



Comune di Fano

Provincia di Pesaro Urbino

SETTORE 5° LAVORI PUBBLICI
U.O.C. COORDINAMENTO E PROGRAMMAZIONE LAVORI PUBBLICI

LAVORI DI REALIZZAZIONE DELLA CICLOVIA ADRIATICA III STRALCIO DALL'HOTEL PLAYA AL FIUME METAURO

CUP E31B21000950001

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA

GEN 10-1-A
RELAZIONE SISMICA
E SULLE STRUTTURE



Progettisti:

Arch. Irene Esposito
Arch. Enrico Guaitoli Panini

**ASSESSORE ALLA QUALITÀ URBANA, MOBILITÀ
SOSTENIBILE E INNOVAZIONI TECNOLOGICHE**
Dott.ssa Fabiola Tonelli

Collaboratori:

Paes. Giulia Mazzali
Arch. Eleonora Vaccari
Paes. Ilaria Rinaldi
Dott. Bruno Mine

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO
Dott. Ing. Federico Fabbri
Dirigente Settore V - Lavori Pubblici

ASSISTENTE AL RUP

Urb. Pia M. A. Miccoli
Coordinatrice del progetto Pinqua Metaurilia

COORDINATRICE MOBILITÀ SOSTENIBILE
Arch. Paola Stolfa

CODICE

GEN 10-1

REVISIONE

A

FORMATO

A4

DATA

Luglio 2022

SOMMARIO

SOMMARIO	1
1. PREMESSA	2
2. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	3
3. RIFERIMENTI NORMATIVI	3
4. RELAZIONE SISMICA	4
4.1 INQUADRAMENTO STORICO SULLA SISMICITÀ	4
4.2 STORIA SISMICA DELLE MARCHE.....	12
4.3 SISMICITÀ DELL'AREA D'INTERESSE	15
4.4 STRUTTURE SISMOGENETICHE.....	18
4.5 AZIONI SISMICHE DI RIFERIMENTO	20
4.6 LIQUEFAZIONE	21
4.7 NOTE	21
5. RELAZIONE SULLE STRUTTURE	22
5.1 DESCRIZIONE GENERALE.....	22
5.2 AZIONI.....	24
5.3 AZIONE SISMICA	24

1. PREMESSA

Il tratto di ciclovía in progetto è parte della **Ciclovía Turistica Nazione Adriática** che si sviluppa per più di 800 chilometri in un territorio vasto e complesso, attraversando da Nord a Sud 6 Regioni, 17 Provincie e 98 Comuni. Nell'ambito del progetto della Ciclovía Adriática la Regione Marche svolge il ruolo di capofila.

Nell'ambito del progetto di fattibilità tecnico-economica per la della **CICLOVIA ADRIATICA III STRALCIO FUNZIONALE HOTEL PLAYA-FIUME METAURO**, è stato elaborato il presente studio mirato a fornire la caratterizzazione geotecnica dei terreni interessati dalle opere principali.

Il presente documento inquadra sotto il profilo della sismicità i seguenti aspetti:

- Normativa tecnica e riferimenti bibliografici di riferimento;
- Inquadramento storico della sismicità;
- Azione sismica di base, interpretazione indagini ed effetti locali;
- Considerazioni sul rischio di liquefazione.

Inoltre, il presente documento si occupa dell'analisi strutturale relativa al sottopasso ferroviario.

- Normativa tecnica e riferimenti bibliografici;
- Descrizione dell'opera;
- Definizione delle azioni;
- Pre-dimensionamento della struttura.



Figura 1: Tracciato della ciclabile in esame.

2. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [Ref 1] Aiello E. (2014) Convegno “La Salvaguardia del territorio e della popolazione dal rischio sismico”; *La verifica a liquefazione secondo le NTC 2008*, San Benedetto del Tronto, 11-12/09/2014.
- [Ref 2] Carta del Rischio Sismico (Servizio Sismico dei suoli Regione Marche);
- [Ref 3] Gruppo di lavoro MS, 2008. Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica (ICMS). Conferenza delle Regioni e delle Province autonome. Dipartimento della protezione civile, Roma, 3 vol. e Dvd;
- [Ref 4] Lanzo G., Silvestri F. (1999). *Risposta Sismica Locale – Teoria ed esperienze*. Helvelius Edizioni;
- [Ref 5] Idriss I.M., Boulanger R.W. (2014) “Soil liquefaction during earthquakes” – EERI;
- [Ref 6] Martini I.P.; Sagri M. (1993), *Tectono-sedimentary characteristics of Late Miocene-Quaternary extensional basins of the Northern Apennines, Italy*. Earth-Science Reviews, Vol. 34, pp: 197-233;
- [Ref 7] Meletti C., Valensise G. (2004). *Zonazione sismogenetica ZS9 – App.2 al Rapporto Conclusivo*, marzo 2004;

3. RIFERIMENTI NORMATIVI

- [Ref 8] Delibera GRT n. 421 del 26 maggio 2014 “Riclassificazione sismica del territorio regionale”
- [Ref 9] Legge Regionale 33/84 “Norme per le costruzioni in zona sismica nella Regione Marche”
- [Ref 10] Delibera GRT n. 878 del 8 ottobre 2012 “Aggiornamento della classificazione sismica regionale in attuazione dell'O.P.C.M. 3519 /2006 ed ai sensi del D.M. 14.01.2008 - Revoca della DGRT 431/2006”
- [Ref 11] Mappa della pericolosità sismica del territorio Nazionale (INGV);
- [Ref 12] D.G.R. n 136 del 17 Febbraio 2004 “Individuazione e formazione dell’elenco delle zone sismiche nella Regione Marche”
- [Ref 13] D.M. 17/01/2018, “Norme tecniche per le costruzioni”;
- [Ref 14] O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003 e s.m.i., “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” e successive modifiche ed integrazioni;
- [Ref 15] O.P.C.M. n. 3519 del 28/04/2006, "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone";
- [Ref 16] Linee guida AGI 2005 “Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica”;
- [Ref 17] UNI EN 1997-1:2005 “Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 1: Regole generali”;

[Ref 18] UNI EN 1998-5:2005 "Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici".

4. RELAZIONE SISMICA

4.1 INQUADRAMENTO STORICO SULLA SISMICITÀ

Le prime misure legislative per la sicurezza sismica del territorio Italiano vennero prese a seguito dei terremoti che colpirono la Calabria nel 1783 causando più di 30.000 morti; dopo il terremoto che distrusse Reggio Calabria e Messina nel dicembre 1908, causando, si stima, 80.000 vittime, fu promulgata la prima classificazione sismica italiana, intesa come un elenco dei comuni soggetti a sisma. La lista comprendeva i comuni della Sicilia e della Calabria, gravemente colpiti dal terremoto, ed alcuni altri comuni per i quali si tramandava il ricordo di danneggiamenti subiti nel passato. La classificazione fu modificata a seguito di altri eventi sismici, aggiungendo progressivamente i nuovi comuni danneggiati.

Nel 1974 fu promulgata la nuova normativa sismica nazionale contenente i criteri di costruzione antisismica e la classificazione sismica, ovvero una lista dei comuni in cui dovevano essere applicate le norme costruttive; quest'ultima veniva ratificata con un decreto legislativo ed è pertanto aggiornabile qualora le nuove conoscenze in materia lo suggeriscano; fino al 1980 però vi sono stati inseriti semplicemente i comuni nuovamente colpiti da terremoti.

Gli studi sismologici e geologici, che seguirono i terremoti del 1976 in Friuli e del 1980 in Irpinia svolti nell'ambito del "Progetto Finalizzato Geodinamica" (Consiglio Nazionale delle Ricerche - CNR), portarono ad un sostanziale sviluppo delle conoscenze sulla sismicità del territorio nazionale. Infatti, in quella occasione, si passò per la prima volta dalla tradizionale prassi che prevedeva la classificazione delle aree *a posteriori* di un evento sismico verso una procedura di classificazione basata su elementi predittivi, ancorché abbastanza rudimentali.

La proposta del CNR fu presentata al governo e tradotta in una serie di decreti da parte del Ministero dei Lavori Pubblici tra il 1980 ed il 1984. In **Figura 2** è riportata la classificazione sismica, sotto forma di mappa tematica, del territorio italiano (Decreto MLP del 14/07/1984 e decreti successivi).

Nel 1996, al termine di un progetto pluriennale, il Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti ha rilasciato due mappe di pericolosità basate su una zonazione sismogenetica, ("*Mappa della pericolosità sismica in Italia - Accelerazione orizzontale di picco con $T = 475$ anni*" **Figura 3**, e "*Mappa della pericolosità sismica in Italia - Intensità macrosismica con $T = 475$ anni*" **Figura 5**), sulle base delle quali il Gruppo di Lavoro istituito dal Dipartimento della Protezione Civile compilò nuove mappe del rischio sismico a scala nazionale, tra cui una "*Mappa del danno percentuale atteso*" (**Figura 4**) e la "*Mappa delle massime intensità osservate nell'ultimo millennio*" (**Figura 6**).

Questi nuovi documenti normativi (le precedenti mappe e la mappa di classificazione sismica) costituirono le basi dell'Ordinanza del Sottosegretario alla Protezione Civile del 1998, che definì un elenco di "*Comuni ubicati nelle zone ad elevato rischio sismico*". L'Ordinanza evidenziava alcune differenze con la mappa della classificazione allora cogente. Nel 1998 un gruppo di lavoro ING-GNDT-SSN, anch'esso istituito dal Dipartimento della Protezione Civile, produsse una ipotesi di riclassificazione sismica (**Figura 7**).



Figura 2: Mappa tematica della classificazione sismica del territorio italiano (1984). Decreto MLP del 14/07/1984 e decreti successivi.

