da corpi sabbiosi lentiformi.

Tetto del substrato a comportamento rigido: bedrock sismico

L'individuazione delle profondità del piano campagna e l'assetto spaziale dell'unità litotecnica che localmente assume comportamento rigido, assimilabile al bedrock sismico, è stata valutata in funzione dei valori di frequenza principale ottenuti dalle prospezioni HVSR, e delle velocità delle onde sismiche di taglio della successione litotecnica che costituisce i primi 250 – 300 m del sottosuolo determinate in base ai dati ottenuti dalle prospezioni Linear Array - Re.Mi., che hanno evidenziato per detto spessore valori mediamente compresi tra 350 e 450 m/sec con media prevalente di 400/420 m/sec

In riferimento a tali dati mediante la relazione:

$$H = \frac{V_s}{4f_0}$$

si è stimata la profondità dal piano campagna alla quale è rinvenibile il primo contrasto di impedenza significativo, correlabile alla quota dalla quale sono presenti orizzonti litotecnici con caratteristiche assimilabili al bedrock sismico.

L'andamento spaziale denota la tendenza ad assecondare l'assetto del substrato prepliocenico, nei settori sud occidentali, occidentali centrali fascia centrale settentrionale, dove evidenzia profondità relative del bed rock light minori: -100 ÷ -120/-130 m pc.

Le profondità relative maggiori, corrispondenti a -140 ÷ -150 m pc, si osservano nella zona orientale centrale dove il substrato prepliocenico è rinvenibile alle profondità relative maggiori: -7,5 km pc; un analogo areale con profondità tra -140 e -160 m pc si riscontra nella fascia allungata sud sud est – nord nord ovest che si estende dalle zone meridionali occidentali del capoluogo, sud di incrocio via Modena / via Mondine, a incrocio Strada Mavora/ via Rubbiara a Strada Maestra/Guazzaloca.

Dalla comparazione tra le profondità del bedrock sismico sopra indicate con le sezioni stratigrafiche eseguite ed i profili litostratigrafici pubblicati dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli RER, si riscontra la tendenziale correlabilità con la parte medio basale - basale del subsistema AES6.

Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica o delle Aree Suscettibili di Effetti Locali

In riferimento agli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica del Dip. Prot. Civ. e Conf. Delle Regioni e PA, DGR.ER 1302/2012, e DAL 112/2007, sono state individuate e delimitate le zone a comportamento equivalente in occasione di sollecitazione sismica. Per dette aree sono stati definiti gli approfondimenti di indagine ed analisi per la microzonazione sismica ed i livelli di approfondimento da effettuarsi in funzione delle condizioni di pericolosità sismica che competono alle stesse.

Nell'individuazione e delimitazione delle aree in narrativa oltre alle documentazioni territoriali prove penetrometriche CPT – CPTU, sondaggi meccanici, sono state utilizzate le verticali di indagine geofisica di tipo lineare ed antenna monodimensionale (Re.Mi - MASW/Re.Mi.) che puntuali a stazione singola (HVSR) direttamente eseguite, per una più attendibile individuazione delle unità litologiche contraddistinte da Vs considerabili tra esse praticamente equivalenti.

La carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica MOPS1 tav. 1.6, scala 1:10.000, costituisce pertanto una zonazione di primo livello di approfondimento di tipo avanzato.

Al fine di individuare le zone a comportamento equivalente in occasione di sollecitazione sismica sono stati utilizzati gli elaborati cartografici, prospezioni geognostiche precedentemente effettuate, integrando dette documentazioni con valutazioni redatte con criterio geotecnico.

Nel contesto delle analisi territoriali sono inoltre state utilizzate le documentazioni della Regione Emilia Romagna, in particolare le carte topografiche di dettaglio, il modello digitale del terreno e la banca dati geologica del territorio comunale, resi disponibili in formato digitale dal *Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli*.

Oltre a ciò si è fatto riferimento alle elaborazioni individuanti i differenti scenari di pericolosità sismica locale e degli effetti locali attesi, di prima fase, redatti nell'ambito del PTCP della Provincia di Modena, banca dati del U.T. del Comune di Nonantola.

Le sopradescritte disamine e documentazioni hanno consentito di individuare ambiti litotecnici contraddistinti da diverse caratteristiche geotecniche e di rigidità, definendo le condizioni di pericolosità sismica locale.

Definizione successioni a comportamento sismico equivalente

L'individuazione delle sequenze litotecniche - sismiche delle aree a comportamento equivalente in occasione di sollecitazioni sismiche, è stata definita in base alle prospezioni geotecniche acquisite e geofisiche direttamente effettuate.

La discretizzazione delle verticali litotecniche, redatta in conformità alle simbologie e criteri degli standard di MS versione del 06/2012, è stata eseguita in funzione delle caratteristiche litologiche e geotecniche che prevalentemente influenzano gli effetti dello scuotimento sismico in superficie, relativamente ai primi 20 – 30 m del sottosuolo.

In riferimento a quanto esposto sono state quindi individuate le sequenze delle zone stabili nelle quali gli effetti sono correlati ad amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche: zone 1 – 2 e le zone suscettibili di instabilità.

In queste ultime sono state distinte le successioni nelle quali sono presenti, nei primi 5 - 10 /15 m del sottosuolo, orizzonti sabbiosi moderatamente addensati (qcl 20/30 kgf/cm²) e con $V_s < 200$ m/sec (Andrus e Stokoe, 2000) con spessori compresi tra 2 e 4/5 m, soggetti a potenziale suscettività alla liquefazione.

Nelle condizioni in cui nelle successioni litologiche sono presenti sequenze di strati sabbioso limosi – limoso sabbiosi, ad assetto prevalentemente lentiforme con spessori inferiori a 1.0, e $V_s < 150/170$ m/sec nei primi 10 m pc, si è considerato che gli effetti siano correlabili ad addensamenti differenziati e/o a potenziali ad addensamenti per le liquefazione di sottili strati sabbioso limosi, ai quali conseguono cedimenti differenziali.

Le successioni prevalentemente argilloso limose e limoso argillose contraddistinte da valori di resistenza alla punta al penetrometro statico prevalentemente corrispondenti a $q_c < 7$ kgf/cm² e con valori di velocità di

propagazione delle onde di taglio e nei primi 6 ÷ 8 m del sottosuolo equivalenti a $V_s < 130$ m/sec, rappresentano aree nelle quali sono attesi cedimenti differenziali.

Condizioni nelle quali si sono riscontrate presenza di sequenze prevalentemente sabbioso limose – sabbie poco addensate ($q_c < 8 \div 10$ kgf/cmq) con intercalate alternanze limose – limoso argillose poco consistenti ($q_c < 7$ kgf/cmq) e $V_s < 150/200$ m/sec, gli effetti conseguenti allo scuotimento sismico sono correlabili a potenziale suscettività alla liquefazione e cedimenti differenziali.

Aree Suscettibili di Effetti Locali e di instabilità

La “Carta delle aree suscettibili di effetti locali: MOPS”, elaborato di primo livello di approfondimento, classifica le porzioni di territorio urbanizzato o suscettibili di trasformazione urbanistiche, in conformità alle categorie previste nell'allegato C della D.G.R. 1302/2012, che prevedono la suddivisione in:

Zone stabili suscettibili di amplificazione locali

Zone suscettibili di instabilità

Ad esse sono riconducibili le caratteristiche di seguito descritte:

- **Zone stabili suscettibili di amplificazione locali:** appartengono a tale categoria tutte le aree con caratteristiche stratigrafiche tali da indurre effetti locali, zone 1 – 2 – 3 di legenda, secondo quanto previsto dai testi di riferimento indicati in premessa, in particolare dall'Allegato 1 della D.A.L. 112/2007.
- **Zone suscettibili di instabilità:** appartengono a tale categoria tutte le aree nelle quali le caratteristiche litostratigrafiche evidenziano
 - la prevalente presenza di alternanze di strati sabbiosi – sabbioso limosi nei primi 5 ÷ 10 ÷ 15 m del sottosuolo, che presentano spessori superiori tra 2 ÷ 4/5 m e maggiori di 5 m, potenzialmente suscettibili a rischio di liquefazione, ZA LQ1 di legenda;
 - le zone a sequenze prevalentemente limose – limoso argilloso sabbiose che contengono corpi lentiformi sabbioso limosi con spessori inferiori ad 1.0 m, moderatamente addensati, suscettibili a cedimenti differenziali;
 - le successioni argilloso limose – limoso argillose poco consistenti ($q_c < 7$ kgf/cmq) nei primi 5 ÷ 7 m del sottosuolo e con velocità di propagazione delle $V_s < 160 \div 180$ m/sec, nei primi 12 ÷ 15 m dal piano campagna, suscettibili a cedimenti differenziali;

- le sequenze prevalentemente sabbioso limose poco addensate ($q_c < 10$ kgf/cmq) con intercalati strati limoso argillosi poco consistenti ($q_c < 7$ kgf/cmq), nei primi 12 ÷ 14 m del sottosuolo e con $V_s < 160$ m/sec soggette a potenziale suscettività alla liquefazione e cedimenti differenziali.

Le delimitazioni delle zone e relative colonne stratigrafiche, esposte nella legenda della tav. 1.6, si sono così articolate:

ZONA 1: stabile di amplificazioni locali				
	Litologia	Descrizione litologica	Grado di consistenza	Vs = m/sec
0	CL ML	Argille limose limi argillosi	Moderatamente consistente	24
2				160-170 m/sec
4	SM	Argille limose	Moderatamente consistente	24
6		Sabbie limose	Poco addensato	13
6	CL	Argille limose	Moderatamente consistente	160-220 m/sec
8				25
8	SM	Sabbie limose	Poco consistente	13
10			Poco addensato	24
10	ML	Limi argillosi	Moderatamente consistente	140-180 m/sec
12				SM
14	ML	Limi - limi argillosi	Moderatamente consistente	24
16				SM
18	ML	Limi argillosi - argille limose	Moderatamente consistente	13
20				24
22	CL	Argille limose	Moderatamente consistente	200-300 m/sec
24				SM
26	ML	Limi - limi argillosi (fenti)	Moderatamente consistente	24
28				300-350 m/sec
30	SP	Sabbie poco assortite	Moderatamente addensato	12
32				23
34	CL SP	Argille limose Sabbie poco assortite	Consistente moderatamente addensato	12
36				

ZONA 1 – Aree stabili con presenza di sequenze limose – limoso argillose – limoso sabbioso argillose, moderatamente consistenti (ML/CL - 24), contenenti corpi sottili lentiformi sabbioso limosi con spessori inferiori ad 1 m moderatamente addensati (SM - 12);

effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche;

studi richiesti: valutazione amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche;

microzonazione sismica: approfondimenti di II° livello.

Z2/ZA _{LQ1} : suscettibile di instabilità per liquefazione				
	Litologia	Descrizione litologica	Grado di consistenza	Vs = m/sec
0	ML	Limi - limi argillosi	Moderatamente consistente	23
2	SM	Sabbie limose	Moderatamente addensato	12
4	SM ML	Sabbie limose	Moderatamente addensato	12
6	ML	Limi - limi argillosi	Moderatamente consistente	25
8	ML CL	Limi - limi argillosi Argille limose	Poco consistente	25
10	SM ML	Sabbie limose - sabbie	Moderatamente addensato	12
12	ML	Limi - limi argillosi	Poco consistente	25
14	CL ML	Argille limose Limi argillosi	Moderatamente consistente	24
16	SM ML	Sabbie limose	Poco addensato	13
18	ML	Limi - limi argillosi	Poco consistente	25
20	ML SM	Sabbie - sabbie limose	Poco addensato	13
22	CL SM	Argille limose	Poco consistente	25
24	SM ML	Sabbie limose	Poco addensato	13
26	SM ML	Sabbie limose	Moderatamente addensato	12
28	ML	Limi - limi argillosi	Poco consistente	25
30	CL	Argille limose	Moderatamente consistente	24
32	SM	Sabbie limose	Moderatamente addensato	12
34	SP	Sabbie poco assortite - sabbie limose	Moderatamente addensato	12
36	CL	Argille Argille limose	Moderatamente consistente	24

ZONA 2/ZA_{LQ1} – Aree potenzialmente instabili con presenza di depositi di canale fluviale prevalentemente sabbiosi e sabbioso limosi, in strati con spessori tra 2 e 4/5 m e > 5m, moderatamente addensati (Sm - 12) con intercalate alternanze limose – limoso argillose moderatamente consistenti (ML - 24), con Vs < 180 m/sec nei primi 5 m del sottosuolo;
effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche, potenziale liquefazione;
studi richiesti: valutazione amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche, valutazione della suscettività alla liquefazione;
microzonazione sismica: approfondimenti di III° livello per la stima della suscettività alla liquefazione.

