

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

MICROZONAZIONE SISMICA

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia
Comune di Trieste



Regione	Soggetto realizzatore	Data
Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia	Dott. Geol. Marsich Paolo Dott. Geol. Zavagno Enrico	Marzo 2016

Sommario

1	Introduzione.....	3
2	Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento.....	6
3	Assetto geologico e geomorfologico dell'area.....	17
3.1	Assetto geomorfologico.....	17
3.2	Assetto idrogeologico.....	20
3.2.1	Territorio carsico.....	21
3.2.2	Territorio flyschoidale.....	22
3.2.3	Sedimenti quaternari.....	22
3.3	Assetto geologico.....	22
3.3.1	Calcari di Aurisina (AUR).....	23
3.3.2	Formazione Liburnica (LIBa e LIBb).....	24
3.3.3	Calcari ad Alveoline e Nummuliti (ALV).....	24
3.3.4	Flysch di Trieste (FT).....	25
3.3.5	Sedimenti quaternari di origine alluvionale.....	26
3.3.6	Detrito di versante attuale e pleistocenico.....	26
3.3.7	Coltre eluvio-colluviale, depositi colluviali.....	26
3.3.8	Terre rosse.....	26
3.3.9	Sedimenti marini.....	27
3.3.10	Riporti.....	27
3.4	Assetto tettonico generale.....	30
4	Dati geotecnici e geofisici.....	34
4.1	Indagini pregresse.....	34
4.2	Nuove indagini geofisiche.....	35
4.3	Dati geofisici.....	37
5	Modello di sottosuolo.....	38
6	Interpretazioni ed incertezze.....	41
7	Metodologie di elaborazione e risultati.....	44
7.1	Indagini sismiche passive a stazione singola H.V.S.R.....	44
7.2	Definizione delle MOPS.....	45
7.3	Definizione delle zone di attenzione per liquefazioni.....	47
7.4	Definizione delle zone di attenzione per instabilità di versante.....	48
7.5	Definizione delle zone di attenzione per cedimenti differenziali/crollo di cavità sotterranee/sinkhole.....	48
8	Elaborati cartografici.....	50
8.1	Carta delle indagini.....	50
8.2	Carta Geologico-Tecnica.....	50

8.3	Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (Carta delle MOPS).....	52
8.3.1	Zone stabili	53
8.3.2	Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali	53
8.3.3	Zone di attenzione per instabilità	59
9	Confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati.....	61
10	Bibliografia	62
11	Allegati	63

1 Introduzione

Il presente studio di Microzonazione Sismica di 1° livello del Comune di Trieste è stato redatto a seguito dell'affidamento, in data 21/08/2015, dell'incarico per la sua redazione in collaborazione con il dott. geol. Enrico Zavagno.

Per la redazione del presente studio si è fatto riferimento a quanto previsto da:

- DGR 1661/2013;
- O.C.D.P.C. 52/2013;
- OPCM 3907 del 13 novembre 2010;
- "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica"- Dipartimento della protezione civile- approvato dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome – 2008;
- "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica – Microzonazione sismica – ver. 3.0 –Ottobre 2013;
- "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica, precisazioni ed integrazioni, Regione Friuli Venezia Giulia" (approvato con il decreto del Direttore del Servizio edilizia n°2347/PMTM dd.06/08/2015);
- "Indirizzi regionali di utilizzo per la rappresentazione ed archiviazione informatica ai sensi della DGR 1661 dd. 13/09/2013" (approvati con il decreto del Direttore del Servizio edilizia n°2347/PMTM dd.06/08/2015).

Lo studio di Microzonazione Sismica di 1° livello (MS1) rappresenta la fase propedeutica ai veri e propri studi di MS (livello 2 e 3), in quanto consiste in una raccolta di dati preesistenti, elaborati per suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee dal punto di vista del comportamento sismico. La perimetrazione di tali microzone viene rappresentata nella Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (Carta delle MOPS), che rappresenta una base conoscitiva su cui sviluppare la valutazione della pericolosità sismica locale.

Nell'ambito del presente studio sono stati raccolti dati geologici, geotecnici e geofisici mediante consultazione di cartografia geologica, di studi geologici a supporto della pianificazione territoriale e di indagini geognostiche eseguite a supporto della progettazione di infrastrutture o fabbricati.

Al fine di rendere omogenea sull'intero territorio comunale la lettura dei dati geologico tecnici reperiti da bibliografia e da studi precedenti è stata eseguita una campagna di indagini sismiche passive a stazione singola HVSR.

Secondo quanto previsto dal contratto d'incarico, in data 05/10/2015 è stata consegnata all'Amministrazione Comunale la *Relazione sulla delimitazione dell'area di studio* e la *Carta per la delimitazione dell'area di studio*, redatte sulla base dello strumento urbanistico comunale allora adottato, ora approvato, tenendo conto delle zone escluse ai sensi dei commi 4 e 5 dell'art. 5 dell'OPCM 3907 del 13 novembre 2010 e della L.R. 11 agosto 2009, n. 16.

Di seguito si riportano i criteri adottati per la redazione di tale cartografia:

I commi 4 e 5 dell'art. 5 dell'OPCM 3907 del 13 novembre 2010 formulano le seguenti disposizioni:

4. Sono escluse dall'esecuzione della microzonazione sismica le zone che incidono su Aree Naturali Protette, Siti di Importanza Comunitaria (SIC), Zone di Protezione Speciale (ZPS) e Aree adibite a verde pubblico di grandi dimensioni, come indicate nello strumento urbanistico generale che:

a) non presentano insediamenti abitativi esistenti alla data di pubblicazione della presente ordinanza;

b) non presentano nuove edificazioni di manufatti permanenti o interventi su quelli già esistenti;

c) rientrano in aree già classificate R4 dal piano per l'assetto idrogeologico (PAI).