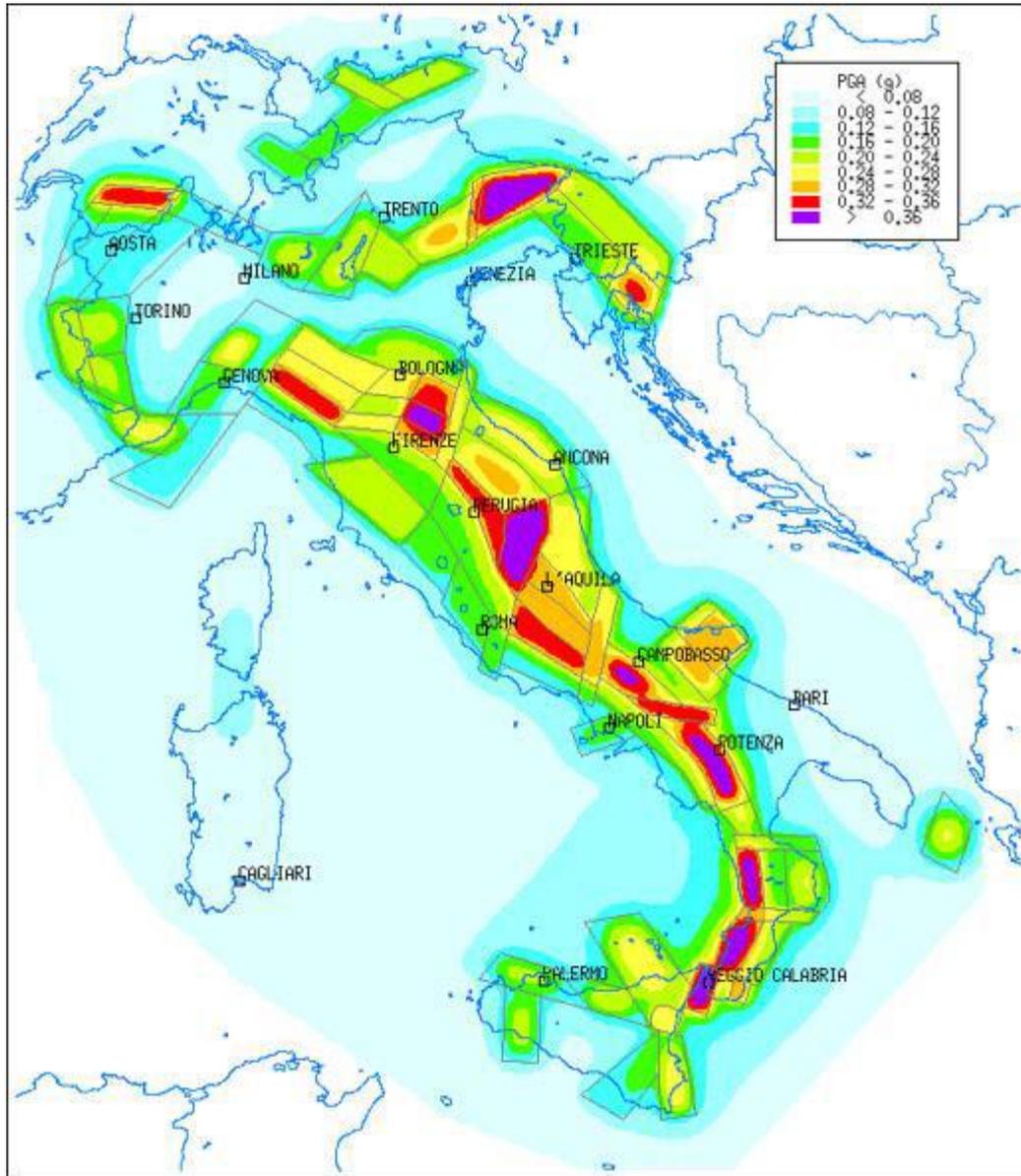


Figura 3: Mappa della pericolosità sismica in Italia - Accelerazione orizzontale di picco con $T = 475$ anni.

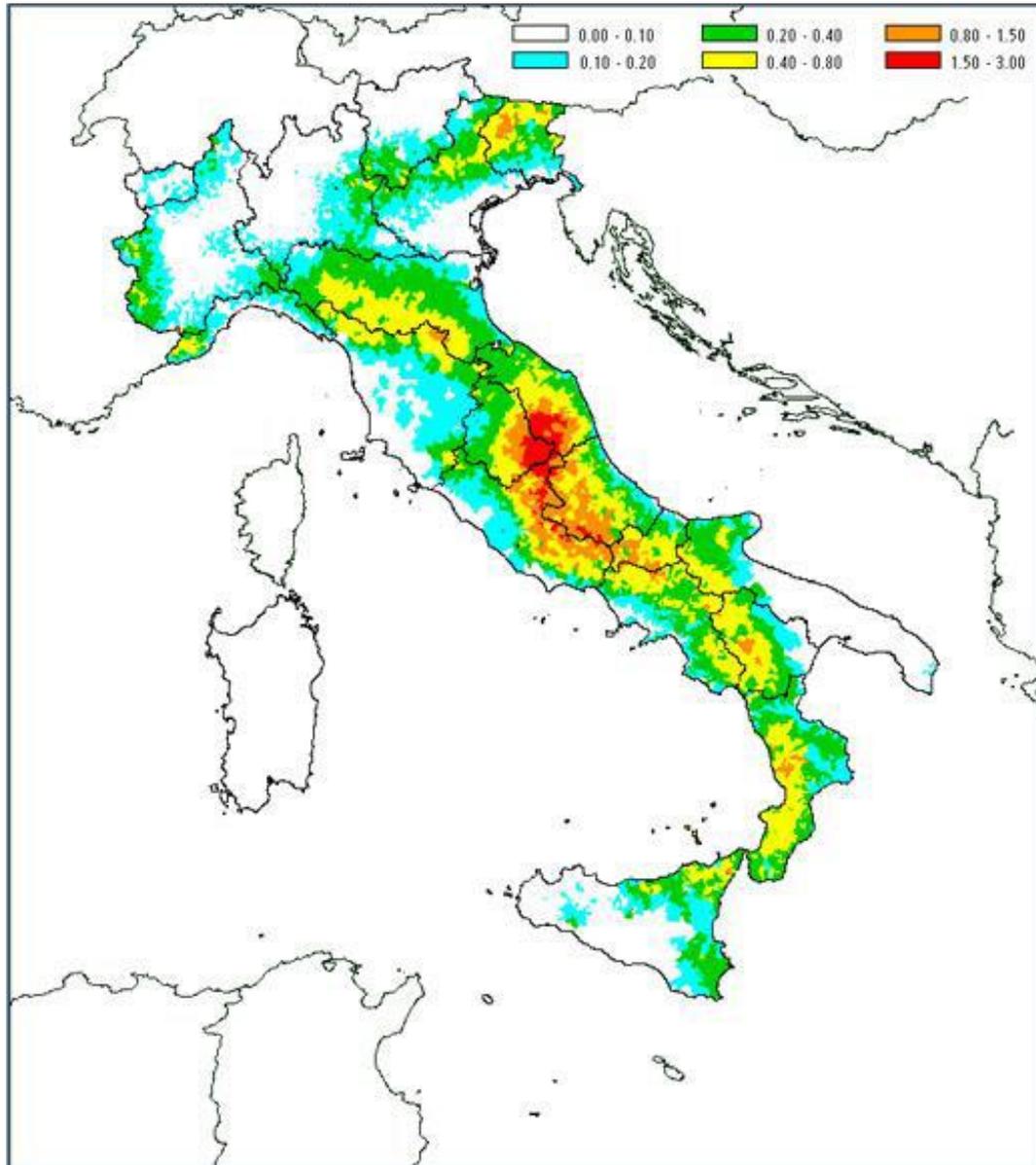


Figura 4: Rischio sismico: mappa del danno percentuale atteso.