ZONA 3: suscettibile di iamplicazioni locali				
Litologia	Descrizione litologica	Grado di consistenza	Vs = m/sec	
EH	Argille - argille limose	Moderatamente consistente	24	130-170 m/sec
	Sabbie limose	Poco addensato	24 13	
CL	Argille limose	Moderatamente consistente	24	120-150 m/sec
ML	Limi argillosi	Moderatamente consistente	24	
SM	Sabbie - sabbie medie	poco addensato	13	
CL	Argille limose	Moderatamente consistente	26	200 m/sec
EH	Argille - argille limose	Moderatamente consistente	24	
	CL	Argille - argille limose	Moderatamente consistente	
SM	Limi argillosi	Moderatamente consistente	24	
ML	Sabbie limose	Poco addensato	13	
EH	Argille - argille limose	Poco consistente	25	200-250 m/sec
SM	Sabbie limose	Poco addensato	13	
SM	Sabbie limose - sabbie	Poco addensato	13	
CL	Argille limose	Moderatamente consistente	24	
SM	Sabbie limose	Poco addensato	13	200-250 m/sec
CL	Argille limose	Moderatamente consistente	24	

ZONA 3: Aree stabili con presenza di sequenze prevalentemente argilloso limose - argillose, moderatamente consistenti (CL - 24), con intercalati subordinati corpi lentiformi limoso argillosi – sabbiosi limosi di modesto spessore moderatamente consistenti (ML - 24) – poco addensati;

effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche;

studi richiesti: valutazione amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche;

microzonazione sismica: approfondimenti di II° livello.

ZONA b: suscettibile di instabilità per cedimenti differenziali				
	Litologia	Descrizione litologica	Grado di consistenza	Vs = m/sec
0	ML	Limi argillosi - limi	Consistente	23
2	SM	Argille limose	Poco consistente	25
4	CL	Sabbie limose	Moderatamente addensato	12
4	SM	Sabbie limose	Poco addensato	13
6	SM	Limi - limi argillosi	Poco consistente	25
6	ML	Limi - limi argillosi	Poco consistente	25
8	ML	Limi argillosi - limi	Moderatamente consistente	24
8	SM	Limi - sabbie limose	Moderatamente addensato	13
10	ML	Limi - sabbie limose	Moderatamente addensato	13
12	SM	Limi - sabbie limose	Moderatamente addensato	13
14	ML	Limi - limi argillosi	Moderatamente consistente	24
14	CL	Argille limose	Moderatamente consistente	24
16	SM	Sabbie limose	Moderatamente addensato	12
18	SM	Limi - limi argillosi	Moderatamente consistente	24
20	ML	Sabbie limose	Addensato	11
22	SM	Sabbie limose	Moderatamente addensato	12
24	CL	Argille limose	Moderatamente consistente	24
26	SP	Sabbie poco assortite	Addensato	11
28	ML	Limi - limi argillosi	Moderatamente consistente	24
28	SM	Sabbie limose	Moderatamente addensato	12
30	CL	Argille limose	Moderatamente addensato	12
30	SM	Sabbie limose	Moderatamente consistente	24
32	SP	Sabbie poco assortite	Addensato	11
34	CL	Argille limose	Consistente	23

ZONA b – aree potenzialmente instabili con presenza di depositi di piana alluvionale prevalentemente limosi – limoso argilloso sabbiosi, poco consistenti (CL -/ML - 25) con intercalati corpi lentiformi sabbioso limosi di modesto spessore: <1m, da moderatamente addensati a poco addensati (SM – 13/12) con Vs < 180 m/sec nei primi 13 m del sottosuolo;
effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche, cedimenti differenziali;
studi richiesti: valutazione amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche, stima dei cedimenti differenziali;
microzonazione sismica: approfondimenti di III° livello per stima dei cedimenti differenziali.

ZONA b1: suscettibile di instabilità per cedimenti differenziali				
	Litologia	Descrizione litologica	Grado di consistenza	Vs = m/sec
0	ML	Limi argillosi	Moderatamente consistente	24
2	CL	Argille limose	Poco consistente	
4	SM	Sabbie limose	Moderatamente addensato	12
6	ML	Limi argillosi - limi	Poco consistente	
8	SM	Sabbie limose	Poco addensato	13
10	CL	Argille limose	Poco consistente	
12				25
14	EH	Argille - argille limose	Moderatamente consistente	
16	SM	Sabbie limose	Poco addensato	13
18	ML	Limi argillosi	Poco consistente	
20				25
22	CL	Argille limose	Poco consistente	
24	ML	Limi - limi argillosi	Moderatamente consistente	24
26	SM	Sabbie limose	Poco addensato	
28	CL	Argille limose	Moderatamente consistente	13
30	SM	Sabbie limose	Poco addensato	
32	SM	Sabbie limose	Poco addensato	13
34	SP	Sabbie poco assortite	Moderatamente addensato	
36	CL	Argille limose	Moderatamente consistente	25
38				

ZONA b1: Aree potenzialmente instabili con presenza di depositi argilloso limosi e limoso argillosi poco consistenti (CL/ML - 25) con intercalati subordinati corpi lentiformi sabbioso limosi - limoso sabbiosi con modesto spessore: < 0.6 m, da moderatamente a poco addensati (SM - 12/13) nei primi 10 ÷ 15 m dal piano campagna, Vs < 160 m/sec nei primi 15 m del sottosuolo.

effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche, potenziali cedimenti differenziali per cedimenti di terreni poco consistenti e/o addensamento per liquefazione di strati sabbioso limosi sottili;

studi richiesti: valutazione amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche, stima dei cedimenti differenziali;

microzonazione sismica: approfondimenti di III° livello per stima dei cedimenti differenziali.

ZONA C: suscettibile di instabilità per potenziale liquefazione e cedimenti differenziali				
Litologia	Descrizione litologica	Grado di consistenza		Vs = m/sec
ML	Limi argillosi - limi	Moderatamente consistente	24	140-160 m/sec
		Poco addensato	13	
SM	Sabbie limose	Poco consistente	25	130-160 m/sec
ML	Limi argillosi - limi	Poco addensato	13	
SM	Sabbie limose	Poco consistente	25	160-230 m/sec
SM	Sabbie limose	Poco addensato	13	
SM	Sabbie limose	Poco consistente	13	230-300 m/sec
ML	Limi argillosi	Poco addensato	25	
CL	Argille limose	Poco consistente	25	160-230 m/sec
SM	Sabbie limose	Poco addensato	13	
ML	Limi argillosi - limi	Moderatamente consistente	24	160-230 m/sec
SM	Sabbie limose	Poco addensato	13	
CL	Argille limose	Moderatamente consistente	24	160-230 m/sec
SM	Sabbie limose	Poco addensato	13	
SM	Sabbie limose	Moderatamente addensato	12	160-230 m/sec
CL	Argille limose	Moderatamente consistente	24	
ML	Limi argillosi	Moderatamente addensato	12	230-300 m/sec
SM	Sabbie limose	Poco addensato	13	
CL	Argille limose	Moderatamente consistente	24	230-300 m/sec
SM	Sabbie limose	Addensato	11	
SM	Sabbie limose	Poco addensato	13	230-300 m/sec
SP	Sabbie poco assortite	Addensato	11	
CL	Argille limose	Moderatamente consistente	24	230-300 m/sec

ZONA c – aree suscettibili di sovrapposizione di instabilità differenti: aree potenzialmente instabili con presenza di depositi di canale fluviale e/o piana alluvionale prevalentemente sabbioso limosi sabbiosi poco addensati (SM - 13) con intercalati corpi lentiformi limoso argillosi – limosi, poco consistenti, (ML - 25) con Vs < 170 m/sec nei primi 14 m pc;

effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche, potenziali cedimenti differenziali di terreni poco consistenti e densificazione/liquefazione di strati sabbioso limosi;

studi richiesti: valutazione amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche, valutazione suscettività alla liquefazione, stima dei cedimenti differenziali;

microzonazione sismica: approfondimenti di III° livello per stima dei cedimenti e valutazione della suscettività alla liquefazione.

Il terzo livello di approfondimento è comunque richiesto nelle aree in cui è prevista la realizzazione di opere di rilevante interesse pubblico come previsto dalla DGR 1661/2009: *“Elenco categorie di edifici di interesse strategico e opere infrastrutturali la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile ed elenco categorie di edifici e opere infrastrutturali che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso..”*

Il terzo livello di approfondimento è inoltre richiesto nelle aree in cui sono previsti manufatti con periodo di vibrazione principale $T > 1.0$ sec e per zone con interventi in sotterraneo che richiedano scavi che si approfondiscano nel sottosuolo per altezze maggiori di

$$H > 2 \text{ m}$$

Per queste ultime dovranno essere sviluppate le verifiche di stabilità dei fronti di scavo con metodo pseudostatico o dinamico.

SECONDO E TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

Il secondo e terzo livello di approfondimento prevedono la suddivisione in dettaglio del territorio delle aree oggetto di microzonazione sismica individuate dalla carta MOPS, in funzione di un indice quantitativo che definisce, in base alle condizioni stratigrafiche, l'amplificazione sismica attesa ($T_r = 475$ anni; $\zeta = 5\%$).

In rapporto al modello spaziale della successione dei depositi pleistocenici, contraddistinto da spessori modesti rispetto alle distanze chilometriche secondo le quali si sviluppano le deformazioni correlate agli assetti tettonici, i primi 300 ÷ 400 m del sottosuolo sono assimilabili ad un modello 1D.

Contestualmente alla classificazione del territorio con detta analisi sismica, sviluppata con codice di calcolo *Proshake*, le elaborazioni definiscono i tipi degli approfondimenti di terzo livello, integrativi, da effettuarsi, specificando le disamine da sviluppare.

Carta delle nuove indagini

Detto elaborato visualizza esclusivamente l'ubicazione delle nuove verticali di indagine geofisica: Re.Mi - MASW/Re.Mi. - HVSR, effettuate per la microzonazione delle aree urbanizzate ed urbanizzabili.

La simbologia e caratteristiche degli elementi riportati in carta, relative ai punti di indagine sono conformi allo standard di rappresentazione e archiviazione informatica previste nell'allegato della Commissione Tecnica per il Monitoraggio degli Studi di Microzonazione Sismica (Art. 5, comma 7 dell'OPCM 13/11/2010, n°3907) versione 2.0 del 11/06/2012.

La carta ubicazione nuove indagini visualizza le verticali di indagine effettuate nel territorio per l'individuazione dei fattori di amplificazione e caratteristiche geotecniche che competono alle varie aree esaminate.

Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)

La carta delle velocità delle onde di taglio (Vs), visualizza i parametri delle aree oggetto di microzonazione ed evidenzia i valori di velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m del sottosuolo, soggiacenti i primi 1.5 m pc, ($V_{s_{30}}$ m/sec) rilevati dalle indagini effettuate: Re.Mi - MASW/Re.Mi.

Le successioni litostratigrafiche nel sopracitato spessore sono prevalentemente costituite da depositi limoso argillosi – argilloso limosi di piana esondabile da moderatamente a poco consistenti, ai quali si sostituiscono lateralmente, in

percentuale relativa rappresentata minore, corpi sabbioso lentiformi di alveo fluviale estinto, da moderatamente a poco addensati.