5. La presenza nelle aree di manufatti di classe d'uso «I» ai sensi del punto 2.4.2 del D.M. 14.01.2008, di modeste dimensioni e strettamente connessi alla fruibilità delle aree stesse, non determina la necessità di effettuare le indagini di microzonazione sismica.

Nel fascicolo "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica – Parti I e II", al par. 1.7.2.2 Livello conoscitivo degli studi di microzonazione viene indicato quanto segue:

"Per il livello territoriale di area vasta la predisposizione degli studi di livello 1, pur avendo delle forti limitazioni per l'assenza di informazioni quantitative, se realizzata in modo estensivo, è da considerarsi strategica per le politiche di riduzione del rischio a scala nazionale.

Il livello territoriale provinciale è generalmente quello ottimale per garantire, attraverso la realizzazione degli studi di livello 1, una base conoscitiva omogenea, che è possibile far corrispondere ai livelli di pianificazione d'area vasta propri del territorio provinciale stesso.

Gli studi di livello 1 rappresentano comunque la condizione conoscitiva di base per tutti i comuni classificati nelle zone a sismicità alta (zona 1), media (zona 2), bassa (zona 3) ed, eventualmente, molto bassa (zona 4), indipendentemente dall'iniziativa in tal senso dei livelli territoriali superiori. Per i comuni classificati in zona 4 gli studi di livello 1 rappresentano una condizione conoscitiva di base nel caso in cui la Regione abbia imposto l'applicazione della normativa antisismica o l'adozione di obiettivi di riduzione del rischio sismico anche in tali comuni (vedi Scheda tecnica Zonazione sismica e Classificazione sismica dei comuni). Questi studi vanno effettuati tenendo conto della necessità di limitare l'indagine e di definire priorità in funzione dei criteri di seguito approfonditi.

In linea generale è da evitare l'estensione all'intero territorio di questi studi, in quanto tali indagini possono comportare costi e tempi non giustificati in termini di benefici collettivi. A tal fine sono individuate le categorie di aree da escludere dall'indagine ("aree escluse").

Le categorie di aree escluse possono essere definite come quelle aree per le quali le condizioni contestuali o normative non consentono o non prevedono le trasformazioni insediative o infrastrutturali. Ad una prima ricognizione e a titolo esemplificativo tali categorie di aree possono essere identificate come le aree a vario titolo escluse da trasformazioni insediative per la sussistenza di provvedimenti e normative di tutela fortemente limitativi delle trasformabilità dell'area. Le Regioni individuano, in funzione dei rispettivi contesti territoriali e normativi, le categorie di aree escluse al cui interno la predisposizione degli studi di livello 1, se rappresenta un onere per la comunità, è da ritenersi impropria. Le Province, anche con la collaborazione e il contributo dei Comuni, specificano e localizzano sul territorio le aree corrispondenti alle categorie indicate dalle Regioni."

Il par. 1.7.3.3.1 *Recepimento e integrazione delle strategie urbanistiche* indica che "nelle aree destinate all'attività agricola, o in altre aree ricadenti nelle aree escluse dalla analisi della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica, per gli interventi riguardanti gli edifici esistenti o di nuova edificazione vale quanto stabilito per la progettazione di opere (capitolo 1.9)."

Legge regionale 11 agosto 2009, n. 16 riporta, all'art 16 bis, quanto segue:

1. *Gli strumenti urbanistici generali, così come definiti dalla legge regionale 5/2007, sono corredati di studi di microzonazione sismica, secondo quanto previsto dal documento "Indirizzi e criteri per la Microzonazione sismica", approvato dalla Conferenza Unificata delle Regioni e delle Province autonome in data 13 novembre 2008, nonché dalle specifiche emanate dalla Regione con deliberazione della Giunta regionale 13 settembre 2013, n. 1661 (Integrazioni agli indirizzi e criteri per la microzonazione sismica per gli studi da realizzarsi nell'ambito del territorio regionale (ai sensi dell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3907 e seguenti)).*

2. *Gli studi di cui al comma 1 sono applicati su quelle aree per le quali le condizioni normative consentono almeno uno dei seguenti utilizzi ovvero prevedono la loro potenziale trasformazione a tali fini:*

a) scopi edificatori a prescindere dalla destinazione d'uso urbanistica;

b) realizzazione di infrastrutture;

c) interventi di protezione civile.

Sulla base di quanto sopra richiamato si è proceduto alla definizione delle aree escluse dallo studio di microzonazione sismica sulla base del Piano Regolatore Generale Comunale. Lo strumento urbanistico al quale si è fatto riferimento per la delimitazione della zona di studio è il Piano Regolatore Generale Comunale – Aprile 2013, adottato in data 16/04/2014 ed approvato in data 21/12/2015.

Il perimetro dell'area di studio prevista esclude, in linea generale, le aree poste in prossimità del confine comunale e classificate:

-F2 - Di tutela ambientale di ambiti boschivi;

-F3 - Di tutela ambientale di interesse silvo-zootecnico;

-F4 - Di tutela ambientale di interesse agricolo paesaggistico;

-E2 - Agricole e forestali ricadenti negli ambiti boschivi.

Operativamente l'area di studio è stata ottenuta includendo nel perimetro una fascia di circa 50 m lungo il margine definito come sopra specificato. Inoltre sono state incluse nell'area di studio le aree classificate F2, F3, F4 ed E2 nei casi in cui risultavano circondate completamente da aree non da escludersi dallo studio e nel caso di dimensioni modeste.

Il territorio del Comune di Trieste ha un'estensione complessiva di circa 84 Km² e una popolazione residente di 203.953 abitanti (dati Anagrafe Comunale riferiti a dicembre 2015). L'areale di studio per la Microzonazione Sismica di Primo livello del Comune di Trieste comprende poco più del 91% del territorio comunale.