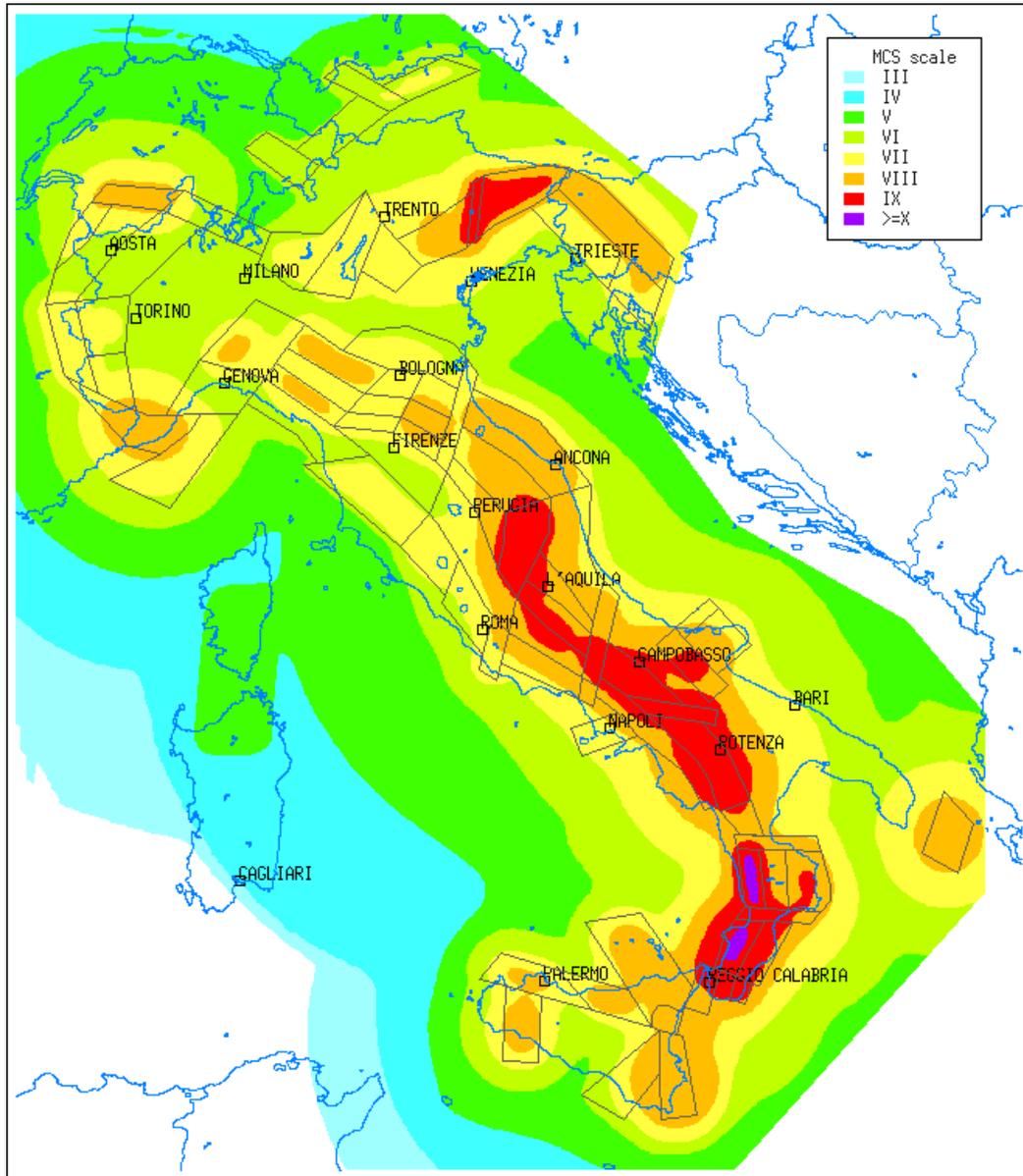


Figura 5: Mappa della pericolosità sismica in Italia - Intensità macrosismica con $T=475$ anni.

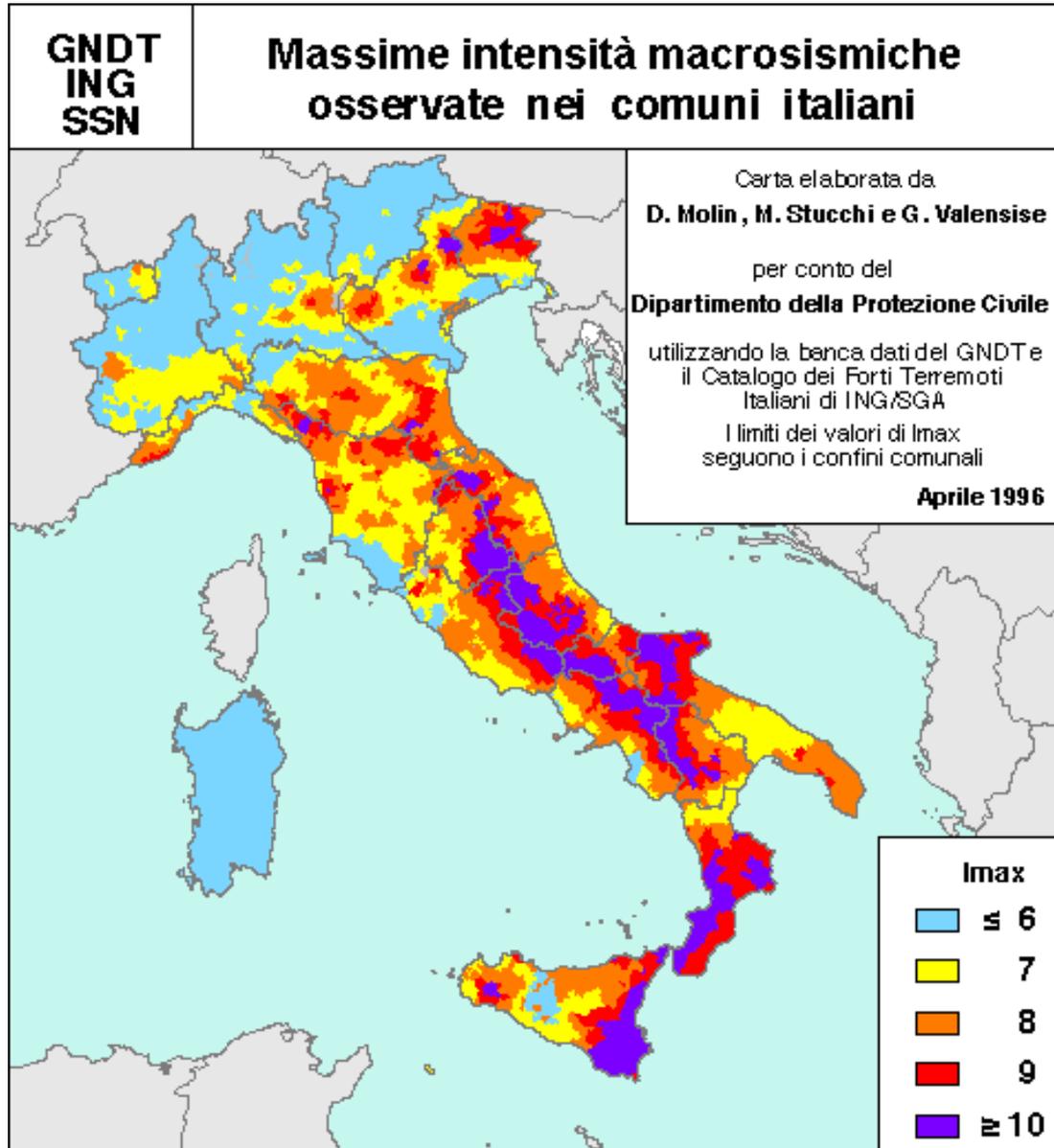


Figura 6: Rischio sismico: mappa delle massime intensità osservate nell'ultimo millennio.

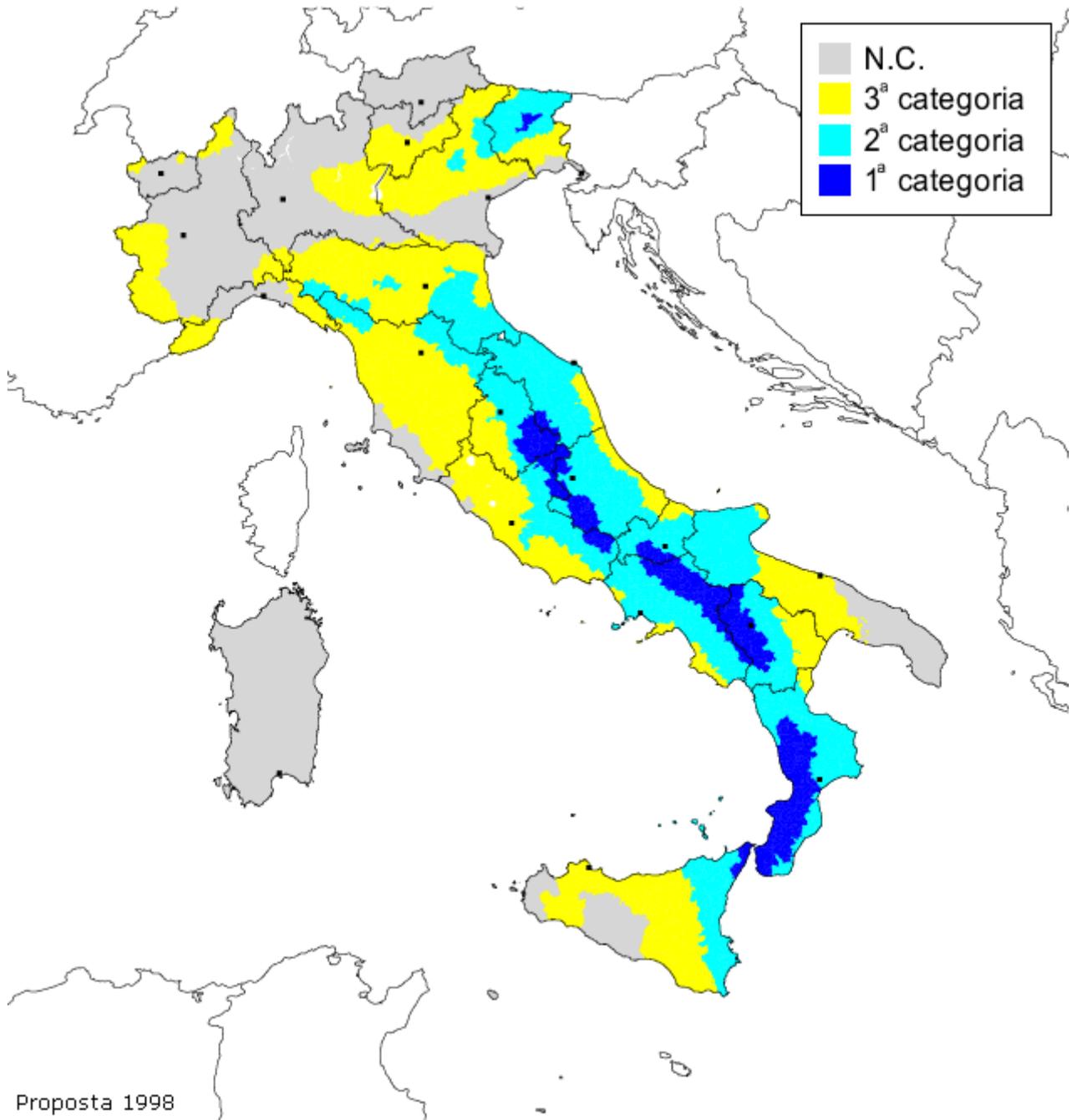


Figura 7: Proposta di riclassificazione sismica del territorio italiano (1998) a cura del Gruppo di Lavoro ING-GNDT-SSN costituito dalla Commissione Nazionale di Previsione e Prevenzione dei Grandi Rischi.