Dette sequenze sono generalmente caratterizzate da $V_s < 180$ m/sec nei primi 10/15 del sottosuolo nelle aree in cui predominano successioni litotecniche poco consistenti e/o sabbiose – sabbie limose poco addensate; le unità litologiche che seguono sino a $-25 \div -30$ m pc presentano prevalentemente $V_s = 190 / 200 \div 250$ m/sec; gli orizzonti che soggiacciono $-25 \div -30$ generalmente sono caratterizzati da $V_s = 230/250 \div 300/350$ m/sec.

Le acquisizioni eseguite hanno evidenziato generalmente valori di $V_{s_{30}}$ contenuti in un modesto campo di variabilità, oscillanti tra massimi di $230 \div 250$ m/sec e minimi di $172 \div 180$ m/sec.

I valori maggiori si riscontrano nella zona orientale centrale del territorio comunale, tra via Guercinesca – Cavo Magnanimo / Strada Due Torrioni – Sp. San Matteo della Decima e confine est, contraddistinte da valori che generalmente sono compresi tra $V_{s_{30}} 230 \div 250$ m/s. Zone con valori mediamente compresi tra 200 e 230 m/sec caratterizzano il capoluogo tra il confine sud e Fondo Risaia – il Masello, analoghi valori presentano le aree nord occidentali tra il F. Panaro – la Selvatica Scolo Tubario – via Guerrine – confine nord.

Le aree con i valori di V_s relativi maggiori indicano la tendenza ad assecondare le fasce dei lati di conoide distale nel settore orientale e parte di quello meridionale o della presenza del corpo alluvionale del F. Panaro nella zona occidentale.

Nella rimanente parte del territorio, i valori sono generalmente compresi tra $V_{s_{30}} = 190 \div 200$ m/s ed assecondano la distribuzione dei depositi di piana alluvionale.

I parametri minimi con $V_s < 180$ m/sec, si rinvengono in due areali di limitata estensione nella zona meridionale orientale del capoluogo a nord di La Zirona e nella zona circa compresa tra via Veneto – Scolo Polesine – Le Casette – via F.lli Cervi – Campo sportivo.

Carte dei fattori di amplificazione – microzonazione sismica

La microzonazione sismica di terzo livello di approfondimento individua aree a comportamento sismico equivalente attribuendo alle stesse indici quantitativi che definiscono in base alle condizioni stratigrafiche e topografiche l'amplificazione sismica attesa ($Tr = 475$ anni; $\zeta = 5\%$).

Ad ognuna delle microzone individuate sono assegnati i valori dei Fattori di Amplificazione (F.A.) determinati mediante codice di calcolo 1D *Proshake*.

In funzione di tali elaborazioni sono stati visualizzati nelle tavole i valori dei fattori di amplificazione F_a , F_v , F_A . PGA. FA.IS. riferiti agli intervalli $0,1 \div 0,5$ sec,

0.1 – 0.3 sec, 0.3 – 0.5 sec, 0.5 – 1.0 sec, 1.0 – 2.0 sec, attinenti alle microzone individuate.

I campi dei valori sopra indicati, determinati in rapporto ai range di maggior amplificazione evidenziati dalla sovrapposizione di insieme degli spettri calcolati, sono stati definiti in riferimento alle tipologie edificatorie esistenti prevalentemente presenti nel territorio comunale ed a quelle che in funzione delle indicazioni delle normative urbanistiche sono previste nella percentuale maggiore.

All'intervallo $0.1 < T < 0.3$ sec sono attribuibili la prevalente percentuale dei fabbricati ad uso civile in muratura sino a 4 – 5 piani di altezza e le costruzioni a telaio in C.A. sino a 3-4 piani di altezza.

All'intervallo $0.3 < T < 0.5$ sec sono correlabili la maggior parte delle costruzioni ad uso produttivo manifatturiero, commerciale, industriale con altezze sottotrave inferiori a 7 m ed edifici ad uso civile a telaio in C.A. sino a 5 – 6 piani fuori terra.

All'intervallo $0.5 < T < 1.0 < T < 1.5$ sec possono corrispondere strutture a telaio in C.A. o Fe con elevazioni maggiori di 6 ÷ 7 piani, magazzini verticali, manufatti alti e stretti quali silos, torri in genere, ecc.

Pericolosità sismica – Definizione del moto di riferimento

I valori di PGA per un periodo di ritorno di 475 anni riportata nelle mappe di pericolosità sismica di INGV (Meletti C., Montaldo V., 2007. *Stime di pericolosità sismica per diverse probabilità di superamento in 50 anni: valori di ag. Progetto DPC-INGV S1, Deliverable D2*, <http://esse1.mi.ingv.it/d2.html>) variano nell'intervallo $0,157 \div 0,162g$. Tali dati sono anche stati utilizzati anche dalla Regione Emilia Romagna per la redazione della Delibera dell'Assemblea Legislativa n° 112 - 2007 “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica” dove viene indicata una PGA corrispondente a $0,160 g$ per l'intero territorio comunale.

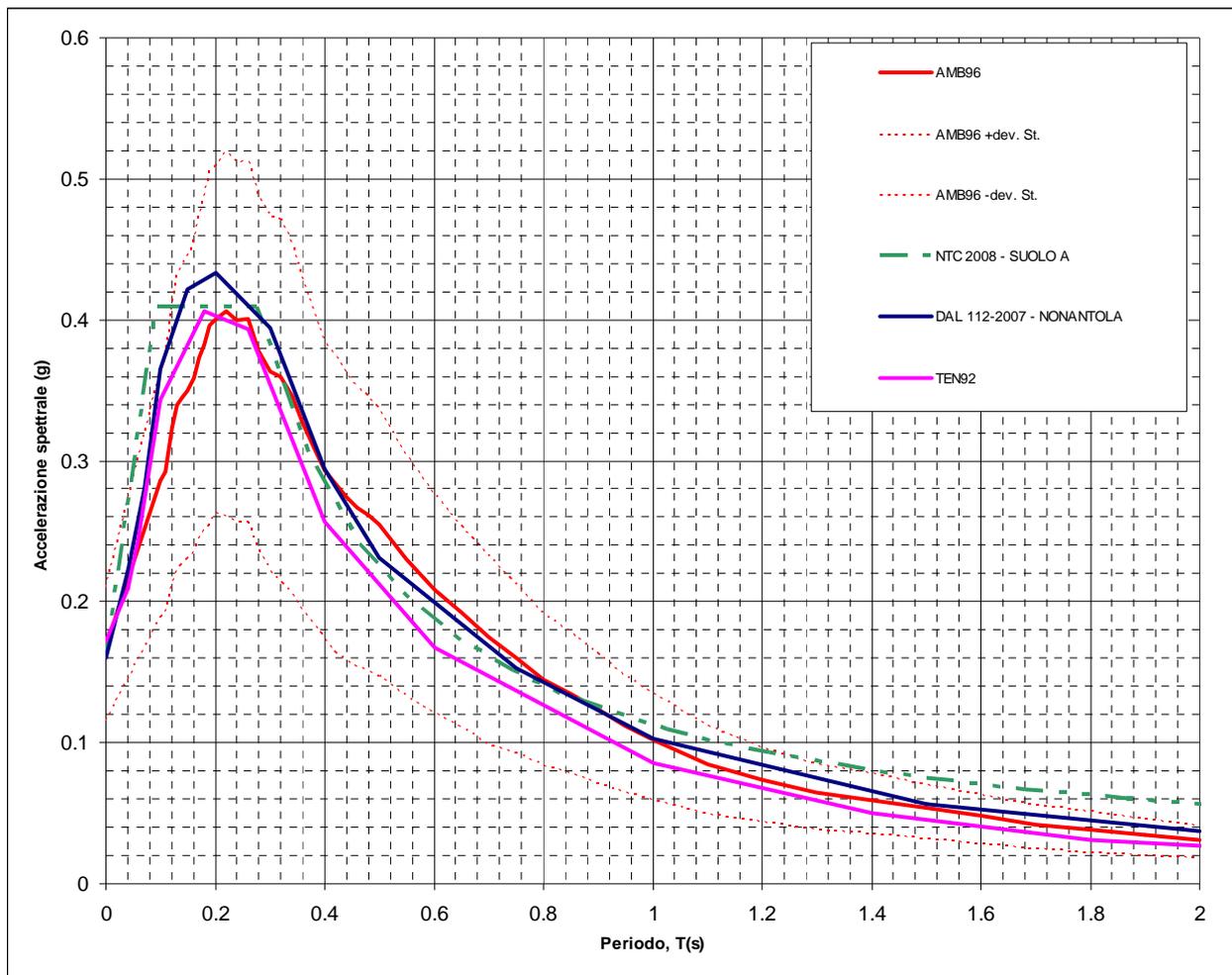
I valori di PGA riportati nelle mappe di scuotimento INGV (<http://shakemap.rm.ing.it/shake>) relative agli eventi sismici del 20 e 29 maggio 2012, nella parte di territorio a cui appartiene Nonantola sono compresi tra $0.0515 \div 0.1187 g$; sono stati raggiunti $0.1682 g$ nell'adiacente Comune di Crevalcore.

I valori raggiunti il 3 giugno 2012 sono inferiori a $0.00515 g$.

La PGA per il periodo di ritorno sopra indicato calcolata da *Slejko et al.* (1998)³ varia nell'intervallo $0,16-0,20g$.

È stata inoltre determinata la PGA per Nonantola considerando, la magnitudo attesa per la zona sismogenetica 912, con la relazione di *Ambraseys et al.* (1996)⁴ e la relazione di *Tento et al.* (1992)⁵, ottenendo rispettivamente $0,168$ e $0,172g$.

Gli spettri di risposta ottenuti sono visualizzati nella figura di seguito esposta.



Spettri di risposta a probabilità uniforme, pari al 10% di almeno una eccedenza in 50 anni per Nonantola con le relazioni di attenuazione proposte da Ambraseys (1996 – AMB96) e di Tenta (1992 – TEN92). Smorzamento pari al 5%. Con linea blu viene inoltre riportato il medesimo spettro costruito con i parametri riportati nella delibera dell'assemblea legislativa ER – DAL112-2007, mentre con linea verde tratteggiata è riportato lo spettro elastico di risposta per suolo A determinato secondo i dettati delle NTC 2008.

Gli spettri riportati mostrano una generale buona congruenza.

Lo spettro DAL112 presenta valori tendenzialmente superiori a quelli delle altre relazioni per periodo spettrale corrispondente a 0,2 s, mentre per periodi superiori evidenzia buona congruenza con lo spettro AMB96. Lo spettro TEN92 presenta valori leggermente inferiori a quelli proposti dalla DAL 112-2007 per tutti i periodi.

Ai fini delle successive determinazioni è stato considerato lo spettro di risposta AMB96 definito mediante la relazione di attenuazione di Ambraseys (1996).

³ Slejko, D., Peruzza, L., e Rebez, A. (1998). Seismic hazard maps of Italy. *Annali di Geofisica*, 41(2):183-214.

⁴ Ambraseys, N., Simpson, K., e Bommer, J. (1996). Prediction of Horizontal Response Spectra in Europe. *Journ. Earthq. Eng. & Str. Dyn.*, 25(4):371-400

⁵ Tenta, A., Franceschina, L., e Marcellini, A. (1992). Expected Ground Motion Evaluation for Italian Sites. In *Proceedings of the Tenth World Conference on Earthquake Engineering*, pagg. 489-494.