È stato utilizzato il limite comunale nella ultima versione 2014 (shapefile "COMUNI_FVG_2014" scaricabile dal WebGIS sul sito della Regione FVG), così come richiesto dalla Regione.

2 Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento

Per la definizione della pericolosità sismica di base si fa riferimento alla *Mapa di pericolosità sismica del territorio nazionale* (riferimento: Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n.3519, All.1b), espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ($V_s > 800$ m/s; cat.A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005), di cui si allega di seguito un estratto riferito al territorio regionale (Figura 2.1) ed un dettaglio dell'intorno del territorio comunale (Figura 2.2).

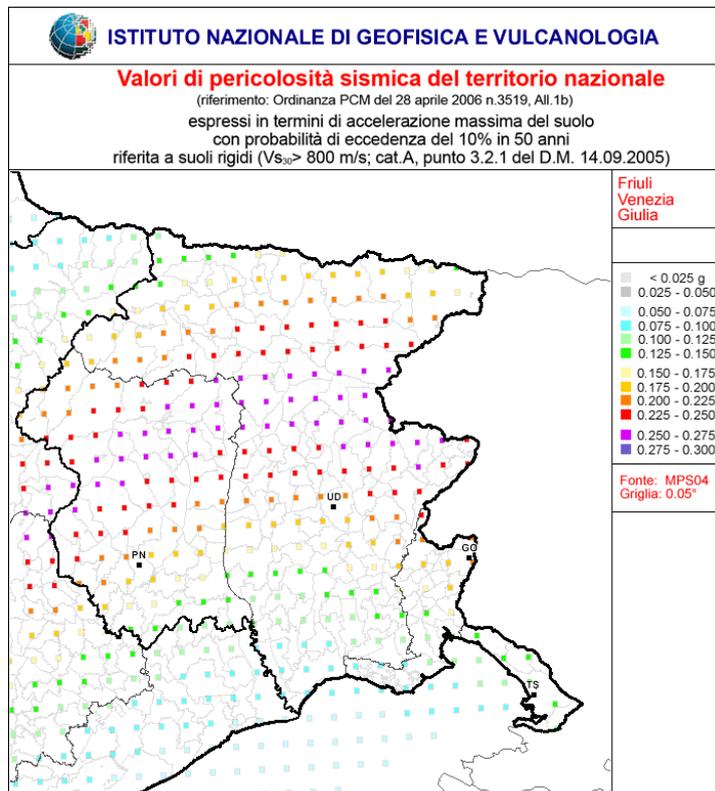


Figura 2.1: estratto della *Mapa di pericolosità sismica del territorio nazionale* (http://zonesismiche.mi.ingv.it/mappa_ps_apr04/friuli.html)

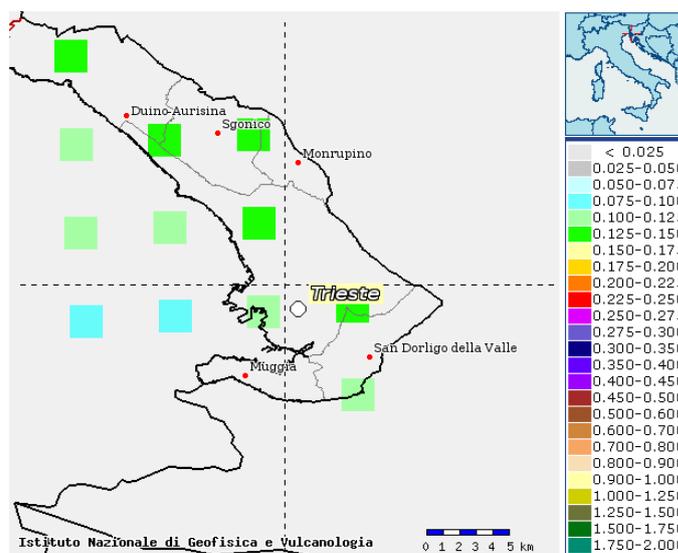


Figura 2.2: dettaglio dell'intorno del territorio comunale della *Mapa di pericolosità sismica del territorio nazionale* (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>)

Il Decreto della Giunta Regionale n. 845/2010, di recepimento della normativa nazionale in materia di classificazione sismica, assegna il Comune di Trieste alla Zona Sismica 3 di bassa sismicità.



Figura 2.3: estratto della mappa della classificazione sismica del territorio del Friuli Venezia Giulia (D.G.R. 854/2010)

Considerato che sul territorio comunale sono presenti sia substrati stabili, sia terreni di copertura, per la definizione della pericolosità sismica di base si allega di seguito la Mappa di Pericolosità Sismica per il Friuli Venezia Giulia in termini di PGA con un tempo di ritorno di 475 anni, redatta da Carulli et al. (2002, 2003) (Figura 2.4) a supporto formulazione della Mappa di Rischio Sismico per la Protezione Civile Regionale. La Mappa di Pericolosità Sismica è stata ottenuta come media di quella calcolata utilizzando diverse relazioni di attenuazione per i diversi tipi di suolo (roccia, suolo rigido e terreno soffice) e quella ottenuta dall'applicazione di fattori di amplificazione semplificati basati su colonne stratigrafiche locali.