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274 del 20 Marzo 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" ha introdotto una nuova classificazione sismica suddividendo il territorio nazionale in quattro zone: ad alta sismicità la "zona 1", a media sismicità la "zona 2" e a bassa sismicità la "zona 3", mentre nella "zona 4" viene demandata alle regioni la facoltà di imporre o meno l'obbligo della normativa. L'Ordinanza n°3274/2003 stabilisce che le Regioni provvedono all'individuazione, formazione ed aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche. In **Figura 8** si riporta la zonazione sismica del territorio italiano con recepimento delle variazioni operate dalle singole Regioni (fino a marzo 2004).

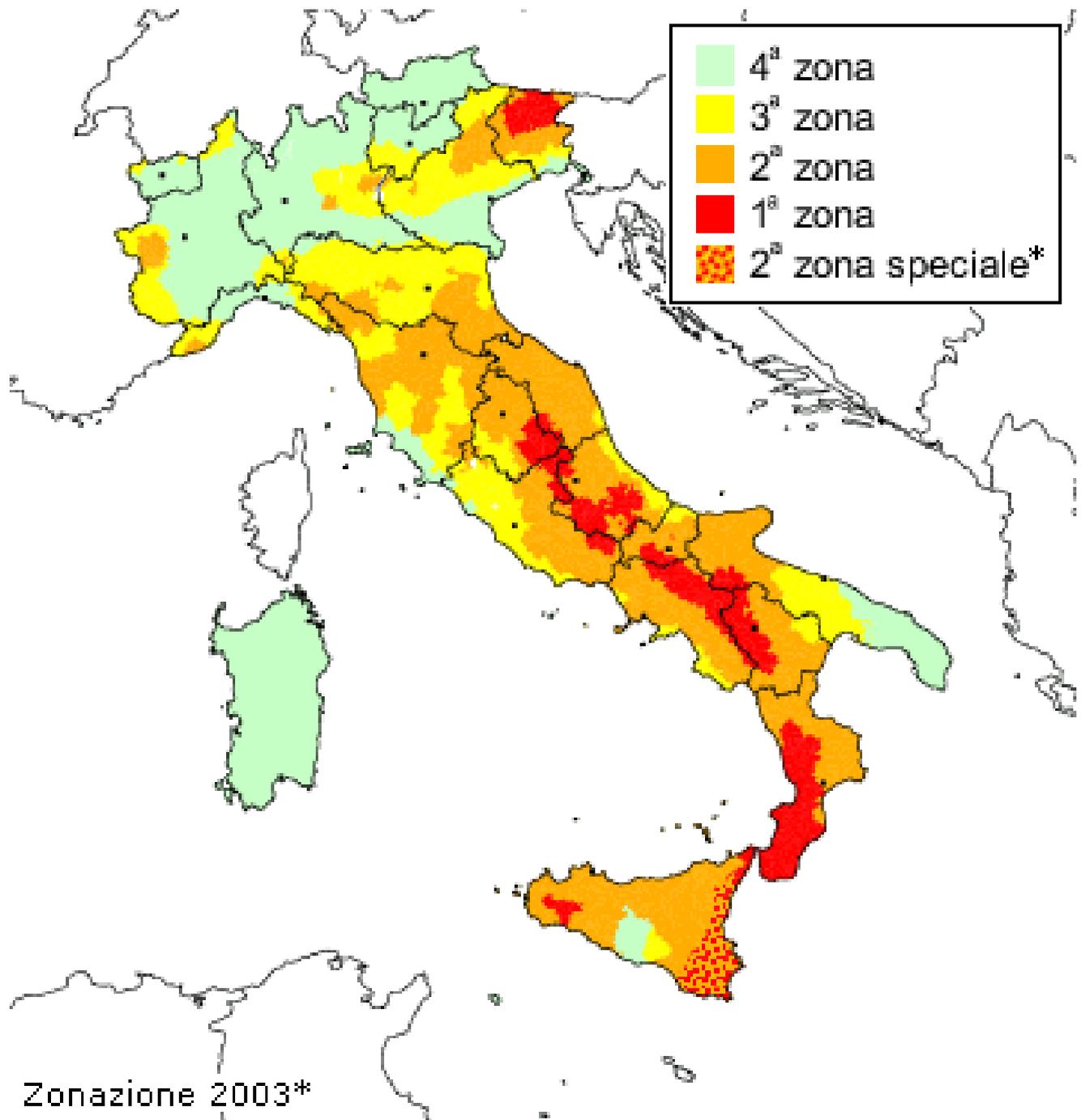


Figura 8: Zonazione sismica del territorio italiano con recepimento delle variazioni operate dalle singole Regioni (fino a marzo 2004).

4.2 STORIA SISMICA DELLE MARCHE

La conoscenza della storia sismica del territorio in esame è fondamentale nell'elaborazione della relazione per poter poi pianificare al meglio le eventuali attività di prevenzione. Dunque, con particolare riferimento alla Regione Marche, si citeranno i dati di sintesi di uno studio condotto dall'ing. Goretti del Dipartimento della Protezione Civile nazionale, dedicato alla storia della classificazione sismica del territorio nazionale.

A seguito del distruttivo terremoto di Avezzano del 1915, fu classificato sismico un solo comune ricadente nell'attuale provincia di Fermo. Tale classificazione rimase in vigore fino al 1924, data in cui, a seguito del terremoto avvenuto in Garfagnana nel 1920, diversi comuni della provincia di Pesaro furono classificati sismici. Il Comune del fermano prima citato fu invece declassificato a zona non sismica.

Il primo vero evento sismico che coinvolse direttamente le Marche fu il terremoto di Senigallia del 1930; a seguito di tale evento furono classificati sismici diversi comuni anche della provincia di Ancona, tutti collocati però in prossimità della fascia costiera, proprio dove era avvenuto il sisma.

Dopo appena due anni la classificazione cambiò di nuovo, non tanto nell'elenco dei comuni classificati o non classificati, quanto piuttosto sull'assegnazione della categoria sismica; i comuni classificati in zona di prima categoria furono spostati in seconda. Tale declassificazione ha comportato in termini pratici una riduzione delle forze sismiche orizzontali con cui si dovevano progettare le strutture, facendola scendere a circa un 7% della massa dell'edificio, contro il 10% della precedente catalogazione.

La successiva classificazione del territorio marchigiano avvenne nel 1962 a seguito del terremoto dell'Irpinia(1962); nonostante nel 1943 I Marche furono interessate dal forte terremoto di Offida (AP) la legge che sancì la nuova classificazione comportò il declassamento di molti comuni del pesarese.

Le ragioni di tali declassificazioni furono semplici quanto inopportune poiché una norma statale consentì tali operazioni nei comuni a forte sviluppo economico-turistico. Le conseguenze non furono banali perché tale azzeramento della protezione sismica degli edifici costruiti nelle zone declassificate, coincisero con il boom dello sviluppo del cemento armato che proprio in quegli anni conosceva una forte espansione. Furono però classificati alcuni comuni della provincia di Ascoli ed in misura minore di Macerata, dove si risentì degli effetti provocati dal terremoto di Offida, di cui comunque non si era persa memoria.

La storia della classificazione sismica del territorio nazionale ed in particolare di quello marchigiano, subì una forte inversione di tendenza a seguito del distruttivo terremoto che coinvolse il Friuli nel 1976 e di nuovo l'Irpinia nel 1980. Mentre fino al 1980 infatti la classificazione andava dietro gli eventi sismici e non si adottavano misure preventive, da questo momento in poi iniziò il primo studio per la realizzazione di mappe di scuotibilità.

Questi studi portarono alla classificazione del 1983 che vide classificata sismica praticamente tutta la Regione Marche ad eccezione di alcuni comuni nella costa della provincia di Ascoli.

Nel frattempo le conoscenze nel settore della pericolosità sismica aumentarono, così come certamente migliorò la norma sismica di progettazione(DM 1996); la Commissione Grandi Rischi incarica il gruppo di lavoro (SSN-GNDT- INGV) per la redazione di una proposta di riclassificazione del territorio italiano propose nel 1998 una nuova classificazione sismica (la più vicina alle attuali mappe), ma questa non fu accolta e non divenne legge.

Le Marche furono coinvolte direttamente dal forte terremoto umbro-marchigiano del 1997; tale evento suscitò ovviamente ulteriori dubbi sulla correttezza e significatività dell'allora vigente mappa di pericolosità(1983), ma solo dopo l'anno 2003 (terremoto di San Giuliano di Puglia) si mise fine alle

incertezze ed ai tentennamenti sull'adozione di una nuova classificazione sismica del territorio nazionale e si costrinse le varie regioni a riclassificare i propri comuni. Con delibera 1046 del 2003 la Regione adottò quella che è attualmente la divisione in zone sismiche del territorio marchigiano.

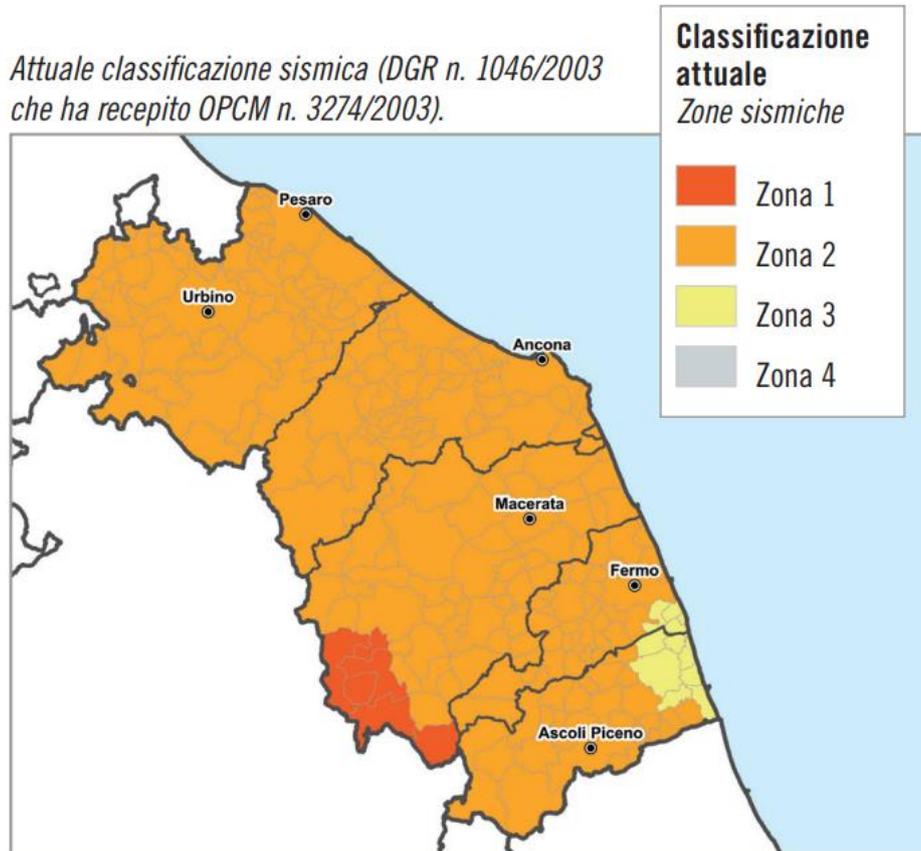


Figura 9: Attuale classificazione sismica della Regione Marche.