Definizione degli input sismici

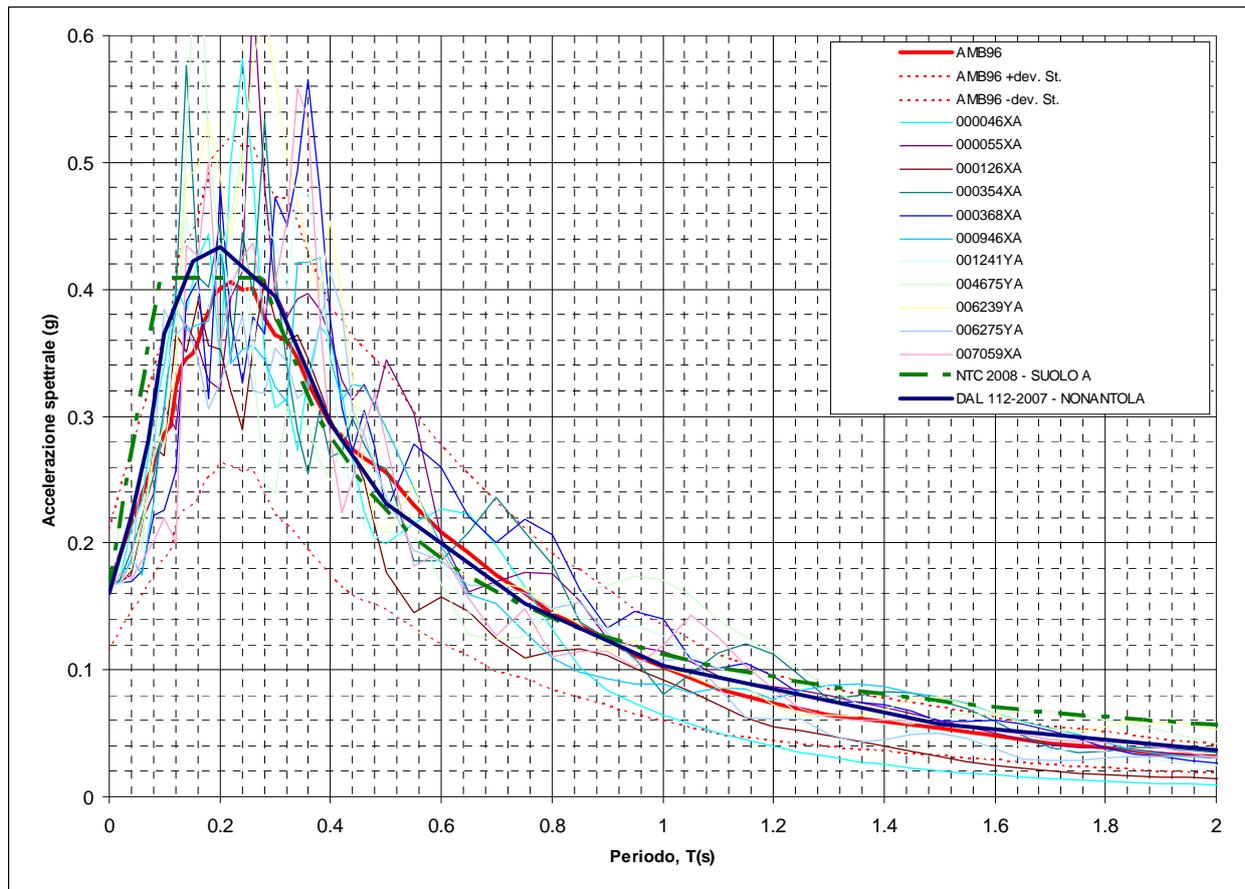
L'analisi della pericolosità sismica del territorio comunale è stata sviluppata in base al modello di studio – elaborazione per la definizione della pericolosità sismica a scala locale proposto da *Marcellini et alii (1998)*⁶.

Tale schema prevede:

- *Caratterizzazione della pericolosità sismica a scala locale*: attuata mediante la definizione dello scuotimento al bedrock con almeno il 10% di probabilità di una eccedenza in 50 anni, mediante metodologia di tipo probabilistico.
- *Scelta dei moti di riferimento*: attraverso la selezione di accelerogrammi reali da banche dati attraverso la comparazione degli spettri di risposta con quello determinato con metodo probabilistico.
- *Analisi delle amplificazioni a scala locale* mediante simulazioni di propagazione verticale delle onde SH.
- *Zonazione finale* con determinazione di aree a caratteristiche omogenee.

La definizione degli input sismici utilizzati per le simulazioni di scuotimento in superficie è stata effettuata confrontando lo spettro di risposta degli accelerogrammi selezionati opportunamente scalati, con quella dello spettro a probabilità uniforme determinato secondo le indicazioni della DAL 112-2007, avendo cura di ottenere una congruenza rientrante nella forma normalizzata \pm la deviazione standard. Tale procedura ha portato alla selezione di 11 accelerogrammi di input, tre dei quali presenti nella banca dati approntata dalla Regione Emilia Romagna, disponibili al sito internet <http://www.regione.emilia-romagna.it/wcm/geologia/canali/sismica.htm> (accelerogrammi 000046xa, 000126xa, 000354xa), due ottenuti da selezione nel database internazionale “European Strong-Motion Database” <http://www.isesd.hi.is/> (accelerogrammi 000946xa, 001241ya) e sei derivati dalla definizione di accelerogrammi di riferimento per l'argine destro del Po redatti da *A.Marcellini, D.Albarello, D.Gerosa* (accelerogrammi 000055xa, 000368xa, 004675ya, 006239ya, 006275ya, 007059xa) messi a disposizione dal *Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna*, per le analisi di microzonazione dei comuni di Nonantola, Campogalliano, Correggio, San Martino in Rio, Rio Saliceto.

⁶ Marcellini, A., Daminelli, R., Pagani, M., Riva, F., Tento, A., Crespellani, T., Madiari, C., Vannucchi, G., Frassinetti, G., Martelli, L., Palumbo, A., e Viel, G. (1998). Seismic Microzonation of some Municipalities of the Rubicone area (Emilia – Romagna Region). In Proceedings of the Eleventh European Conference on Earthquake Engineering, Invited Lectures Volume, pagg. 339-350. Balkema.



Spettro di risposta a probabilità uniforme (Periodo di ritorno di 474 anni, smorzamento=5%) costruito con i parametri esposti nella delibera dell'assemblea legislativa ER – DAL112-2007, spettro elastico di risposta per suolo A determinato secondo i dettati delle NTC 2008 e spettri di risposta degli accelerogrammi selezionati normalizzati.

Calcolo degli effetti di sito

Per il calcolo dello scuotimento in superficie è stato utilizzato un modello numerico monodimensionale che simula la propagazione verticale di onde SH attraverso strati piano paralleli omogenei ed isotropi a partire da uno strato di riferimento rigido (bedrock sismico). Nell'analisi è stato considerato il comportamento di tipo non lineare dei terreni con il livello di deformazione, desumendo i parametri di decadimento da dati bibliografici per litotipi simili /equivalenti a quelli dei terreni che formano il sottosuolo di Nonantola.

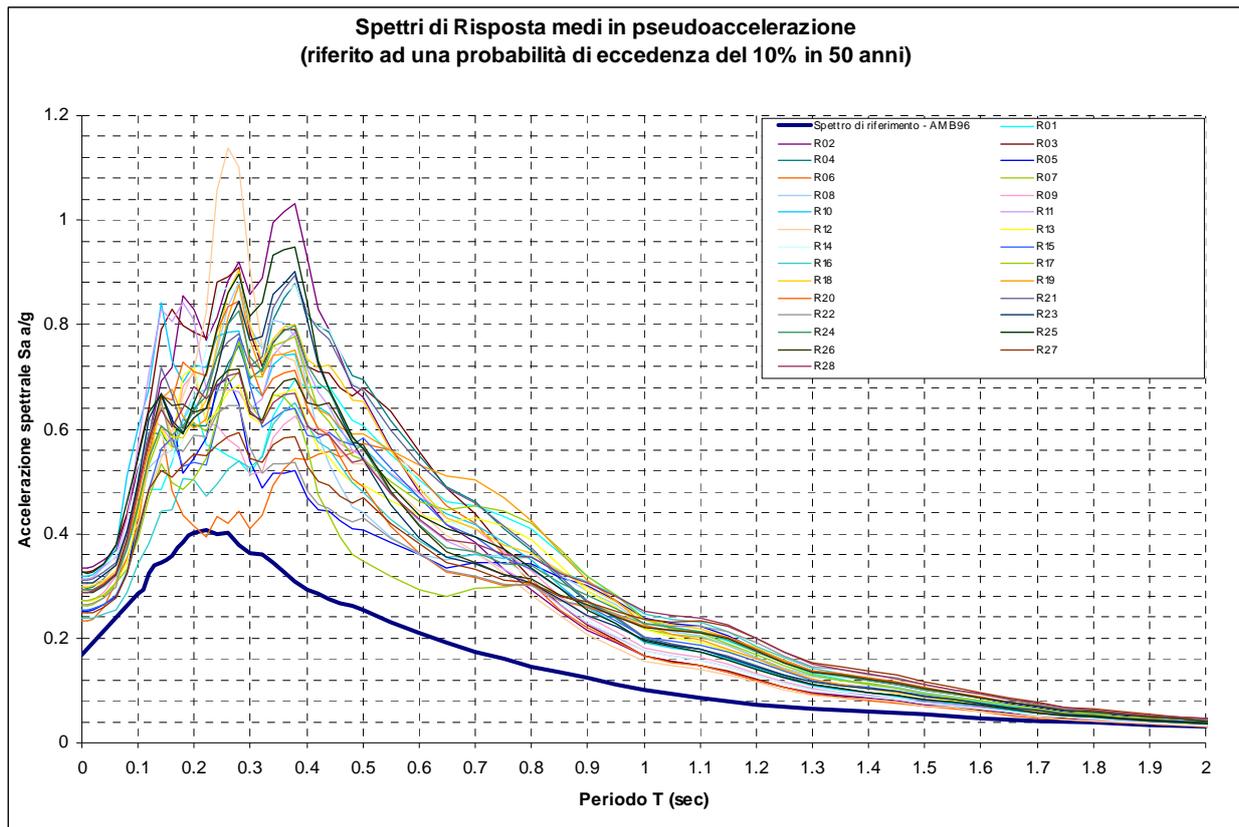
In funzione del modello spaziale litostratigrafico dei primi 300 ÷ 400 m del sottosuolo, per le simulazioni di scuotimento in superficie, è stato utilizzato il codice di calcolo 1D *Proshake* (EduPro Civil System, Inc) basato quasi completamente sul modello di calcolo di *Shake91* (Idriss e Sun, 1992)⁷, con modifica dell'interfaccia di immissione dati per un più facile utilizzo.

⁷ Idriss, M. and Sun, J.I. (1992). "SHAKE91: A computer program for conducting equivalent linear seismic response analyses of horizontally layered soil deposits", *User's Guide*, University of California, Davis, California, 13 pp.