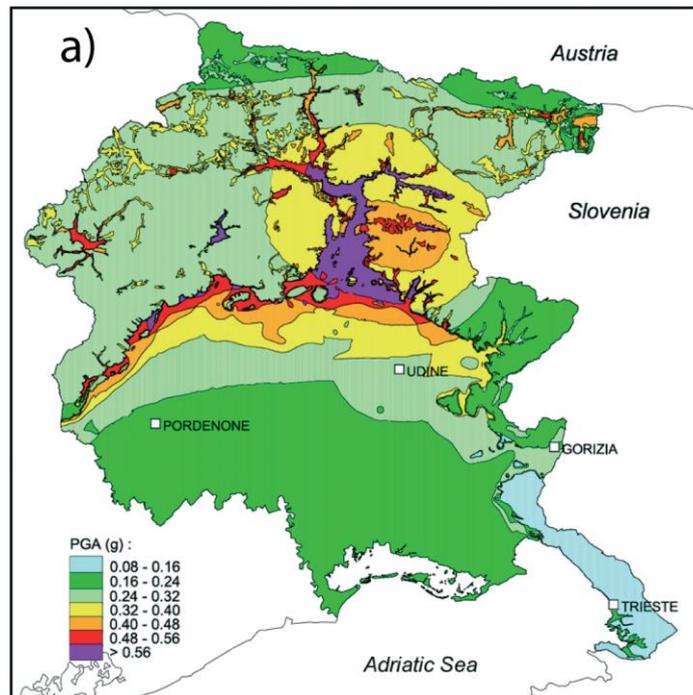


Figura 2.4: Mappa di Pericolosità Sismica di roccia, suolo rigido e terreno soffice per il Friuli Venezia Giulia in termini di PGA con un tempo di ritorno di 475 anni, redatta da Carulli et al. (2002, 2003)

Ricerche e studi successivi hanno portato ad aggiornamenti della Mappa di Pericolosità (Grimaz S. et al., 2011) (Figura 2.5), elaborata per la revisione della zonazione sismica regionale, considerando sia i fattori di amplificazione lito-stratigrafici, che quelli morfologici. I fattori di amplificazione morfologici sono stati ottenuti sulla base dei dati riguardanti i danni subiti dagli edifici durante il terremoto del 1976.

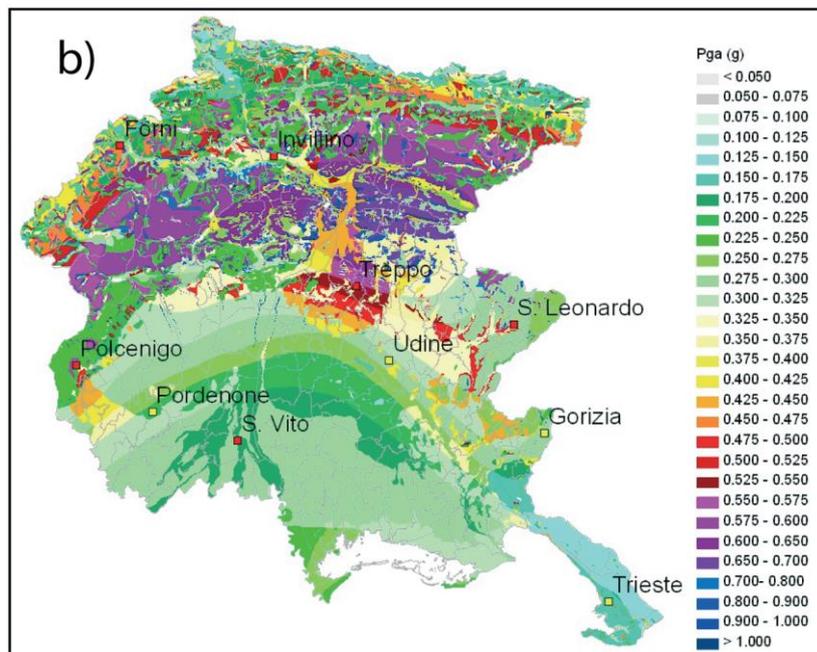


Figura 2.5: Mappa di Pericolosità Sismica per il Friuli Venezia Giulia in termini di PGA con un tempo di ritorno di 475 anni, elaborata per la revisione della zonazione sismica regionale (da GRIMAZ S. et al., 2011).

Sulla base della zonazione sismogenetica denominata ZS9, così come rappresentata nel Rapporto conclusivo - Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza del Presidente (INGV, Milano-Roma, aprile 2004), il Comune di Trieste è parzialmente compreso nella zona sismogenetica 904 (vedi Figura 2.6).

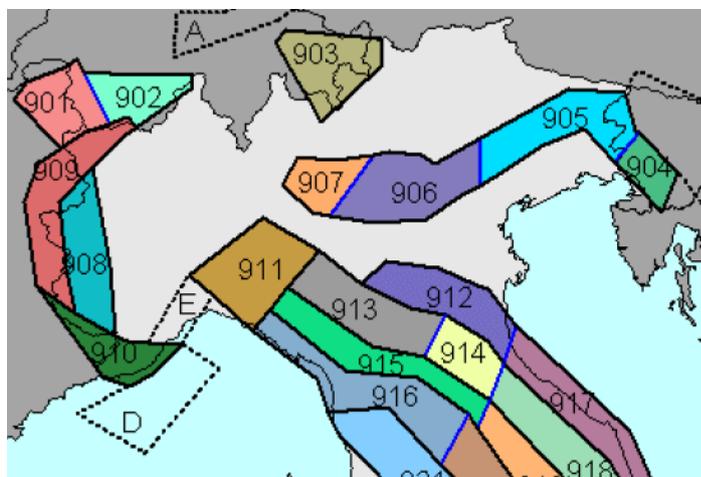


Figura 2.6: Estratto (fuori scala) centrato sull'Italia settentrionale della zonazione sismogenetica ZS9 (da Rapporto conclusivo - Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza del Presidente-INGV, Milano-Roma, aprile 2004)

La zona 904 rientra nel settore in cui è osservata la massima convergenza tra le placche adriatica ed europea ed è caratterizzata da strutture a pieghe sud-vergenti del Sudalpino orientale e da faglie inverse associate e, nelle aree ad Est del confine Friulano, da faglie trascorrenti destre con direzione NW-SE (trend dinarico). La zona 905, adiacente a quella in esame, include sorgenti sismogenetiche potenzialmente responsabili di terremoti con $M > 6$ e racchiude un'area nella quale la frequenza di eventi sismici (anche di magnitudo medio-alte) è nettamente superiore a quella delle zone adiacenti (904 e 906)

Per la zona 904 risulta atteso un meccanismo prevalente di fagliazione trascorrente (vedi Figura 2.7) ad una profondità efficace di 7 km. Per la zona 904 il valore di M_{wmax2} corrisponde 6.14 (INGV-2004).