Gli studi sulla pericolosità sismica del territorio nazionale dal 2003 non sono mai cessati ed attualmente continuano portando al perfezionamento sempre più significativo dei dati di classificazione: occorre comunque rilevare che negli ultimi anni le mappe di pericolosità che vengono fornite sono caratterizzate dall'indicazione dei valori massimi delle accelerazioni di base attese su suolo rigido per ogni località, mentre la precedente classificazione associava questo valore di progetto con la zona sismica. La divisione in zona sismica 1, 2, 3 e 4 è dunque diventata ad esclusivo uso amministrativo, da utilizzarsi ad esempio per le attività di pianificazione urbanistica, mentre i valori delle **ag** forniti dalle mappe di pericolosità devono essere utilizzati per il progetto dell'opera.

Con ordinanza 3907/2011 sono stati resi disponibili i nuovi dati di pericolosità relativi alla Regione Marche, in termini di accelerazione attesa su suolo rigido, Comune per Comune.

E' interessante notare come la storia dell'evoluzione della classificazione sismica della Regione Marche porti ad un risultato in parziale contraddizione con quanto prevedevano le prime classificazioni, figlie esclusivamente degli "effetti" macrosismici dei vari terremoti che avvenivano in Italia.

E' emblematico notare che mentre fino agli anni '80 erano i comuni costieri quelli più a rischio, l'approfondimento degli studi e l'evoluzione delle tecniche di indagine (micro-zonazione) hanno spostato le zone a maggior potenziale sismogenetico nell'entroterra, ai confini con l'Umbria ed il Lazio, proprio laddove

in termini di rischio il livello è maggiore anche a causa della vulnerabilità del costruito, progettato in totale assenza di norme sismiche.

I dati statistici a disposizione e risalenti al 2001, dimostrano tra l'altro che più dell'80% del costruito nella regione Marche è stato progettato prima del 1980 e dunque in assenza di una norma sismica giudicata dal normatore sufficientemente valida.

Valutazione della vulnerabilità sismica di edifici esistenti

Provincia	Epoca di costruzione							Totale
	Prima del 1919	Dal 1919 al 1945	Dal 1946 al 1961	Dal 1962 al 1971	Dal 1972 al 1981	Dal 1982 al 1991	Dopo il 1991	
PESARO-URBINO	23.79%	13.49%	14.66%	18.84%	15.93%	7.56%	5.73%	100.00%
ANCONA	23.80%	13.37%	13.88%	16.38%	17.31%	8.90%	6.36%	100.00%
MACERATA	28.64%	11.09%	11.93%	16.85%	18.56%	8.03%	4.90%	100.00%
ASCOLI PICENO	20.58%	11.84%	15.58%	18.34%	17.16%	9.86%	6.63%	100.00%
TOTALE REGIONE MARCHE	19.15%	12.33%	14.78%	17.53%	17.67%	11.50%	7.05%	100.00%
PESARO-URBINO	23.79%	37.28%	51.94%	70.78%	86.71%	94.27%	100.00%	PROGRESSIVO
ANCONA	23.80%	37.17%	51.05%	67.43%	84.73%	93.64%	100.00%	PROGRESSIVO
MACERATA	28.64%	39.73%	51.66%	68.51%	87.07%	95.10%	100.00%	PROGRESSIVO
ASCOLI PICENO	20.58%	32.42%	48.00%	66.35%	83.51%	93.37%	100.00%	PROGRESSIVO

Dati statistici indagine anno 2001

Figura 10: Valutazione della vulnerabilità sismica di edifici esistenti, dati statistici anno 2001.

A causa delle valutazioni di cui sopra, il panorama della situazione di rischio sismico della regione Marche appare significativo; sembra assolutamente opportuno attivare delle politiche di prevenzione del rischio che possano "incentivare" le attività di verifiche di vulnerabilità e possano portare all'adozione di interventi progettuali indirizzati anche verso il miglioramento sismico o la riparazione e rafforzamento locale. Solo in questi termini si potranno ridurre in maniera significativa i danni ed i costi che deriveranno dai futuri eventi sismici che coinvolgeranno le Marche.

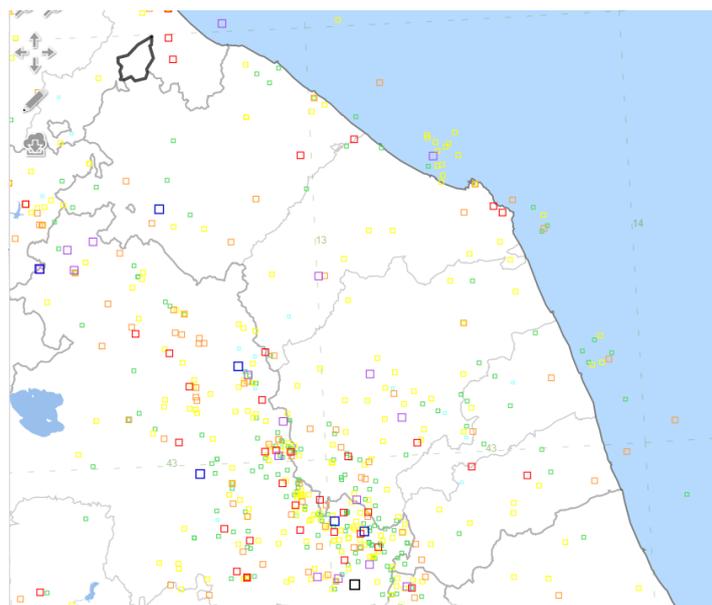


Figura 11: Mappatura degli eventi storici sismici della Regione Marche.

4.3 SISMICITÀ DELL'AREA D'INTERESSE

L'area d'interesse è situata lungo la costa adriatica all'interno del comune di Fano, precisamente tra Torrette e la foce del fiume Metauro che si trova 3km a sud del centro di Fano. La zona è interessata da attività geodinamica recente o attuale e caratterizzata da notevole attività sismica.

Al fine di inquadrare dal punto di vista della sismicità storica l'area in esame, si riporta di seguito un riepilogo delle osservazioni macrosismiche di terremoti al di sopra della soglia del danno che hanno interessato storicamente i comuni nei quali sono ubicati i siti di progetto.

Le informazioni riportate di seguito derivano dalla consultazione del nuovo DBMI15, il database macrosismico utilizzato per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 pubblicato nel luglio 2016.

Nelle tabelle successive si indica con:

Intensità	Intensità al sito (scala MCS)
Anno Me Gi Ora Mi Se	Data dell'evento
Io	Intensità epicentrale nella scala MCS
Area Epicentrale	Localizzazione epicentro
Mw	Magnitudo momento
NMDP	Numero di punti con dato macrosismico

Tabella 1 - Parametri per la classificazione dei terremoti.

Intensità	Data	Epicentro	NMDP	IO	Mw
3	1917 12 02 17 39	Appennino forlivese	32	6-7	5.09
4	1922 10 11 06 43 4	Costa anconetana	20	5	4.34
6	1924 01 02 08 55 1	Senigallia	76	7-8	5.48
4-5	1928 05 30 20 01	Senigallia	17	5	5.02
7-8	1930 10 30 07 13	Senigallia	268	8	5.83
3-4	1931 06 25 05 01	Senigallia	14	4-5	4.02
2	1933 09 26 03 33 2	Maiella	325	9	5.90
4	1936 10 18 03 10	Alpago Cansiglio	269	9	6.06
5-6	1937 11 26 21 58 3	Costa pesarese	7	5	4.16
4-5	1943 07 31 04 37	Senigallia	5	5	4.16
NF	1948 06 13 06 33 3	Alta Valtiberina	142	7	5.04
4	1950 09 05 04 08	Gran Sasso	386	8	5.69
2	1957 11 11 21 40	Costa anconetana	50	5	4.50
4	1962 01 23 17 31	Costa pesarese	49	5	4.35
F	1972 02 04 02 42 1	Costa anconetana	75		4.57
F	1972 02 04 09 18 3	Costa anconetana	56		4.36
F	1972 02 05 01 26 2	Costa anconetana	2		4.36
F	1972 02 05 07 08 1	Costa anconetana	6		4.46
F	1972 02 05 15 14 4	Costa anconetana	3		4.36
NF	1972 11 26 16 03	Marche meridionali	73	8	5.48
5	1972 11 30 11 29 2	Costa pesarese	30		4.52
F	1973 04 19 17 41 3	Pietralunga	22	7	4.61
4-5	1976 05 06 20 00 1	Friuli	770	9-10	6.45
2	1983 11 09 16 29 5	Parmense	850	6-7	5.04
3-4	1984 04 29 05 02 5	Umbria settentrionale	709	7	5.62
3	1987 07 05 13 12 3	Montefeltro	90	6	4.44
4-5	1997 09 26 09 40 2	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5.97
4	1998 04 05 15 52 2	Appennino umbro-marchigiano	395		4.78
2-3	2006 04 10 19 03 3	Maceratese	211	5	4.06
F	2016 08 24 01 36 3	Monti della Laga	221	10	6.18
F	2017 01 18 10 14 0	Aquilano	280		5.70

Tabella 2 - Eventi sismici che hanno influenzato la zona d'interesse.