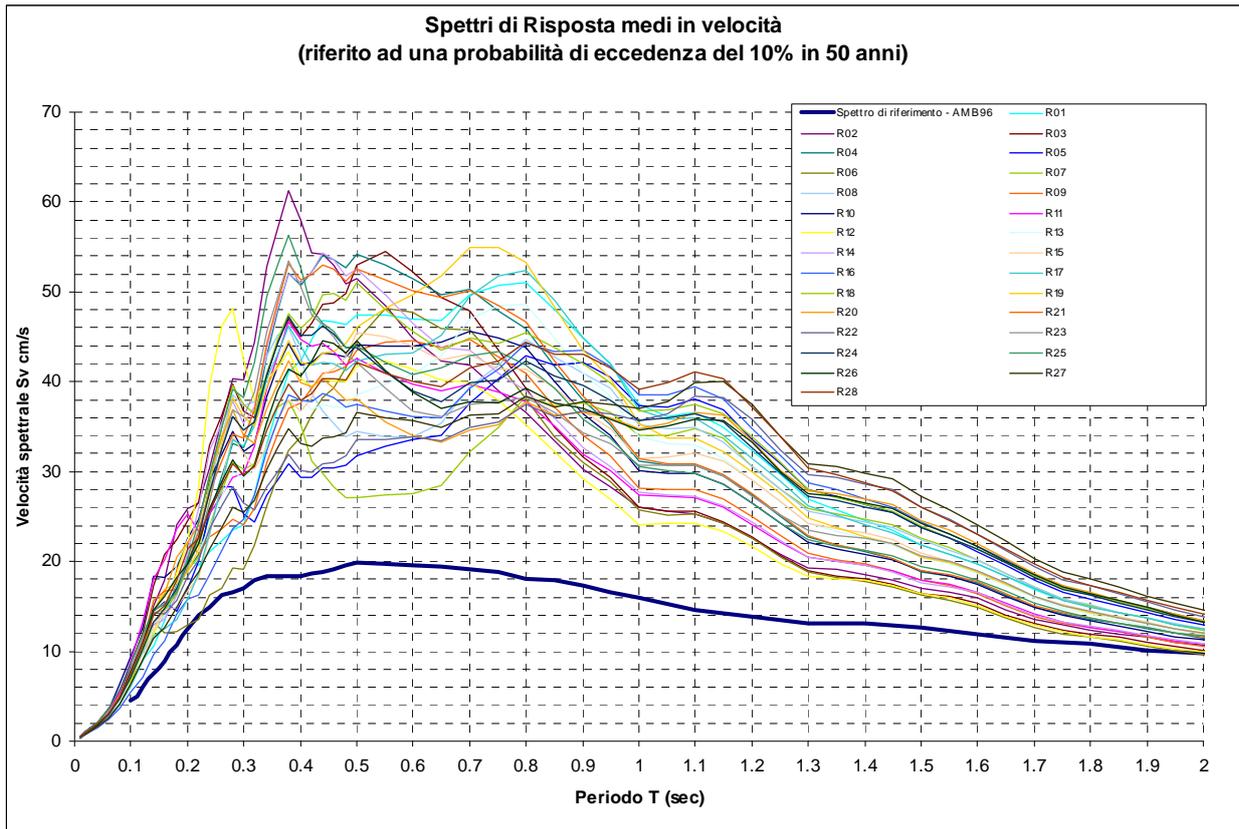
Sulla base delle risultanze delle indagini geofisiche (Re.Mi/MASW - HVSR), sono stati discretizzati i profili delle onde S, estrapolando i valori e le profondità sino al raggiungimento del bedrock sismico con V_s corrispondente a 700 m/sec.

Per ogni verticale sismostratigrafica, è stato calcolato lo spettro di risposta in superficie derivante dalla media delle varie simulazioni applicando i moti di riferimento al tetto del bedrock sismico ($V_s=700$ m/sec).

I risultati ottenuti, espressi in forma grafica, sono di seguito visualizzati:



Spettri di risposta in superficie definiti mediando i risultati degli spettri ottenuti applicando gli scuotimenti selezionati alle verticali sismostratigrafiche. Tutte le simulazioni presentano i maggiori valori di accelerazione nei periodi compresi tra 0,1 e 0,5 sec. I valori di amplificazione si mantengono comunque alti sino a periodi di circa 1,2 sec.



Spettri di risposta in superficie visualizzati in termini di pseudovelocità (smorzamento 5%).

Definizione dei coefficienti di amplificazione sismica

La definizione dell’amplificazione del moto sismico tra bedrock sismico e superficie per ognuna delle zone identificate dai modelli precedentemente illustrati, è stata effettuata sia con la determinazione del rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA₀) che mediante la determinazione dell’intensità di Housner⁸ (o intensità dello spettro di risposta) SI/SI₀, definita come:

$$SI = \int_{T1}^{T2} PSV(T, \xi) dt$$

dove PSV è lo spettro di risposta di pseudo-velocità, T e ξ sono rispettivamente il periodo e lo smorzamento strutturale (considerato come convenzionalmente = 5%).

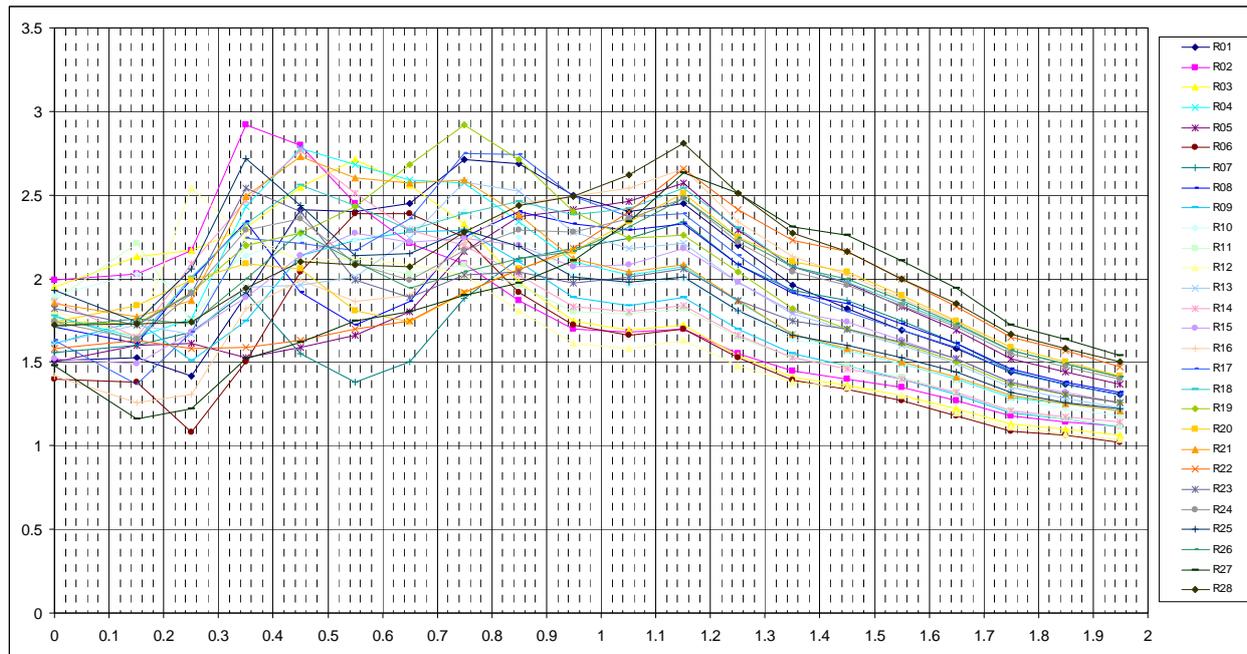
Dimensionalmente, l’intensità di Housner è uno spostamento (cm).

Il parametro risultante evidenzia la severità del moto sismico in correlazione al danno potenziale atteso per effetto dei terremoti in esame.

Gli estremi dei periodi di integrazione sono in genere funzione dei periodi strutturali della tipologia di edifici. Lo studio originale condotto da Housner, individuava il campo di definizione del fattore di amplificazione, tra T = 0,1 e 2,5 sec.

Nel contesto del presente studio, l'approccio per la definizione dei periodi di integrazione, è stato effettuato sia considerando le tipologie strutturali prevalentemente presenti nel territorio di Nonantola, che analizzando le variazioni dei fattori di amplificazione in funzione dei diversi periodi esaminati.

In prima fase è stato definito il rapporto SI/SI_0 per intervalli di periodo corrispondenti a 0,1 sec ottenendo i fattori di amplificazione visualizzati nel seguente grafico:



Fattori di amplificazione dell'intensità spettrale determinati per ogni verticale sismostratigrafica per intervalli di periodo corrispondenti a 0,1 sec.

L'analisi visiva dell'andamento dei fattori di amplificazione dell'intensità spettrale evidenzia le seguenti caratteristiche:

- I fattori di amplificazione presentano i valori massimi nell'intervallo tra $T=0,3 \div 1,1$ sec con FA mediamente corrispondente a $2 \div 2,5$.
- In tutte le simulazioni per periodi superiori a 1,1 sec è presente un generale decremento dei fattori di amplificazione
- Per periodi compresi tra 0,3 ed 1,1 sec le simulazioni presentano moderate diversità di comportamento.

Sulla base di queste considerazioni sono stati definiti i seguenti periodi per la determinazione dei valori di intensità spettrale:

0,1 \div 0,5 sec e 0,5 \div 1,0 sec, con ulteriore suddivisione nelle classi 0,1 \div 0,3 sec; 0,3 \div 0,5 sec; 1.0 \div 2.0 sec

⁸ Housner G.W., 1952; Intensity of ground motion during strong earthquakes, California Institute of Technology, August

In ottemperanza alle direttive per gli studi di microzonazione sono stati inoltre determinati i fattori di amplificazione FA ed FV secondo le metodiche contenute negli ICMS 2008 di seguito riportate:

$$FA = SA_{m,o} / SA_{m,i}$$

Fattore di amplificazione per gli effetti stratigrafici a basso periodo (determinato intorno al periodo proprio per il quale si ha il massimo della risposta in accelerazione)

$$FV = SV_{m,o} / SV_{m,i}$$

Fattore di amplificazione per gli effetti stratigrafici a periodo proprio (per il quale si ha il massimo di risposta in pseudovelocità)

essendo:

$$SA_m = \frac{1}{TA} \int_{0,5TA}^{1,5TA} SA(T) dT$$

$$SV_m = \frac{1}{TV} \int_{0,8TV}^{1,2TV} SV(T) dT$$

dove TA e TV (periodo di picco dello spettro in pseudoaccelerazione e pseudovelocità) valgono:

TA_i e TV_i per l'input

TA_o e TV_o per l'output

I risultati ottenuti sono riportati nella seguente tabella:

Verticale N°	pga (g)	FA pga	FA IS e periodi		FA IS e periodi di integrazione				FA	FV
			0,1 – 0,5	0,5 – 1,0	0,1 – 0,3	0,3 – 0,5	0,5 – 1,0	1,0 – 2,0		
R01	0,253	1.51	1.89	2.55	1.46	2.16	2.55	1.87	1.62	2.47
R02	0.335	1.99	2.57	2.08	2.12	2.86	2.08	1.41	2.16	2.78
R03	0.328	1.95	2.32	2.29	2.16	2.43	2.29	1.38	2.14	2.66
R04	0.297	1.77	2.26	2.47	1.72	2.61	2.47	1.62	1.94	2.73
R05	0.252	1.5	1.58	2.06	1.61	1.56	2.06	1.97	1.55	2.07
R06	0.234	1.4	1.55	2.15	1.18	1.78	2.15	1.35	1.24	2.33
R07	0.262	1.56	1.7	1.79	1.65	1.73	1.79	1.84	1.67	1.82
R08	0.287	1.71	2.02	2.1	1.86	2.12	2.1	1.84	1.95	2.11
R09	0.271	1.61	1.81	2.17	1.59	1.95	2.17	1.5	1.62	2.22
R10	0.319	1.9	2.11	2.24	1.97	2.2	2.24	1.59	1.82	2.28
R11	0.314	1.87	2.11	1.99	1.9	2.24	1.99	1.48	1.95	2.15
R12	0.303	1.8	1.34	1.94	2.23	2.18	1.94	1.34	2.16	2.16
R13	0.271	1.61	1.85	2.32	1.69	1.96	2.32	1.72	1.68	2.31
R14	0.312	1.86	2.35	2.18	1.93	2.62	2.18	1.48	2.02	2.67
R15	0.255	1.52	1.86	2.2	1.61	2.02	2.2	1.73	1.65	2.21
R16	0.238	1.42	1.67	2.17	1.29	1.91	2.17	2.03	1.42	2.14
R17	0.273	1.63	1.97	2.5	1.57	2.22	2.5	1.85	1.69	2.48
R18	0.299	1.78	2.23	2.39	1.88	2.45	2.39	1.98	1.97	2.5
R19	0.292	1.74	2.09	2.63	1.84	2.24	2.63	1.75	1.9	2.66
R20	0.292	1.74	2.02	1.93	1.94	2.07	1.93	1.98	1.92	1.99
R21	0.311	1.85	2.31	2.46	1.84	2.61	2.46	1.63	1.96	2.47
R22	0.265	1.58	1.61	1.91	1.6	1.61	1.91	2.09	1.46	1.83
R23	0.305	1.82	2.22	1.98	1.84	2.47	1.98	1.68	1.85	2.41
R24	0.293	1.74	2.13	2.16	1.82	2.33	2.16	1.95	1.92	2.23
R25	0.325	1.93	2.33	2.16	1.95	2.57	2.16	1.62	1.96	2.53
R26	0.287	1.71	1.99	2.07	1.74	2.14	2.07	1.96	1.78	2.19

Verticale N°	pga (g)	FA pga	FA IS e periodi		FA IS e periodi di integrazione				FA	FV
			0,1 – 0,5	0,5 – 1,0	0,1 – 0,3	0,3 – 0,5	0,5 – 1,0	1,0 – 2,0		
R27	0.249	1.48	1.63	1.99	1.45	1.74	1.99	2.18	1.48	1.86
R28	0.289	1.72	1.91	2.26	1.74	2.02	2.26	2.15	1.74	2.18

Fattori di amplificazione dell'intensità spettrale determinati per ogni verticale sismostratigrafica per i vari intervalli di periodo. Tali fattori di amplificazione sono stati determinati considerando come spettro di riferimento quello definito dalla DAL RER 112/2007.

SUSCETTIVITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

In relazione alla presenza nei primi 10/15 m del sottosuolo di strati sabbiosi – sabbioso fini e sabbioso limosi, generalmente in percentuale rappresentata inferiore rispetto alle componenti limoso argillose ed argilloso limose, saturati dalla falda idrica sotterranea, si è effettuata l'analisi di risposta dei terreni in rapporto a condizioni di sollecitazione dinamica.

In funzione delle condizioni locali le verifiche sono state effettuate per i terreni saturi escludendo da tale analisi i litotipi con contenuto in granulometria più fine di 0,005 mm superiore al 20%, poiché non liquefacibili.

La valutazione è stata eseguita in condizioni di *free field* poiché è la configurazione più sfavorevole per il rischio di liquefazione.

Accelerazione attesa nel sito

In funzione delle risultanze ottenute nell'analisi di risposta sismica locale si sono applicate accelerazioni al suolo comprese tra:

$$a_{\max}/g = 0.25 \div 0.33$$

In riferimento a detto parametro e considerando una magnitudo $M_w = 6,1$, è stata sviluppata la verifica della suscettività alla liquefazione.

Suscettività alla liquefazione

L'analisi delle condizioni di rischio per i litotipi potenzialmente liquefacibili si è eseguita mediante il metodo di *Robertson & Wride modificato (1997b)*, utilizzando il fattore di scala della magnitudo per $M_w < 7,5$ raccomandato da *Yould ed alii (2001)* che definisce la suscettività alla liquefazione in rapporto ai valori di q_c ed alla sollecitazione tangenziale ciclica.

Il coefficiente di sicurezza alla liquefazione è stato determinato mediante la relazione:

$$FSL = \frac{CRR_{7,5}}{CSR} \cdot MSF$$

dove:

FSL = coefficiente di sicurezza

$$CRR = 93 \cdot \left[\frac{(qc_{in})_{cs}}{1000} \right]^3 + 0.08$$

dove:

$(qc_{in})_{cs}$ = valore resistenza alla punta normalizzato, funzione di CF (% componenti fini) e di K, funzione di IC (indice del tipo di terreno); kPa

$$CSR = \frac{\tau_d}{\sigma'_0} = 0,65 \frac{A}{g} \frac{\sigma_0}{\sigma'_0} (1 - 0,015z)$$

dove

τ_d = tensione tangenziale ciclica; τ_e = resistenza del terreno

σ_0 = tensione verticale totale; σ'_0 = tensione verticale efficace

A/g = valore di accelerazione; z = profondità dello strato

Δn_f = coefficiente funzione del contenuto in materiali fini

CRR_{7,5} = capacità di resistenza ciclica riferita a M = 7,5

MSF = fattore di magnitudo riferito all'intensità attesa in sito

Il modello di calcolo elabora gli intervalli potenzialmente suscettibili alla liquefazione in funzione del contenuto di materiali fini, restituendo i coefficienti di sicurezza sulla verticale della prova penetrometrica.

I risultati sono esposti negli allegati certificati -“Analisi di suscettibilità alla liquefazione”, dove viene anche indicato il valore dell'indice del potenziale di liquefazione (I_L), definito come:

$$I_L = \int_0^{20} F(z)w(z)dz$$

in cui z è la profondità dal piano campagna in metri e $w(z) = 10 - 0,5z$.

Ad una data quota z il fattore $F(z) = F$ vale (Sonmez, 2003):

0	per	$F_L > 1,2$
$2 \cdot 10^6 \cdot e^{-18,427 \cdot F_L}$	per	$0,95 < F_L \leq 1,2$
$1 - F_L$	per	$F_L \leq 0,95$

dove F_L è il fattore di sicurezza alla liquefazione alla quota considerata.

In riferimento al valore di accelerazione al sito come sopra esposto, si è sviluppata l'analisi di suscettività alla liquefazione, considerando presenza della falda freatica a quote variabili tra -1 e -2,5 m dal piano campagna, come hanno evidenziato le quote dei livelli idrici rilevati e visualizzati nella carta della soggiacenza dell'acquifero.

Le elaborazioni sviluppate hanno evidenziato, nelle verticali di indagine, la presenza di strati sabbiosi – sabbioso limosi, saturati dalla falda idrica sotterranea con valori del coefficiente di sicurezza alla liquefazione inferiori a 1 e netta prevalenza prossimi a tale valore.

Detti spessori e profondità degli strati, con coefficienti di sicurezza inferiori/prossimi a 1.

In funzione di ciò è stato calcolato l'Indice del Potenziale di Liquefazione (LPI – *Iwasaki*, 1982).

La classificazione proposta da *Somnez (2003)*, per potenziali di liquefazione pari a 0 il rischio liquefazione è assente, per $0 \leq IL < 2$ il rischio è basso, mentre per $2 \leq IL < 5$ il rischio è moderato.

I valori puntuali di IL sono evidenziati, per le prove analizzate, nella carta MOPS.

I valori ottenuti hanno evidenziato in numerose verticali $IL = 0$ che non essendo soggetti a pericolosità di liquefazione non sono stati visualizzati in cartografia; per quanto riguarda i valori di $IL > 0$ la loro netta prevalenza 58% rientra nel campo $IL < 0.5$, correlabili a pericolosità di liquefazione molto bassa; in inferiore percentuale: 34% appartiene al campo $0.5 - 2$ e quindi a pericolosità di liquefazione bassa, una percentuale nettamente inferiore: 8% è contraddistinta da pericolosità moderata $IL = 2 \div 5$. Quest'ultima è generalmente circoscrive areali di ridotta estensione che sono prevalentemente localizzati nella parte centrosettentrionale orientale del tratto di paleoalveo, esteso sud nord, al quale appartengono la zona sud occidentale del capoluogo e la fascia a nord ovest dello stesso. Analogo areale di moderate dimensioni contraddistingue il settore meridionale del territorio in corrispondenza di Il Guazzaloca – Callegretti – C.Maffei (Rubbiare).

Le valutazioni effettuate evidenziano che la netta prevalenza del territorio comunale è contraddistinta da pericolosità di liquefazione nulla ed in moderata percentuale a pericolosità molto bassa: $IL < 0.5$ in accordo con le caratteristiche geomorfologiche territoriali: area di media pianura

Carta dei fattori di amplificazione dell'accelerazione massima orizzontale FA.PGA

La carta dei fattori di amplificazione PGA/PGA_0 , elaborata per l'intero territorio comunale, evidenzia valori massimi nel settore meridionale orientale del territorio comunale zone a sud di La Sabatina e ad est di F.do Misie ed area compresa tra Strada Tracozza – Strada Ampergola, Strada Mavora – Strada Imperiale est – Strada Confine.

Analoghi valori di massimo contraddistinguono le aree settentrionali a nord di la Grande e di via Magnanine.

In detti settori i valori medi rappresentati corrispondono ad $FA.PGA. = 1.9 - 2.0$.

La parte di territorio che costituisce la fascia centrale – centro settentrionale alla quale appartiene la parte del capoluogo ad est di Fosso della Signora/ via di Mezzo –

via delle Rimembranze / via Grieco – via P. Mascagni / via Mavora è contraddistinta da valori di FA PGA = 1,7 ÷ 1,8.

I minimi relativi FA PGA 1,5 ÷ 1,6 caratterizzano la fascia sud occidentale del territorio tra Strada Imperiale – via Mavora – Strada S. Lorenzo – Psne Bassa – F. Panaro ed il settore occidentale più a nord tra via di Mezzo – Strada Ferrarona – F. Panaro – Strada Selvatica. Analoghi valori contraddistinguono il settore orientale centrale tra SS Modena – Bologna (N256) – Cavo Muzza – Fossa Sorga – Strada Erbedole.

La distribuzione territoriale dei valori di FA PGA indica corrispondenza delle aree a minore amplificazione relativa con le zone occidentali nelle quali si rinvennero i depositi del corpo alluvionale del F. Panaro. Non si osservano altresì significative correlabilità con l'assetto del substrato prepliocenico.

Si rileva una blanda tendenza di correlabilità tra la fascia orientata ovest est con valori FAPGA 1,7/1,8 con la linea di sovrascorrimento del substrato prepliocenico orientata ovest – est – sud est circa estesa secondo la Bertolda – incrocio via Mavora – sS Modena - Bologna – il Pilastro – Redù.

Carte dei fattori di amplificazione di intensità di Housner

In funzione delle tipologie edilizie prevalentemente presenti nel territorio comunale sono state elaborate le analisi relative agli intervalli nei quali generalmente rientrano i fabbricati ad uso civile sino a 3 ÷ 4 piani per le strutture a telaio in c.a. e sino a 4 ÷ 5 piani per gli edifici in muratura, che sono caratterizzati principalmente dai periodi $0,1 < T < 0,3$ sec. Sono inoltre state individuate le parametrizzazioni per gli intervalli dei periodi nei quali generalmente rientrano le strutture di tipo produttivo, gli edifici a telaio in c.a sino a 5 ÷ 6 piani, contraddistinti prevalentemente dai periodi $0,3 < T < 0,5$ sec.

Dette suddivisioni dei campi di periodo principale e relative delimitazioni delle aree che a loro competono, assumono particolare significato nel contesto delle previsioni di sviluppo urbanistico poiché consentono di indirizzare le scelte per la destinazione residenziale dove i valori dei fattori di amplificazione dell'intensità di Housner nell'intervallo $0,1 < T < 0,3$ sec sono inferiori. Analogamente tale criterio di preferenzialità per i valori di FA. IS. minori, nell'intervallo $0,3 < T < 0,5$ sec, è significativo per le destinazioni di parti del territorio ad uso produttivo e per edifici con 5-6 piani fuori terra.

La discretizzazione degli intervalli sopraindicati è inoltre di sostanziale ausilio nella valutazione del grado di vulnerabilità sismica del patrimonio edilizio esistente, generalmente costituito da fabbricati in muratura con altezze massime di 4 ÷ 5 piani.

In conformità a quanto previsto nella DGR 1302/2012 e degli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica Dipartimento Protezione Civile e Conferenza delle Regioni e P.A. (Gruppo di lavoro MS2008) sono state elaborate le carte dei fattori di amplificazione di Intensità di Housner negli intervalli FA.IS. $0.1 < T < 0.5$ sec ed FA.IS. $0.5 < T < 1.0$ sec e di F_a e F_v .

Carta dei fattori di amplificazione di intensità di Housner nell'intervallo $0.1 < T < 0.3$ sec

La distribuzione generale dei valori minori di FA IS in tale intervallo, denota andamento concordante con quello dei valori minimi di FA PGA presenti nel settore di territorio sud est occidentale settentrionale, ed orientale centrale, nei quali si evidenziano i valori di amplificazione relativi minori con FA IS = $1.2 \div 1.4$, tali aree e quella centro settentrionale occidentale sono perimetrata da fasce con valori medi corrispondenti ad FAIS = $1.4 \div 1.6$.

I valori maggiori FAIS = $1.9 \div 2.2$ caratterizza i settori sud orientale, nord - nord orientale e l'areale tra il capoluogo e Le Casette.

La rimanente parte del territorio, che costituisce la percentuale maggiore, è contraddistinta da FAIS = $1.7 \div 1.8$.