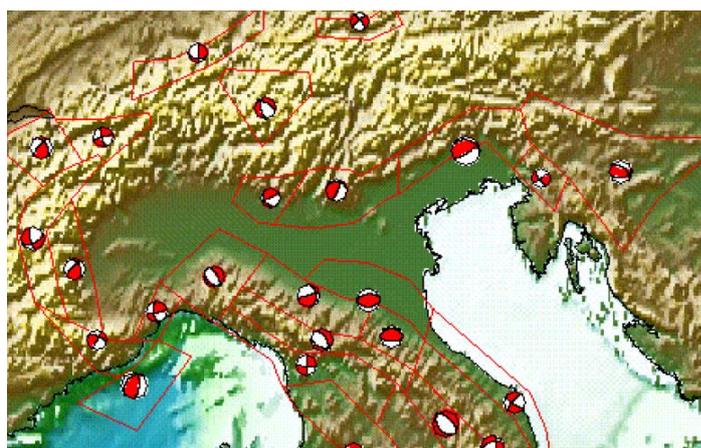


Figura 2.7: Meccanismo focale prevalente per la zonazione sismogenetica ZS9 (da Rapporto conclusivo -Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza del Presidente-INGV, Milano-Roma, aprile 2004)

Il Database Macrosismico Italiano - versione DBMI11, utilizzato per la compilazione di CPTI11 (Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani), segnala, per il Comune di Trieste, 56 eventi significativi dal 1511 (Figura 2.8).

Storia sismica di Trieste [45.656, 13.784]

Numero di eventi: 56

Effetti	In occasione del terremoto del:				
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw	
8-9	1511 03 26 14:40	Slovenia	66	9 6.98 ±0.17	
6	1690 12 04 14:00	Carinzia	60	8-9 6.54 ±0.23	
5	1776 04 24	BAKAR	3	5-6 4.51 ±0.34	
4	1776 07 10	TRAMONTI	19	8-9 5.78 ±0.38	
F	1781 04 04 21:20	Romagna	96	9-10 5.94 ±0.17	
3	1786 12 25 01:00	Riminense	91	8 5.62 ±0.17	
6	1794 06 07 00:45	Prealpi carniche	19	8-9 6.04 ±0.57	
F	1802 01 04	Slovenia	8		
F	1810 12 25 00:45	NOVELLARA	33	6 5.29 ±0.22	
4-5	1812 10 25 07:00	SEQUALS	34	7-8 5.71 ±0.35	
4-5	1845 12 21 20:40	Slovenia	6	5 4.30 ±0.34	
F	1850 07 10 02:30	Slovenia	10	5 4.83 ±0.55	
3	1859 01 20 07:55	COLLALTO	36	6 4.98 ±0.32	
3	1860 07 19	VALDOBBIADENE	10	6-7 4.97 ±0.44	
5	1873 03 12 20:04	Marche meridionali	196	8 5.95 ±0.10	
6	1873 06 29 03:58	Bellunese	199	9-10 6.32 ±0.11	
2-3	1875 03 17 23:51	Romagna sud-orientale	144	5.93 ±0.16	
F	1879 06 22 04:15	TARCENTO	16	5-6 4.79 ±0.24	
3	1881 01 24 16:14	Bolognese	38	7 5.16 ±0.30	
3	1881 02 12	RUSSI	14	5-6 4.95 ±0.39	
2	1885 12 29	VITTORIO VENETO	47	6 5.18 ±0.19	
2-3	1891 06 07 01:06	Valle d'Illasi	403	8-9 5.86 ±0.06	
F	1892 06 23 23:20	CLAUT	71	5-6 4.71 ±0.14	
3	1893 10 27 16:31	LONGARONE	54	5 4.60 ±0.26	
7	1895 04 14 22:17	Slovenia	296	8 6.23 ±0.08	
F	1895 06 10 01:47	VALDOBBIADENE	73	6 5.03 ±0.13	
3-4	1897 07 15 05:57	Slovenia	53	6-7 5.25 ±0.23	