Fano

PlaceID	IT_50450
Coordinate (lat, lon)	43.837, 13.018
Comune (ISTAT 2015)	Fano
Provincia	Pesaro e Urbino
Regione	Marche
Numero di eventi riportati	66

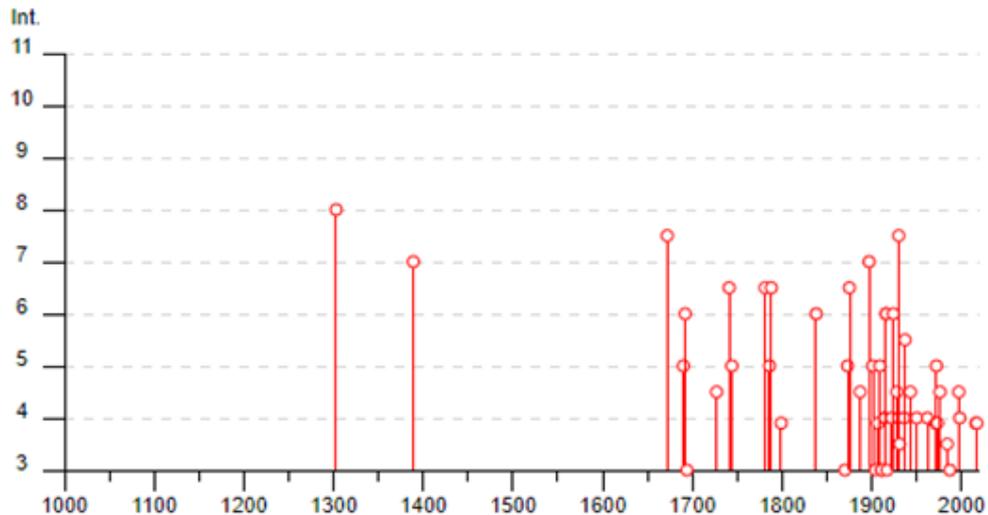


Figura 12: Grafico degli eventi sismici che hanno influenzato la zona d'interesse per data e intensità.

Il 20 febbraio 2018 sono state pubblicate sulla Gazzetta Ufficiale le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni elaborate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (Decreto 17/01/2018 del Ministero delle Infrastrutture). L'allegato A di tali Norme prevede che l'azione sismica di riferimento per la progettazione venga definita sulla base dei valori di pericolosità sismica proposti dall'Istituto Nazionale di Geofisica e di Vulcanologia (INGV) (<http://esse1.mi.ingv.it/ntc.html>) e definiti a valle di una PSHA, che restituisce una mappa del territorio nazionale suddivisa in punti disposti secondo una maglia quadrata di lato 0.05° e contenenti l'informazione sulla accelerazione di base, stimata come il 50° percentile della distribuzione, in riferimento ad uno scenario di 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni.

Le stime di pericolosità sismica proposte dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) sono state successivamente elaborate dal Consiglio Superiore per ottenere i parametri che determinano la forma dello spettro di risposta elastica; tali parametri sono proposti nell'allegato A del Decreto Ministeriale.

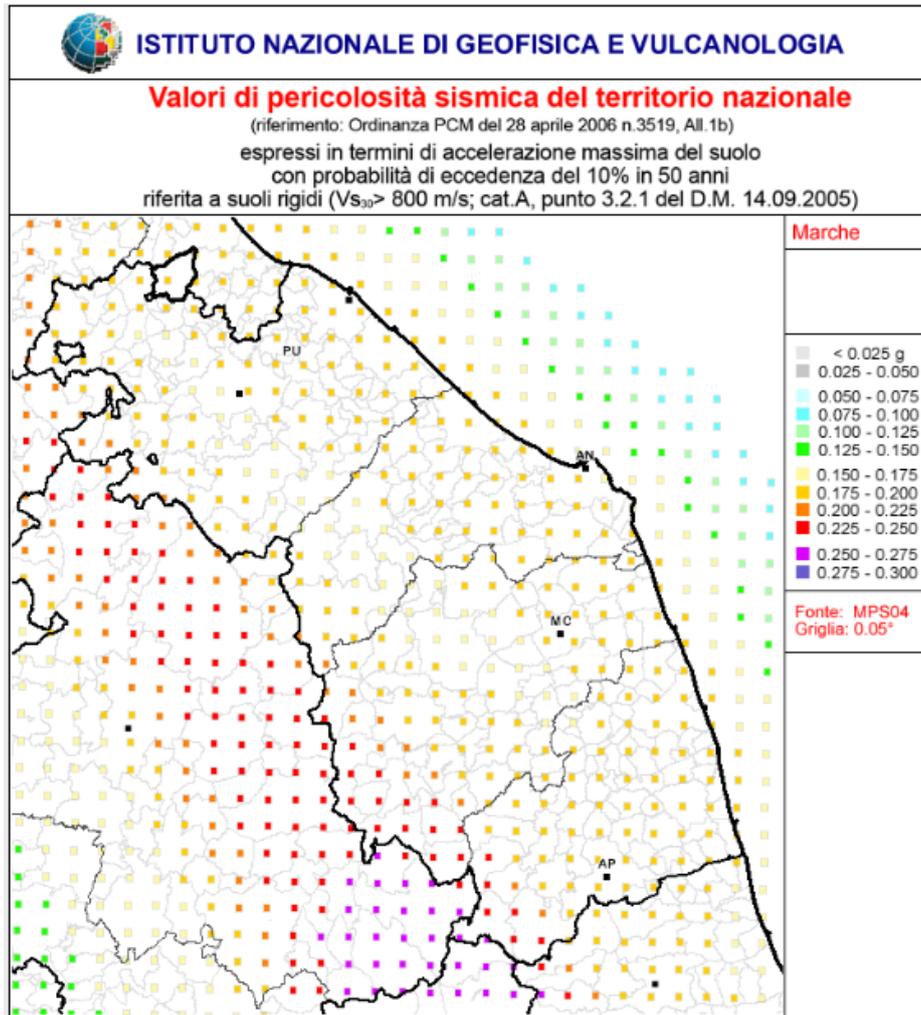


Figura 13: Mappa di pericolosità sismica della Regione Marche (da INGV).

4.4 STRUTTURE SIMOGENETICHE

La definizione delle strutture sismogenetiche si è basata sulla nuova versione (vers. 3.2.0) del “Database of Potential Sources for Earthquakes larger than M 5.5 in Italy”, inizialmente divulgato in forma preliminare nel luglio 2000.

Il Database contiene sorgenti sismogenetiche individuali e composite ritenute in grado di generare grandi terremoti. La nuova versione del Database contiene oltre 100 sorgenti sismogenetiche identificate attraverso studi geologico-geofisici. Tali sorgenti ricadono sull’intero territorio italiano e su alcune regioni confinanti.

L’assetto di queste sorgenti fornisce informazioni sull’andamento dei maggiori sistemi di faglie attive, consentendo in alcuni casi di individuare aree di potenziale gap sismico.

Il Database ha lo scopo di rendere più complete possibile le conoscenze sulle sorgenti sismogenetiche potenziali del territorio nazionale. Perciò, oltre ad un numero maggiore di sorgenti individuali, viene proposta una forma di rappresentazione e definizione di tutte le aree che, pur essendo capaci di generare forti terremoti, sono ancora poco comprese. È stata pertanto istituita una nuova categoria di aree

sismogenetiche per le quali viene fornita la localizzazione geografica, la stima del meccanismo di fagliazione, la profondità efficace e la magnitudo massima attesa. Dall'analisi emerge come il sito di progetto ricada all'interno di una sorgente sismogenetica composta ITCS032 denominata Pesaro-Senigallia Fault System e una sorgente di subduzione ITSD002 denominata "Northern Apennines Arc". L'attività tettonica in questa regione è dominata da faglie di spinta con andamento NW-SE, che controllano il piegamento e la deformazione superficiale.

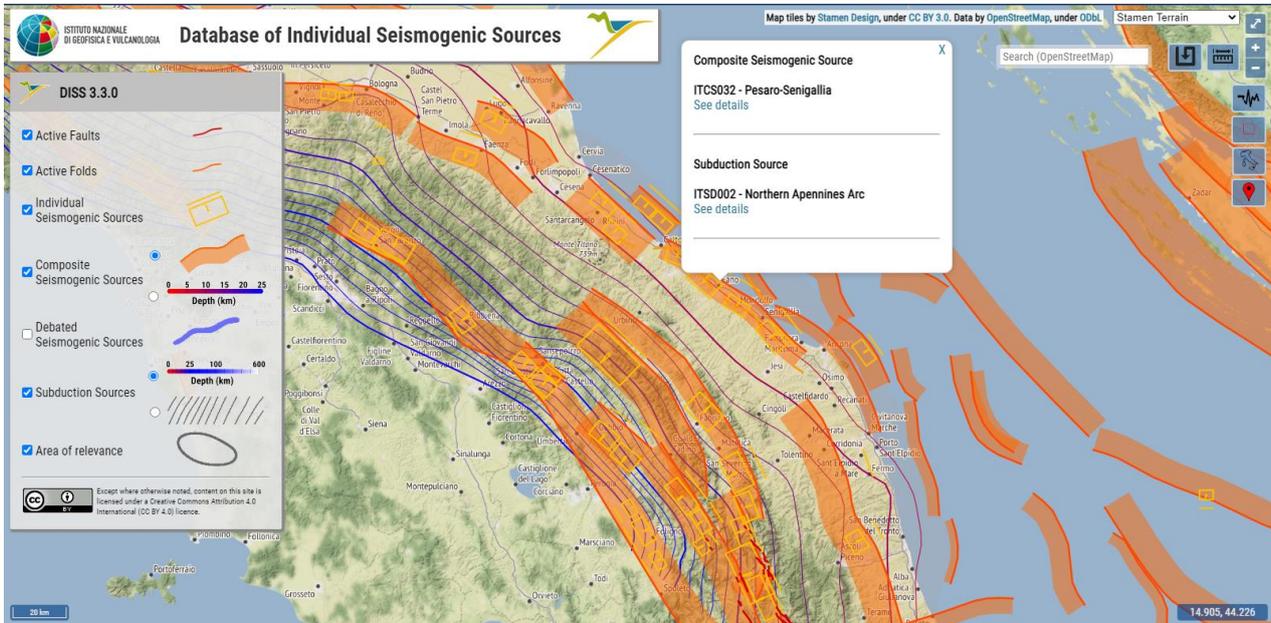


Figura 14: Strutture sismogenetiche dell'area d'interesse.