La distribuzione areale dei valori di amplificazione dell'intensità di Housner nell'intervallo $0.1 < T < 0.3$ sec indica una tendenziale correlabilità dei valori maggiori con i settori di territorio nei quali il substrato prepliocenico è più profondo, zone settentrionali.

Carta dei fattori di amplificazione di intensità di Housner nell'intervallo $0.3 < T < 0.5$ sec

La distribuzione generale dei valori di FA. IS. in tale intervallo, denota andamento concordante con quello dei valori di FA. PGA, evidenziando valori di amplificazione relativi inferiori nel settore sud occidentale, occidentale settentrionale ed orientale centrale dove tali parametri sono compresi nell'intervallo FA.IS. = $1.5 \div 1.8$. I valori massimi si riscontrano nella zona sud orientale nell'area tra via Mavora - Strada Modena - Scalo Muzza - Canale Tiepido - Strada Imperiale est, che comprende la parte sud orientale del capoluogo delimitata ad ovest da Strada Mavora a nord da V.le delle Rimembranze/Via Maestà di Redù, ad est Scalo polesine; analoghi valori si riscontrano nel settore a nord del capoluogo tra il Cimitero Comunale e le Casette, equivalenti caratteristiche si rilevano nella zona centro orientale settentrionale tra Strada dei Gatti/Parco Ca Gatti - Cavo Arginone - Strada Due Torrioni - Canal Torbido, dove FAIS = $2.3 > 2.5$.

La rimanente parte del territorio, che costituisce la percentuale maggiore dell'area comunale, alla quale appartiene la prevalente parte del capoluogo, è contraddistinta da valori medio elevati compresi tra $FAIS = 1.9 \div 2.2$ ed assume le estensioni maggiori nella zona settentrionale e nella fascia ovest est circa tra Via Milano/Via N. Paganini e strada Lorenza/Strada Valluzza, alla quale appartiene il centro storico.

La distribuzione dei valori di FA.IS. nell'intervallo $0.3 < T < 0.5$ sec indica una tendenziale correlabilità dei massimi relativi ($FA IS > 2,2$) con le minori profondità del substrato prepliocenico nel settore sud orientale del territorio comunale dove è rinvenibile a $-2,5 \div -3,0$ km pc.

Un'analogia fascia di massimi relativi ($FA IS = >2,1$), tendenzialmente estesa in direzione sud ovest – nord est, si osserva da la Ronchetta – Le Casette a intersezione Strada dei Gatti/ via Selvatica a Boco Nuovo/i Ronchi, interessando la parte del territorio comunale dove le profondità del substrato prepliocenico sono maggiori.

Quest'ultima condizione è probabilmente correlabile a faglie per processi distensivi nei depositi continentali sottostanti le unità AES7 – AES6.

Carta dei fattori di amplificazione di intensità di Housner negli intervalli $0.1 < T < 0.5$ sec

I valori di FA.IS. nell'intervallo $0.1 < T < 0.5$ sec, evidenziano una distribuzione areale simile a quelli dell'FA.PGA, e descrivono una suddivisione del territorio in quattro zone: sud occidentale, orientale centro settentrionale, fascia occidentale settentrionale, fascia centrale orientata ovest est della zona industriale al capoluogo; zona settentrionale, zona sudorientale. Le prime di queste individuate dall'area compresa tra il F. Panaro ed i toponimi il Rastello – F.do Nuovo – C. Molza a sud ovest e da Scolo Misle – via Magnanime – cavo Muzza – via S. Matteo della Decima, zona orientale centro settentrionale, sono contraddistinte dai valori di amplificazione inferiori: $FA.IS = 1.4 \div 1.6$; la fascia di territorio occidentale circa estesa con andamento sub parallelo al F. Panaro circa sino a strada Ferrarona e quella sviluppata ovest est dalla zona industriale a scuole medie del capoluogo, è contraddistinta da $FA.IS = 1.7 \div 1.8$.

La fascia centrale del territorio estesa sud nord da la Nosa della a settore est del capoluogo, con andamento sub parallelo a via Mavora, e che si allarga sino al confine est ad oriente del centro storico, che successivamente si estende in direzione nord a le Casette a la Pagliarina/Piccola Bosca e si allarga in senso ovest est a settentrione di via Guercinesca, è caratterizzata da $FA IS = 1,9 - 2,2$ e costituisce la prevalente percentuale dell'area comunale.

La zona sud orientale è contraddistinta dai valori massimi relativi maggiori: $FA_{IS} > 2,2$.

Analoghi valori si rinvencono in areali di limitata estensione in prossimità dell'intersezione Scolo Ortigaro/Fossa della Signora ed in corrispondenza dell'incrocio via Guerrine /Fosso Bosco.

La distribuzione areale dei valori dei fattori di amplificazione di intensità sismica di Housner nell'intervallo $0.1 < T < 0.5$ sec, denota andamenti simili a quelli di FA_{PGA} ed a quelli relativi all'intervallo $0.3 < T < 0.5$ sec; i valori relativi maggiori nel settore sud orientale indicano una blanda correlabilità con l'assetto del substrato prepliocenico qui a profondità relative minori.

Carta dei fattori di amplificazione di intensità di Housner negli intervalli $0.5 < T < 1.0$ sec

I valori dei fattori di amplificazione relativa maggiori $FA_{IS} > 2.2$ caratterizzano una fascia estesa sud ovest – nord est circa da C. Mariani – la Nosadella al settore orientale del capoluogo il Casinetto a Strada Valluzza e l'area tra le Casette – via Due Torrioni – Bosco Nuovo – la Pagliarina – C. Serafina.

Analoghi valori si riscontrano in un areale minore all'intorno di case limpido e una limitata area a sud ovest di la Bertolda con $FA_{IS} > 2,2$.

La rimanente parte del territorio, che costituisce la percentuale nettamente prevalentemente dell'area comunale, è contraddistinta da valori di $FA_{IS} = 1,9 \div 2,2$ ad eccezione di una zona di ridotta estensione nel settore occidentale settentrionale in corrispondenza di via Pioppi dove $FA_{IS} = 1,8$.

La distribuzione dei valori dei fattori di amplificazione di intensità sismica nell'intervallo $0.1 < T < 0.5$ sec denota andamenti a moderato grado di similitudine con quelli di FA_{PGA} .

Infatti i valori relativi maggiori di FA_{IS} , superiori a $2.0 \div 2.1$, caratterizzano i settori meridionale centrale e centrosettentrionale del territorio comunale e non indicano significative correlabilità con l'assetto del substrato prepliocenico.

Carta dei fattori di amplificazione di intensità di Housner nell'intervallo $1.0 < T < 2.0$ sec

La distribuzione areale dei valori dei fattori di amplificazione nell'intervallo $1.0 < T < 2.0$ sec, caratterizza con i valori minori la fascia orientale del territorio comunale estesa sud nord assecondante l'andamento del confine comunale est e che si allarga in direzione ovest da Ponte del Torrazzuolo a la Grande, nella quale si riscontra $FA_{IS} = 1.4 \div 1.6$. Analoghi valori di minimo relativo contraddistinguono l'area sud est tra la

Nosadella – C. Bonaghino – C. Valle – il Termine a la zona a sud est di Masello ed il settore centrale tra le Casette ed il capoluogo.

La fascia occidentale compresa tra il F. Panaro e Scolo Canaletto che in corrispondenza del capoluogo si allarga in direzione est sino allo Scolo Zena Piccola ed a nord del cimitero comunale successivamente al quale si restringe in verso occidentale sino a la Pancera – Stradello Pagliarino ed estendendosi a nord di Selvatica si dirige a la Punta, è contraddistinta dai valori relativi maggiori corrispondenti ad FA IS = 1,9 – 2,2.

Analoghi valori si riscontrano a sud est tra Ampergola e il Pilastrello, nella zona centro orientale tra Barchetta – l'Olmo – Prati Vecchi, nell'area settentrionale centrale tra C. Reggiani ed incrocio via Guercinesca / via Guerrine.

La rimanente parte del territorio comunale, che costituisce il settore centrale – centro occidentale esteso in senso sud nord, è caratterizzata da valori intermedi compresi tra FA IS = 1,7 ÷ 1,8.

La distribuzione areale dei valori dei fattori di amplificazione nell'intervallo 1.0 <T<2.0 sec, non denota significativa correlabilità con l'assetto del substrato prepliocenoico e degli sovrascorrimenti che lo interessano.

Carta dei fattori di amplificazione di FA ICMS 2008

I valori del fattore di amplificazione determinato all'intorno del periodo in cui si ha il massimo della risposta in pseudoaccelerazione denotano una distribuzione dei massimi e dei minimi simile a quelle della FA.PGA.

I valori di massima corrispondenti ad Fa = 1.9 ÷ 2.2 caratterizzano le zone sud orientali (aree ad est di Strada Mavora), nord orientali (aree ad est dell'allineamento Parco Gatti – Piccola Bosca) e la fascia centrale del territorio comunale che collega i sopra descritti settori, circa con presa tra Strada della Larghe, Strada Valluzza ed est e Fossa delle Signora sino a strada Giorgina a nord comprende Le Casette e la parte orientale meridionale del capoluogo: zona ad est di via P.Mascagni.

I parametri di minimo relativo: Fa = 1.4 – 1.6 caratterizzano il settore sud occidentale: aree comprese tra Strada Bavuti – Strada San Lorenzo – F.Panaro. alle quali appartengono le parti occidentali del capoluogo: zone comprese tra via M.Lamo – V Unità d'Italia – SO 14 – Via San Lorenzo, e l'area industriale tra via Zuccolo e sS 255.

Analoghi valori di minimo contraddistinguono il settore orientale tra sS 255 – Strada Erbedole – Fossa Sorga – Cavo Muzza ed un areale di limitata estensione nel settore nord occidentale tra La Pagliarina – Ca Matta – La Bisacca – La Capellina.

La rimanente parte del territorio è contraddistinta da Fa = 1,7 ÷ 1,8 e caratterizza prevalentemente la fascia occidentale dell'area comunale.

La distribuzione dei valori di Fa denota correlabilità con le zone di massimo e di minimo di FA PGA e non indica significative correlazioni con l'assetto del substrato prepliocenico.

Carta dei fattori di amplificazione di FV ICMS 2008

I valori del fattore di amplificazione determinato all'intorno del periodo in cui si ha il massimo della risposta in pseudovelocità caratterizzano con i valori maggiori la prevalente parte del territorio: $FV > 2,2$

I valori inferiori $FV = 1,9 - 2,1$ costituiscono la fascia occidentale estesa sud nord adiacente al F. Panaro e che si allarga localmente in direzione est verso il capoluogo assecondando l'andamento di strada Zuccola che comprende la parte del capoluogo ad occidentale della SP 14.

Analoghi valori caratterizzano la fascia settentrionale centrale tra cavo Guerrine – via Bertona – Confine nord – Viazza di sotto / C. Reggiani / Piccola Bosca e l'areale tra Prati vecchi – l'Olmo – Strada Erbedole.

ANALISI DELLA CONDIZIONE LIMITE PER L'EMERGENZA

L'analisi della CLE comunale redatta in collaborazione con l'*U.T. Comunale Ing. Antonella Munari*, è finalizzata all'individuazione di un sistema coordinato di gestione dell'emergenza a seguito del verificarsi di eventi sismici, con l'obiettivo di definire il miglior grado di efficienza in rapporto alle caratteristiche degli insediamenti urbanizzati.

In riferimento a quanto esposto, in prima istanza, sono stati individuati gli edifici strategici (ES), le aree di emergenza (AE) suddivise in aree di Ammassamento ed Aree di Ricovero, necessarie a garantire le funzioni strategiche e quindi le viabilità di collegamento; sono state inoltre individuati i tracciati di connessione tra i suddetti elementi e tra detto sistema di relazioni ed il contesto di accessibilità territoriale, sviluppando un'analisi comparata con il piano di protezione civile comunale e quella sovracomunale.