Effetti	In occasione del terremoto del:				
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw	
2-3	1908 07 10 02:13	Carnia	120	7-8 5.38 ±0.13	
5	1909 01 13 00:45	BASSA PADANA	799	6-7 5.53 ±0.09	
4-5	1914 10 27 09:22	Garfagnana	618	7 5.76 ±0.09	
5	1924 12 12 03:29	Carnia	78	7 5.38 ±0.19	
7	1926 01 01 18:04	Slovenia	63	7-8 5.85 ±0.18	
4	1928 03 27 08:32	Carnia	359	9 5.84 ±0.09	
3-4	1930 10 30 07:13	SENIGALLIA	263	8 5.81 ±0.09	
3	1931 12 25 11:41	TARCENTO	45	7 5.21 ±0.20	
3	1934 05 04 13:56	Carnia	80	6 4.85 ±0.19	
4	1934 06 08 03:16	CLAUT	21	5-6 4.94 ±0.24	
5	1934 11 30 02:58	Alto Adriatico	51	5.34 ±0.17	
2-3	1935 06 05 11:48	Faentino	27	6 5.16 ±0.25	
5	1936 10 18 03:10	BOSCO CANSIGLIO	267	9 6.12 ±0.09	
RS	1937 12 15 21:25	CAPITANATA	23	4-5 4.62 ±0.26	
RS	1943 03 25 15:40	OFFIDA	7	6 5.04 ±0.31	
2	1943 07 24 01:43	VALDOBBIADENE	29	7 5.20 ±0.23	
3	1956 11 05 19:45	PALUZZA	27	6 4.98 ±0.28	
3	1959 04 26 14:45	Carnia	122	7-8 5.23 ±0.13	
4	1962 01 23 17:31	Adriatico	49	5 4.52 ±0.25	
3-4	1963 08 09 06:05	Faentino	16	4.99 ±0.18	
6-7	1964 03 18 16:43	Ilirska Bistrica-Sneznik	2	4.77 ±0.22	
RS	1967 12 09 03:09	Adriatico Meridionale	22		
6	1976 05 06 20:00	Friuli	770	9-10 6.46 ±0.09	
6	1976 09 11 16:35	Friuli	40	5.63 ±0.09	
7	1976 09 15 09:21	Friuli	54	5.98 ±0.15	
RS	1980 01 25 00:27	VAL VENOSTA	9	4-5 4.13 ±0.20	
2-3	1983 11 09 16:29	Parmense	850	6-7 5.06 ±0.09	
4	1990 11 11 22:16	Alpi Giulie	101	4.64 ±0.25	
4	2004 07 12 13:04	Alpi Giulie	366	5.19 ±0.09	

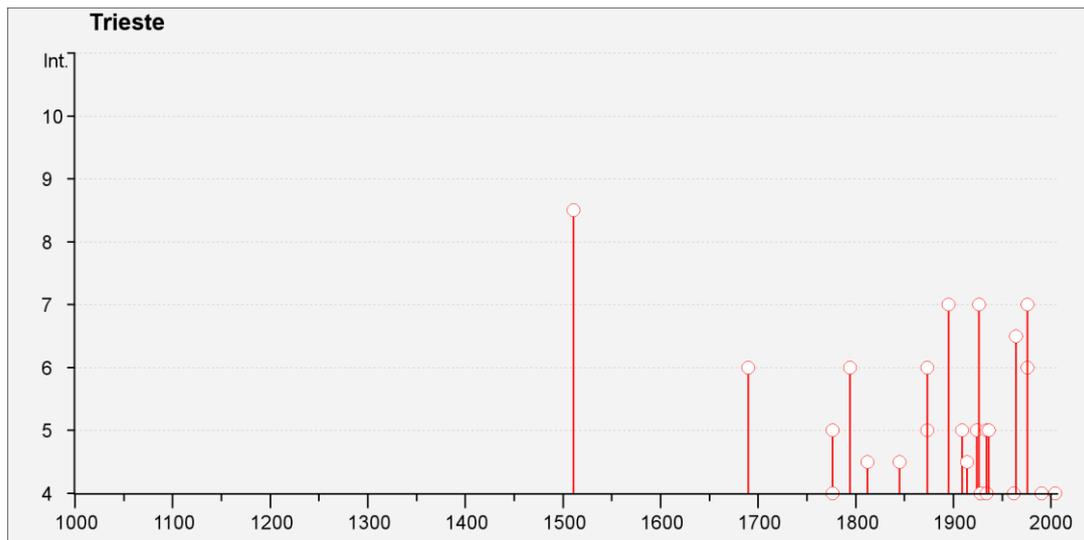


Figura 2.8: storia sismica di Trieste (da INGV - DBMI11: <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/>).

Gli eventi con intensità macrosismica maggiore a 6-7 sono stati:

Effetti	In occasione del terremoto del:					
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io	Mw	Figura
8-9	1511 03 26 14:40	Slovenia	66	9	6.98 ±0.17	2.9
7	1895 04 14 22:17	Slovenia	296	8	6.23 ±0.08	2.10
7	1926 01 01 18:04	Slovenia	63	7-8	5.85 ±0.18	2.11
7	1976 09 15 09:21	Friuli	54		5.98 ±0.15	2.12
6-7	1964 03 18 16:43	Ilirska Bistrica-Sneznik	2		4.77 ±0.22	2.13

Tra gli eventi riportati nel catalogo, quello che risale al 26 marzo 1511 è caratterizzato dalla più alta intensità macrosismica, stimata in 8-9 gradi della scala MCS. Degasperi C., Slejko D., Rebez A., Cergol M. ("Earthquakes felt in Trieste from the Middle Ages to the 18th century", 1991) indicano che tale evento sismico ha colpito Gemona, Cividale e Idrija ed ha trovato Trieste indebolita dai bombardamenti condotti dai Veneziani nel 1463 e nel 1508. Questo forte terremoto ha prodotto crolli nelle mura, in alcune torri e in edifici. Le cronache riportano che si è avuta acqua alta, e gli abitanti che hanno trovato riparo nella parte alta della città, verso il Colle di San Giusto. Gli stessi autori evidenziano inoltre che l'intensità MCS calcolata per tutti gli eventi considerati, non ha mai superato il grado VII MCS nell'area di Trieste, con l'eccezione del dato del 1511 (VIII), non del tutto affidabile. Tale informazione trova riscontro nel sopraccitato catalogo. Infatti per gli eventi successivi (Slovenia 1895, Slovenia 1926, Friuli 1976 e Ilirska Bistrica-Sneznik 1964) l'intensità macrosismica riportata nel non supera il grado 7.