Sulla base delle originali elaborazioni relative alla definizione delle sorgenti sismogenetiche (DISS2.0-2001) è stato elaborato un modello sintetico che descrive la localizzazione delle sorgenti di futuri terremoti, la magnitudo massima che questi potranno raggiungere e i rates di sismicità attesa per ogni zona. La magnitudo massima di riferimento è di 6.3.

PARAMETRIC INFORMATION			
	Parameter	Quality	Evidence
Min depth [km]	3.0	OD	Based on geological data.
Max depth [km]	7.5	OD	Based on geological data.
Strike [deg] min... max	105...145	OD	Based on geological data.
Dip [deg] min... max	25...35	LD	Based on geological data from Maesano et al. (2013).
Rake [deg] min... max	80...100	EJ	Inferred from geological data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.2000... 0.5200	LD	Based on geological data from Vannoli et al. (2004) and Maesano et al. (2013).
Max Magnitude [Mw]	6.3	ER	Estimated from Leonard's (2014) scaling relations.

LD=Literature Data; OD=Original Data; ER=Empirical Relationship; AR=Analytical Relationship; EJ=Expert Judgement

Figura 15: Parametri specifici della struttura sismogenetica d'interesse.

Il lotto di terreno in considerazione è stato analizzato a livello geologico. È situato a circa 4,00 Km a sud di Fano e rientra nella fascia costiera a Sud della Foce del Metauro.

L'area perfettamente pianeggiante, ha una quota pari a 3-4 metri sul livello del mare dal quale dista circa 250 – 300 metri. Tale fascia litoranea è caratterizzata geologicamente dai depositi alluvionali e litoranei quaternari. I depositi dei terrazzi di III° e IV° ordine sono costituiti da sabbie, ghiaie e limi in alternanza, ed interessano tutta la vallata del torrente Arzilla, gran parte di quella del fiume Metauro e tutta la fascia costiera delle spiagge attuali.

Nella vallata del Metauro la loro estensione raggiunge una larghezza compresa fra 3 e 4 Km mentre, in senso longitudinale i loro spessori massimi variano fra 20 m, a monte, e 40 – 45 m in prossimità della costa.

Il terrazzo di IV° ordine è situato a quote comprese fra 2 – 3 m s.l.m., in prossimità della costa, e circa 25 m nella parte più a monte, mentre quello di III° ordine varia fra circa 8 m e 55 m s.l.m.

La situazione morfologica non presenta condizioni di particolare interesse per la stabilità e sul terreno non sono state riscontrate fessurazioni e/o lineazioni a testimoniare situazioni tensionali. L'idrogeologia è regolata da litotipi sabbiosi caratterizzati da permeabilità medio – alta e la falda quindi ha una buona continuità.

4.5 AZIONI SISMICHE DI RIFERIMENTO

Ai sensi del D.M. 17/01/2018, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto deve essere valutata l'influenza delle condizioni litologiche e geomorfologiche locali, determinando quindi la corrispondente categoria (o tipo) di sottosuolo nonché le condizioni topografiche del sito di interesse.

Secondo la normativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2. II delle NTC2018, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s . La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

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

h_i	spessore dell'i-esimo strato;
$V_{S,i}$	velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
N	numero di strati;
H	profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Figura 16: Equazione per il calcolo della velocità di propagazione delle onde di taglio.

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

4.6 LIQUEFAZIONE

Secondo la definizione dell'Eurocodice 8, la liquefazione denota una diminuzione di resistenza a taglio e/o di rigidità causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico, tale da generare deformazioni permanenti significative o persino all'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno. La liquefazione consiste quindi in una diminuzione della resistenza del terreno a seguito del raggiungimento della condizione di fluidità.

La perdita totale della resistenza viene raggiunta quando la pressione dell'acqua che satura gli interstizi arriva ad eguagliare la pressione di confinamento, rendendo nulle le tensioni efficaci trasmesse attraverso le particelle solide. Una volta che l'azione sismica ha innescato il processo di liquefazione, la massa del suolo resta in movimento fino a che non raggiunge una nuova condizione di stabilità.

Il fenomeno della liquefazione è profondamente influenzato dal numero dei cicli N del terremoto, dalla densità relativa D_r e dalla granulometria del terreno. Un terreno incoerente, a parità di altri fattori, è maggiormente esposto al pericolo della liquefazione quanto minore è la sua densità relativa. Il potenziale di liquefazione aumenta poi, ovviamente, al crescere di N (cicli del terremoto).

Il raggiungimento della condizione di liquefazione può dare origine ad effetti di varia natura, quali, nei casi più eclatanti:

- affondamento di edifici nel terreno;
- scorrimento di pendii;
- collasso di terrapieni, rilevati stradali e opere di terra in genere;
- collasso di palificate per perdita di connessione laterale;
- zampillio di copiosi getti d'acqua e di sabbia con formazione dei caratteristici coni eruttivi;
- collasso di opere di sostegno per sovrappinta del terreno a monte.

In questo contesto, il problema principale che si pone in fase di progettazione è la suscettibilità alla liquefazione quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sottofalda, anche se contenenti una frazione fine limoso-argillosa. In altre parole, è necessario valutare il potenziale di liquefazione del terreno ove devono essere realizzate le opere in progetto.

4.7 NOTE

La presente relazione è stata redatta al fine di fornire un quadro preliminare della sismicità del territorio interessato dalla ciclovia.

Una migliore definizione delle caratteristiche sismiche delle singole aree, in termini di effetti amplificativi locali, dovrà essere eventualmente affrontata nelle successive fasi di progettazione, nella quale potranno essere previste, laddove il rilievo delle aree ne metta in luce la necessità, specifiche indagini sismiche.

5. RELAZIONE SULLE STRUTTURE

5.1 DESCRIZIONE GENERALE

Le "Norme tecniche per le costruzioni" D.M. 14 Gennaio 2008, definiscono che, in sede di progetto vanno stabilite le caratteristiche generali del sottopasso, ovvero la sua localizzazione, la destinazione e la tipologia, le dimensioni principali, il tipo e le caratteristiche dei materiali strutturali impiegati ed il tipo delle azioni considerate ai fini del suo dimensionamento.

L'opera di maggior rilievo lungo il tracciato, e l'unica che necessita di uno studio strutturale dettagliato, è il sottopasso ferroviario ciclabile che verrà realizzato in corrispondenza del Km 160 della linea ferroviaria Ancona-Rimini.

Lo scatolare che sarà posizionato e andrà a fungere da sottopasso sarà realizzato in c.a. Questo monolite verrà inserito sotto i binari della ferrovia tramite il metodo dello "spingitubo" o "varò a spinta". Questa tecnica consiste nella costruzione di tutta la struttura scatolare monolitica in cemento armato e la sua successiva infissione nel terrapieno sotto i binari, senza interruzione del normale traffico dei convogli. Per questo verrà costruito il "piano di varò" consistente in una platea di fondazione ed un muro reggispinta atti al contrasto per la successiva spinta e scorrimento del monolite. Prima della spinta si procederà alla cosiddetta "fasciatura dei binari", ovvero alla posa e legatura dei singoli binari con coppie di putrelle per irrigidire, evitare pericolose deformazioni e permettere la libera circolazione dei treni durante i lavori. Il sottopassaggio sarà dotato di sistema di pompaggio continuo delle acque meteoriche raccolte al suo interno. Il sottopasso e le rampe saranno dotati di impianto di illuminazione collegato con quello della pista ciclabile. La dimensione del monolite in c.a. sarà 2.60 x 3.50 metri internamente e 3.40 x 4.30 metri esternamente, dunque avrà uno spessore di 0.40 metri. Uno schema dello scatolare nella posizione finale è riportato nella **Figura 17**. Lo scatolare deve essere posizionato almeno un metro sotto il "piano del ferro".

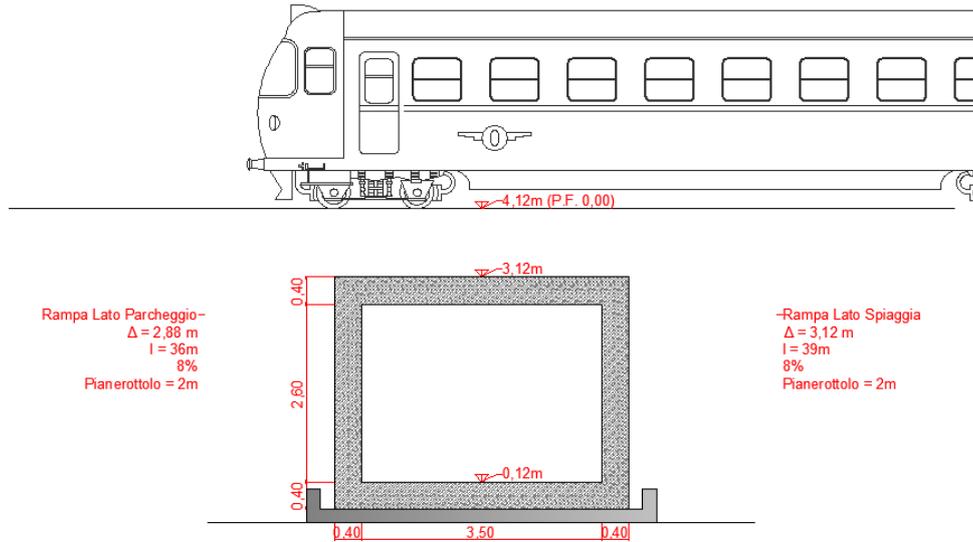


Figura 17: Sezione scatolare e rampe d'accesso del sottopassaggio ciclabile.