In tale contesto è stata esaminata la capacità di risposta agli eventi sismici, in funzione delle possibilità di utilizzazione delle componenti e del sistema gestione nel suo complesso: il rapporto con il sistema territoriale (connessione) e rispetto al contesto (accessibilità), distribuzione delle funzioni strategiche nell'intero territorio comunale. Detta analisi è stata integrata in diverse parti edificate, con particolare attenzione per il centro storico, poiché rappresenta il contesto di maggiore vulnerabilità, con l'individuazione degli edifici ritenuti fondamentali della gestione dell'emergenza.

Il sistema degli edifici strategici ha identificato gli edifici (ES) destinati ad ospitare le funzioni pubbliche a seguito di terremoto, individuati anche per le funzioni di ricovero coperto e COC.

Le connessioni tra gli elementi individuati, rispetto al contesto territoriale, sono state definite avendo attenzione alla minor interferenza dei fabbricati sulla variabilità ed assicurando una adeguata ridondanza dei percorsi.

In tale contesto sono stati analizzati gli aggregati strutturali e le unità strutturali individuati come interferenti, al fine di garantire infrastrutture di connessione e accessibilità sempre praticabili dai mezzi di soccorso.

Le scelte individuate dall'analisi della CLE dovranno essere assunte e trasposte nelle forme opportune, nella pianificazione comunale e sovracomunale dell'emergenza.

Breve descrizione degli elaboratiSchede di analisi della CLE

Le schede della CLE contengono le caratteristiche degli elementi che la compongono:

- edifici strategici (ES), in numero di 3;
- aree di emergenza (AE) in totale di 11, suddivise in aree di ammassamento (4) ed aree di ricovero (7);
- infrastrutture di accessibilità e connessione (AC), per un totale di 45 suddivise in 9 infrastrutture di accessibilità e 36 infrastrutture di connessione;
- aggregati strutturali (AS) per un totale di 7;
- unità strutturali (US) per un totale di 41 di cui 20 facenti parte di aggregati strutturali e 21 costituite da unità strutturali interferenti isolate.

Cartografia di analisi della CLE

La mappa del Comune è stata realizzata in scale idonee per la lettura delle informazioni significative sull'interno territorio e per le porzioni edificate, e rappresentano le informazioni relative agli elementi sopracitati e costitutivi della CLE: ES, AE, AC, AS e US, individuando inoltre zone oggetto di restituzione in scala 1: 2.000 del capoluogo e delle principali frazioni del territorio comunale.

STUDIO GEOLOGICO CENTROGEO

Dr. Geol. GIAN PIETRO MAZZETTI

BIBLIOGRAFIA

- NOTE ILLUSTRATIVE della CARATA GEOLOGICA D'ITALIA (2009) alla scala 1:50.000, foglio 202 SAN GIOVANNI IN PERSICETO. ISPRA SGI Enti realizzatori Regione Emilia – Romagna SGSS, a cura di F.C. MOLINARI, M.PIZZOLO.
- NOTE ILLUSTRATIVE della CARATA GEOLOGICA D'ITALIA (2009) alla scala 1:50.000, foglio 201 MODENA. ISPRA SGI Enti realizzatori Regione Emilia – Romagna SGSS, a cura di G. GASPERI, M. PIZZOLO.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA, REGIONE TOSCANA, UNIVERSITA' DI SIENA 1240, a cura di AA.VV. (2013) Assetto tettonico e potenzialità sismogenetica dell'Appennino Tosco-Emiliano-Romagnolo e Val Padana; Centro stampa – Regione Emilia Romagna.
- NOTE ILLUSTRATIVE della CARATA GEOLOGICA D'ITALIA (2009) alla scala 1:50.000, foglio 220 CASALECCHIO DI RENO. ISPRA SGI Enti realizzatori Regione Emilia – Romagna SGSS, a cura di L.MARTELLI, A.BERNINI, M.T.De NARDO.
- NOTE ILLUSTRATIVE della CARATA GEOLOGICA D'ITALIA (2005) alla scala 1:50.000, foglio 1199 PARMA SUD. ISPRA SGI Enti realizzatori Regione Emilia – Romagna SGSS, a cura di G DI DIO, S. LASAGNI, A. MARTINI, G.ZANZUCCHI.
- MANICARDI A. – MAZZETTI G.P. – GILLI S. (2013) Geological characters and structural seismic response of litho units between ridge and Apennine foothills: areas of the Municipalities of Montese, Zocca, Guiglia, Marano s/P. NATURAL HAZARDS - E3. Sismic hazard: state of the art and open issues – Pubblicato sul Sito <http://www.geoitalia2013.it/>
- AA.VV. (2013) Assetto tettonico e potenzialità sismogenetica dell'appennino Tosco-Emiliano-Romagnolo e Val Padana, Regione Emilia Romagna – Toscana, Università di Siena 1240.
- DGR1051/2011. Deliberazione della Giunta Regionale n. 1032/2012, “Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione e concessione dei contributi di cui all'OPCM 3907/2010 e ss.mm”. Boll. Off. Reg. Emilia-Romagna n. 120 del 02/08/2011.
<http://demetra.regione.emilia-romagna.it/> o <http://www.regione.emilia-romagna.it/geologia/>
- LOCATI M., CAMASSI R. e STUCCHI M. (a cura di) (2011) . BDM11, la versione 2011 del Database Microsismico Italiano. Milano, Bologna, <http://Edius.mi.ingv.it/DBM11>
- GRUPPO DI LAVORO MS (2008). “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica”. Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome – Dipartimento della protezione Civile, Roma, 3 vol. e Dvd.
http://www.protezionecivile.it/cms/view.php?dir_pk=395&cms_pk=15833
- DAL 111/2007. Deliberazione dell'assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna n.112 del 2/5/2007: Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art.16 comma 1, della L.R. 20/2000 per “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica”. Boll. Off. Reg. Emilia-Romagna n.64 del 17/05/2007. <http://demetra.regione.emilia-romagna.it/> o <http://www.regioneemilia-romagna.it/geologia/>
- AGI, 2005: Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica. *Linee Guida*. Associazione Geotecnica Italiana, Patron Editore.
- MELETTI C. e VALENSISE G., (2004). Zonazione sismogenetica ZS9-App. 2 al rapporto Conclusivo. In: “Gruppo di Lavoro MPS (2004). *Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCm 3274 del 20 marzo 2003*”. Rapporto per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici.
- BOCCALETTI M. – MARTELLI L. – AA.VV. (2004) – Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna. S.E.L.C.A. Firenze
- OPCM 3274/2003. Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003: “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”. G.U. n. 155, 08/05/2003, suppl. ord. N. 72.
- L.MARTELLI, A.MANICARDI, G.P. MAZZETTI, C. UGOLETTI. (2009). PTCP MODENA carte della sicurezza del territorio, riduzione del rischio sismico, carte delle aree suscettibili di effetti locali.
- A. CAMPISI, M. GUERRA, F. MANENTI, L. MARTELLI, G. P. MAZZETTI (2007) PTCP DI REGGIO EMILIA: rappresentazione della pericolosità sismica locale provinciale e indirizzi per la pianificazione comunale, 26° Convegno Nazionale Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida, Novembre
- MOLINARI F.C. – BOLDRINI G. et ALII (2007) – Risorse Idriche Sotterranee della provincia di Ferrara; DB MAP, Firenze.
- G.P. MAZZETTI (2006), Evoluzione geologica del territorio reggiano., pp. 8-20 in “Una Provincia allo Specchio: Reggio Emilia”; Telesio Editrice, Carnate, Milano.
- G.P. MAZZETTI (2008), Indagine Geologico Ambientale – Analisi Sismica, Quadro Conoscitivo Preliminare Piano Strutturale Comunale, dati non pubblicati.
- M. PAGANI, A. MARCELLINI, R. DAMINNELLI, L. MARTELLI, G.P. MAZZETTI (2003). Valutazione della pericolosità sismica di Castelnovo ne' Monti, Convegno Nazionale, Gruppo Nazionale di Geofisica della terra Solida, C.N.R., Roma.
- SERVIZIO TECNICO DEI BACINI ENZA E SECCHIA (2005) – Stratigrafie catasto pozzi, dati non pubblicati.
- Sonmez H.; 2003: Modification to the liquefaction potential index and liquefaction susceptibility mapping for a liquefaction-prone area (Inegol-Turkey). *Environ Geology* 44(7): 862-871.
- AA.VV. (1970-1980) – Rapporti ed indagini geognostiche sul territorio di Nonantola (MO). Documenti inediti.
- G.P. MAZZETTI– NASSER A.Z. – GILLI S. (2003) – Enza the alluvial cone model trough geoelectric prospecting, Atti 4th European Congress in Regional Geoscientific Cartography; R.E.R. Ind. Graf. Labanti e Nanni – BO.
- YOULD T.L., IDRISSE.M., Andrus R.D., Arango I., Castro G., ChristinaJ. T., Doroty R., Liam Finn W. D., Harder L. F. Jr., Hynes M.E., Ishihara K., Koester J.P., Laio S.S.C., Marcuson Lii W.F., Martin G.R., Mitchell J.K., Moriwaki Y., Power M.S., Robertson P.K., Seed R.B., Stokoe li K.H., 2001: Liquefaction resistance of solis: Summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshop on evolution of liquefaction resistance of solis. *Jour. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 127(10), 817-833.
- ROBERTSON P.K., WRIDE C.E.; 1998: Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test. *Can. Geotech. J.*, Ottawa, 35(3), 442-459.
- RER-DI DIO G. et ALII (1998) - Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia Romagna S.E.L.C.A. Firenze
- SCANDONE P. etT ALII (1992) - Struttura geologica, evoluzione cinematica e schema sismotettonico della penisola italiana, Atti, Convegno GNDT.
- MAZZETTI G.P. – POZZI P. (1993) – Studio di compatibilità ambientale fisica per la locazione di un impianto di scarico controllato in zone pianiziali – Discarica Intercomunale di Novellara (RE) – Atti 8° convegno Nazionale C.N.G.
- BOSELLINI A- MUTTI E - RICCI LUCCHI F. (1989) - Rocce e Successioni sedimentarie UTET
- MAZZETTI G.P. (1983) – studio geologico ambientale del comprensorio di media pianura Carpi – Correggio, Regione Emilia Romagna.
- AGIP (1981) - Subsurface geological structure of the Po Plain. Italy - C.N.R.

- BOSELLINI A. (1981) - The emile fault. A jurassic fracture zone that evolved into a Cretaceous Paleogene sinistral wrench fault. Boll. Soc. Geol. It.
- FERRARI G - POSTPISCHL D.(1981) - Le scale macrosismiche C.N.R. P.F. Geodinamica. Pubbl. N° 387. Ist. Topografia, geodesia e geofisica Mineraria, Univ. BO
- C.N.R. (1980) - Proposta di riclassificazione sismica del territorio nazionale - Public. N° 361 ESA Editrice - Roma.
- C.N.R. (1979) - Carte preliminari di scuotibilità del territorio nazionale. Pubbl. N° 227 ESA Editrice - Roma
- IST. GEOL. UNIV. MO (1978) - Metodologie e primi risultati di neotettonica nel modenese e territori limitrofi. Mem. Soc. Geol. It.
- CASTANY G. (1976) – Traité pratique des eaux souterraines. Dunod, Paris.
- VANDENBERG J. & WONDERS A.A.H. (1976) - Paleomagnetic evidence of large fault displacement around the Po-Basin. Technophysics.
- VEGGIANI A. (1974) – Le variazioni idrografiche del basso corso del fiume Po negli ultimi 3.000 anni. Padusa Riv. C. Palesano St. Stor. Arch. E Etr.. Rovigo.
- ENI (1972) - Acque dolci sotterranee - ENI
- ENI (1965) – Enciclopedia del petrolio e del gaso naturale, volume VI, Carlo Colombo Editore.
- AGIP (1969) - Italia II - Geologia e ricerca petrolifera; Pianura Padana Veneta.-Enciclopedia del petrolio e del gas naturale, ENI
- LOSACCO U. (1949) - La glaciazione quaternaria dell'Appennino Settentrionale. Riv geografia It, 56 (2)