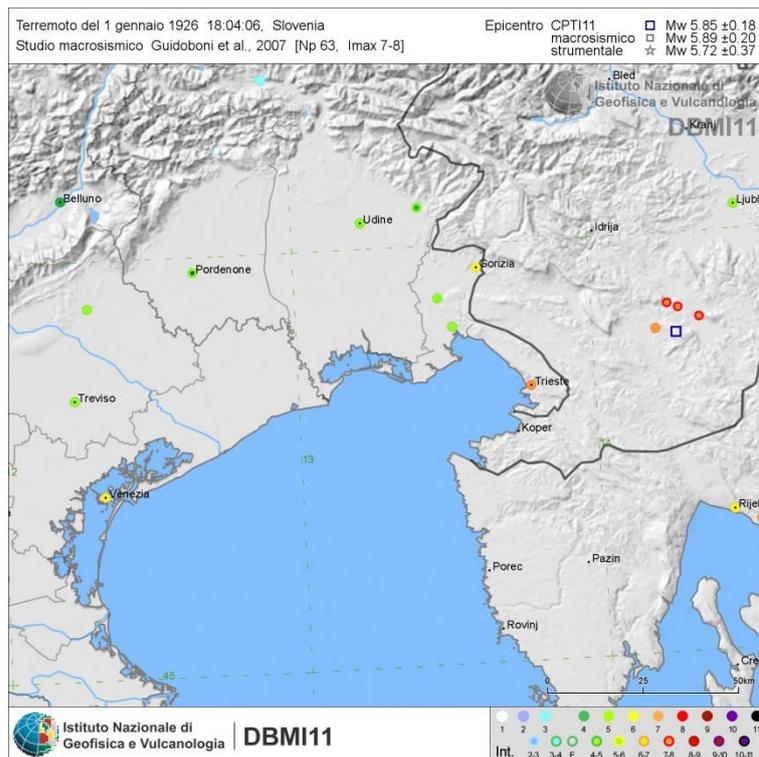


Figura 2.11: mappa di intensità macrosismica per il terremoto del 01/01/1926 – Slovenia (da INGV - DBMI11: <http://emidius.mi.inqv.it/DBMI11/>).

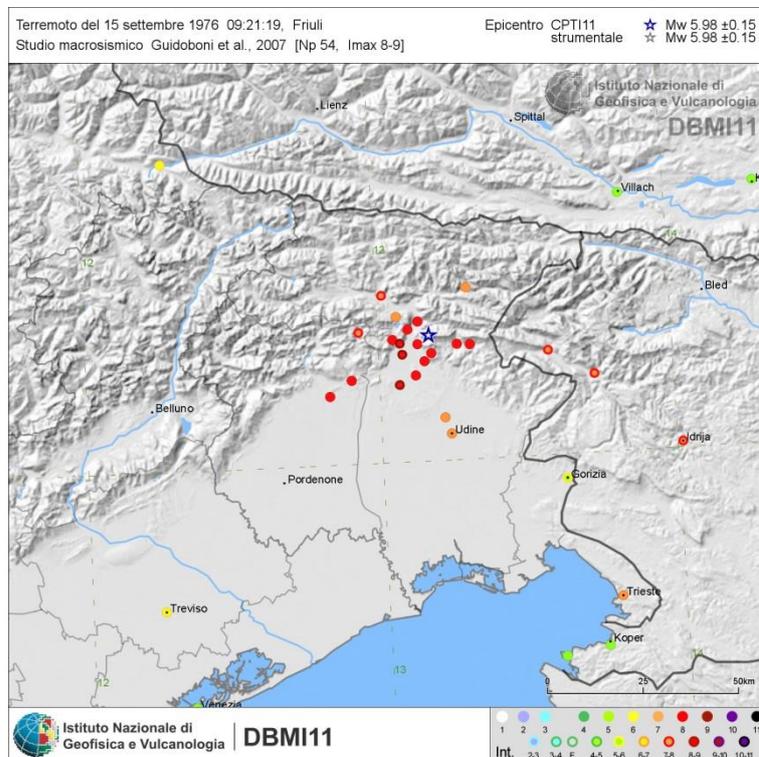


Figura 2.12: mappa di intensità macrosismica per il terremoto del 15/09/1976 – Friuli (da INGV - DBMI11: <http://emidius.mi.inqv.it/DBMI11/>).

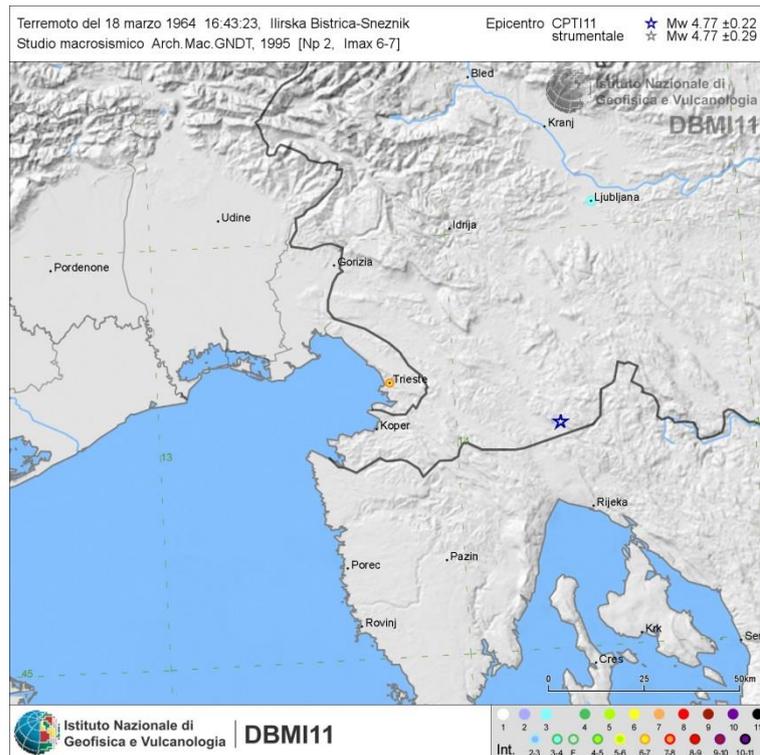


Figura 2.13: mappa di intensità macrosismica per il terremoto del 18/03/1964 – Ilirska Bistrica-Sneznik (da INGV - DBMI11: <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/>).