Le figure 18 e 19 mostrano la l'ingombro e la posizione del cantiere. La realizzazione del sottopassaggio avviene in tempi relativamente brevi in modo da disturbare il meno possibile la linea ferroviaria. Lo scavo iniziale necessario verrà eseguito nell'area che ad oggi viene utilizzata a parcheggio dal Camping Metauro , che verrà temporaneamente occupata e successivamente ai lavori ripristinata.

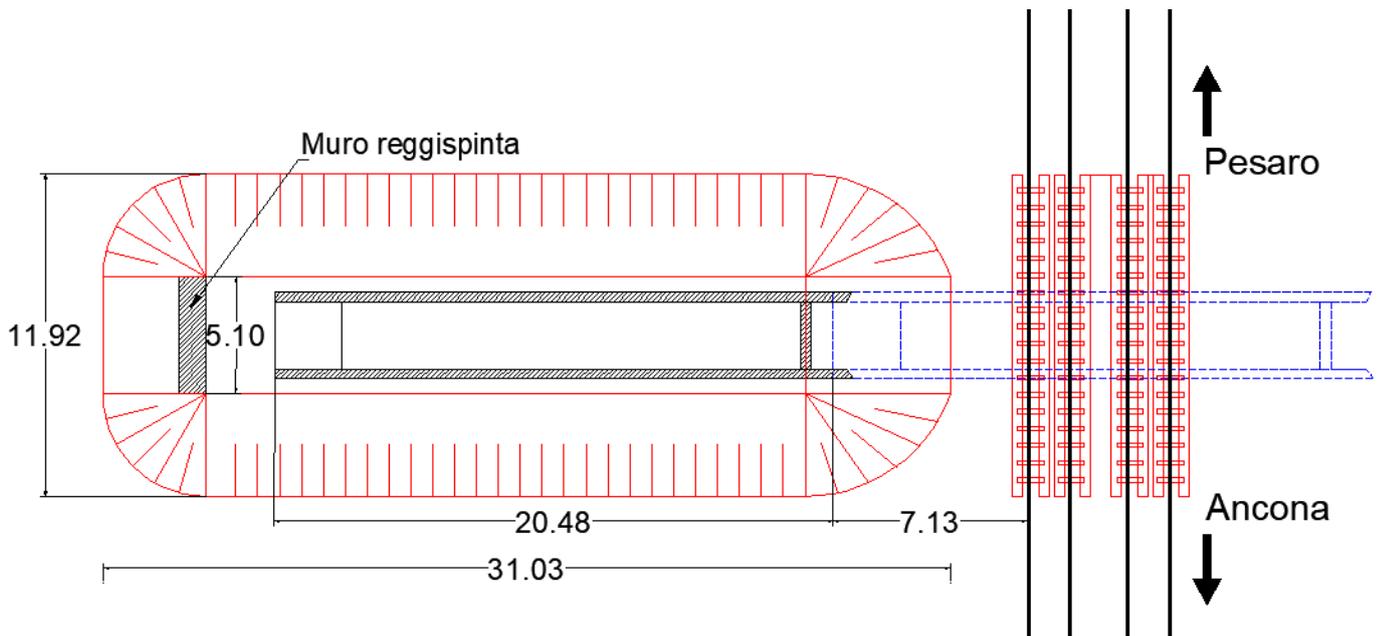


Figura 18: Schema scavo di cantiere e area d'ingombro dei lavori.

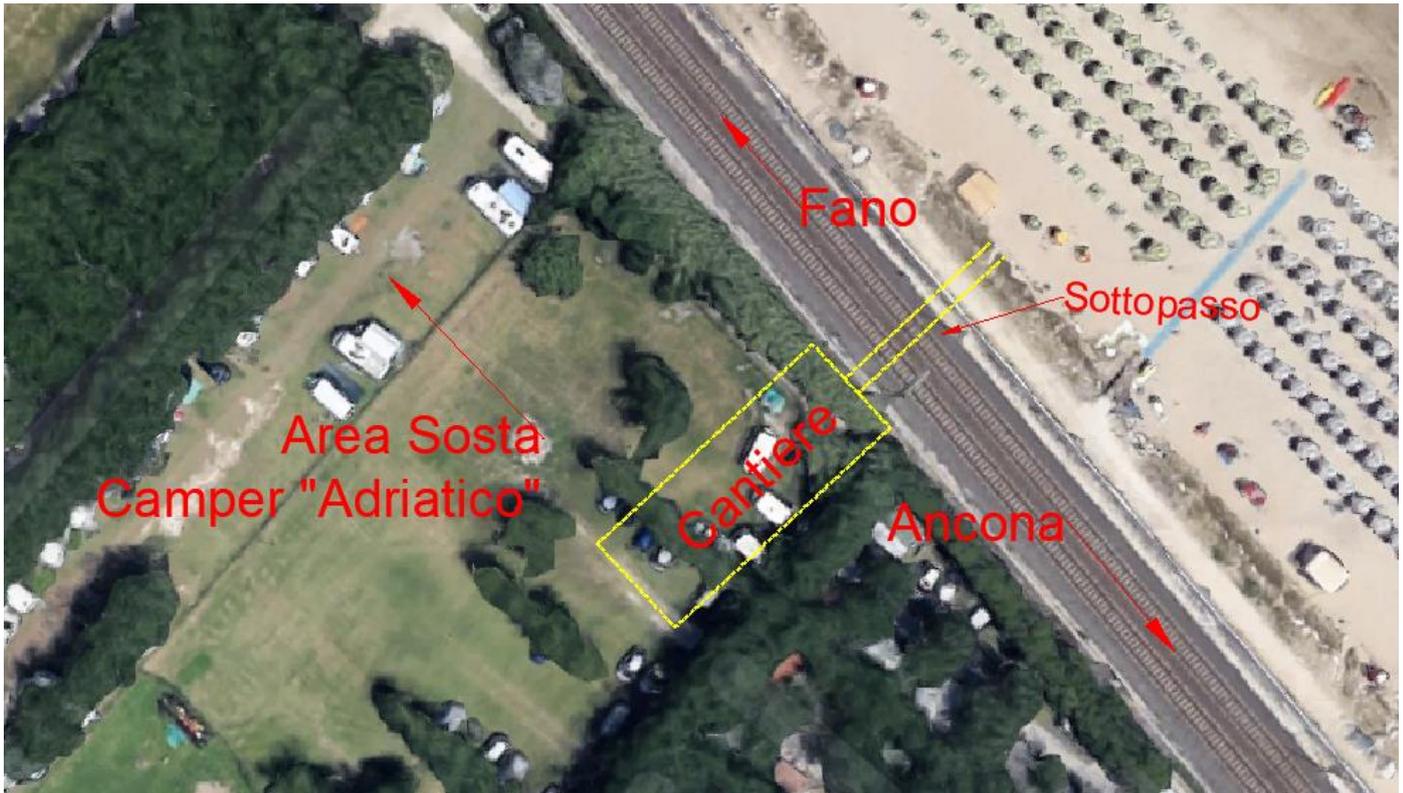


Figura 19: Inserimento del sottopassaggio e relativo cantiere nella zona d'interesse.

5.2 AZIONI

Le azioni da considerare nel calcolo del sottopasso sono:

- azioni permanenti: peso proprio degli elementi strutturali e non e carichi permanenti portati
- distorsioni: ritiro, variazioni termiche e viscosità
- azioni variabili: i carichi variabili da traffico sono definiti dagli schemi di carico convenzionali e disposti su corsie convenzionali
- incremento dinamico dei carichi mobili dovuto ad azioni dinamiche
- azioni longitudinali di frenamento o di accelerazione
- azione centrifuga
- azioni di vento e neve
- azioni sismiche
- resistenze parassite dei vincoli

5.3 AZIONE SISMICA

Le NTC 2008 definiscono l'azione sismica in termini di spettri di risposta per i vari stati limite, infatti, pur permanendo una zonazione sismica di riferimento per intervalli di accelerazione al suolo, l'azione sismica è definita in maniera puntuale, per ogni sito del territorio italiano. La pericolosità sismica di base è definita dall'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia).

Per una generica costruzione, il periodo di riferimento VR nel quale valutare la pericolosità sismica, definito nel p.to 2.1.3 delle NTC 2008, è individuato sulla base delle decisioni prese in sede di progetto e dell'uso che della costruzione viene fatto. Su tale base si fissano, rispettivamente:

⇒ la vita nominale VN della costruzione, definita nel NTC 2008 2.1.1;

⇒ il coefficiente d'uso CU della costruzione, definito nel NTC 2008 2.1.3.

La vita nominale di un'opera strutturale VN è intesa come il numero di anni nel quale l'opera, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella Tab. 2.4.I delle NTC 2008 e deve essere precisata nei documenti di progetto.

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale V_N (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva ¹	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

Tabella 3 – Vita nominale VN per diversi tipi di opere – Tab. NTC 2008 2.4.I

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

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

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Nel caso in oggetto viene attribuita la classe d'uso III.

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento VR che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale VN per il coefficiente d'uso CU (NTC 2008 formula 2.4.1): $V_R = V_N * C_U$

Il valore del coefficiente d'uso CU è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato in tabella.

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Tabella 4 – Valori del coefficiente d'uso C_u – Tab. NTC 2008 2.4.II

Se $VR \leq 35$ anni si pone comunque $VR = 35$ anni.

Nel caso in esame $C_U=1,5$.