Busetti M., Zgur F., Romeo R., Sormani L., Pettenati F. (2012) indicano che nell'area di Trieste è presente una debole sismicità, con eventi di bassa magnitudo ($M < 4$), caratterizzati da ipocentri superficiali e profondi, registrati dalla rete sismometrica OGS dal 1977, mentre non sono noti eventi storici importanti. La seppure modesta sismicità e le evidenze neotettoniche emerse dall'interpretazione dei profili sismici acquisiti nel golfo di Trieste nel 2005 e nel 2009 rappresentano, per gli autori, elementi importanti per investigare una possibile attività sismogenetica dell'area, finora considerata non significativa rispetto alle aree circostanti a maggiore attività (Friuli e Slovenia).

Il Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2 (Figura 2.11) indica la presenza, nell'area in esame, di due sorgenti sismogenetiche, definite di recente. Di seguito si allegano uno stralcio della cartografia in esame ed un estratto della scheda di ciascuna sorgente sismogenetica rappresentata:

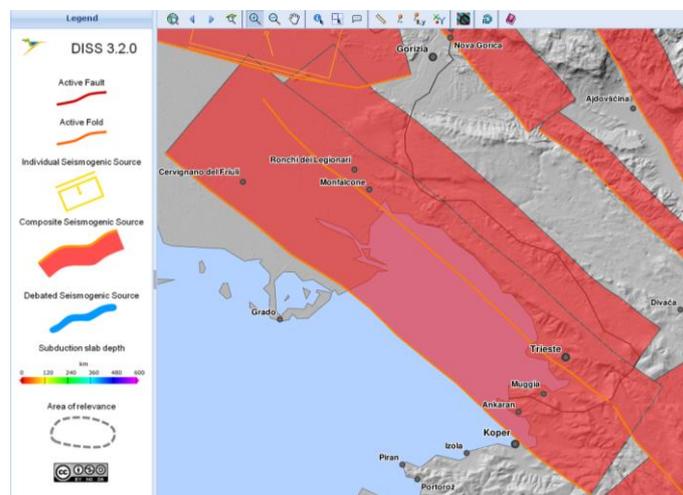


Figura 2.14: estratto della cartografia del Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.0

ITCS100: the ITCS100 Northern Trieste Gulf seismogenic source represents a NW-SE oriented active fault offshore of the Trieste Gulf shoreline. The minimum and maximum depth were inferred from regional geological and geophysical observations and earthquake data. The strike is based on geological and structural data that define the mean orientation of the thrust fronts (Busetti et al., 2008; 2010). The dip of the four seismogenic sources was derived from regional structural and seismotectonic data, and from seismic profiles and regional seismotectonic considerations (Busetti et al., 2008; Kuk et al., 2000). The rake was inferred from regional structural and earthquake data (focal mechanisms and horizontal maximum stress orientations combined with the geometry of the source). The slip rate was inferred from finite element modeling and geodynamic considerations (Kastelic and Carafa, 2012). The maximum magnitude was inferred from fault geometry, associated historical and instrumental earthquakes and regional considerations.

ITCS101: the ITCS101 Southern Trieste Gulf seismogenic source represents a NW-SE oriented active fault offshore in the central Trieste Gulf and partially onshore below the Friuli plane at its NW end and Slovenian part of the Istria peninsula at its SE end. The minimum and maximum depth were inferred from regional geological and geophysical observations and earthquake data. The strike is based on geological and structural data that define the mean orientation of the thrust fronts (Busetti et al., 2008; 2010). The dip of the four seismogenic sources was derived from regional structural and seismotectonic data, and from seismic profiles and regional seismotectonic considerations (Busetti et al., 2008; Kuk et al., 2000). The rake was inferred from regional structural and earthquake data (focal mechanisms and horizontal maximum stress orientations combined with the geometry of the source). The slip rate was inferred from finite element modeling and geodynamic considerations (Kastelic and Carafa, 2012). The maximum magnitude was inferred from fault geometry, associated historical and instrumental earthquakes and regional considerations.

3 Assetto geologico e geomorfologico dell'area

3.1 Assetto geomorfologico

Il territorio del Comune di Trieste ha un'estensione areale di circa 84 km² e si sviluppa tra l'omonimo golfo e l'altipiano del Carso, a quote comprese tra quella del livello del mare e 671 m, corrispondente alla vetta del Monte Cocusso. Sull'altipiano del Carso il territorio comunale si sviluppa a Nord-Est di una serie di rilievi, che costituiscono il ciglione/crinale e dei quali i principali sono: Monte Babiza, Monte San Primo, Monte San Paolo, Monte Grisa, Monte Gurca, Monte Belvedere, Monte Calvo ed Monte Spaccato. La porzione dell'altipiano carsico che rientra nel territorio comunale è delimitato a Nord-Est da una serie di rilievi, dei quali i principali sono: Monte Cocusso, Monte Gaia e Monte dei Pini.

L'altipiano carsico è contraddistinto da una morfologia ondulata, per la presenza di modesti rilievi, le cui sommità hanno un dislivello massimo di 250 m rispetto al territorio dell'altipiano circostante (Monte Cocusso), e di un elevato numero di doline (1288 nell'area di studio), che sono forme carsiche epigee e che rappresentano la macroforma tipica del paesaggio carsico.

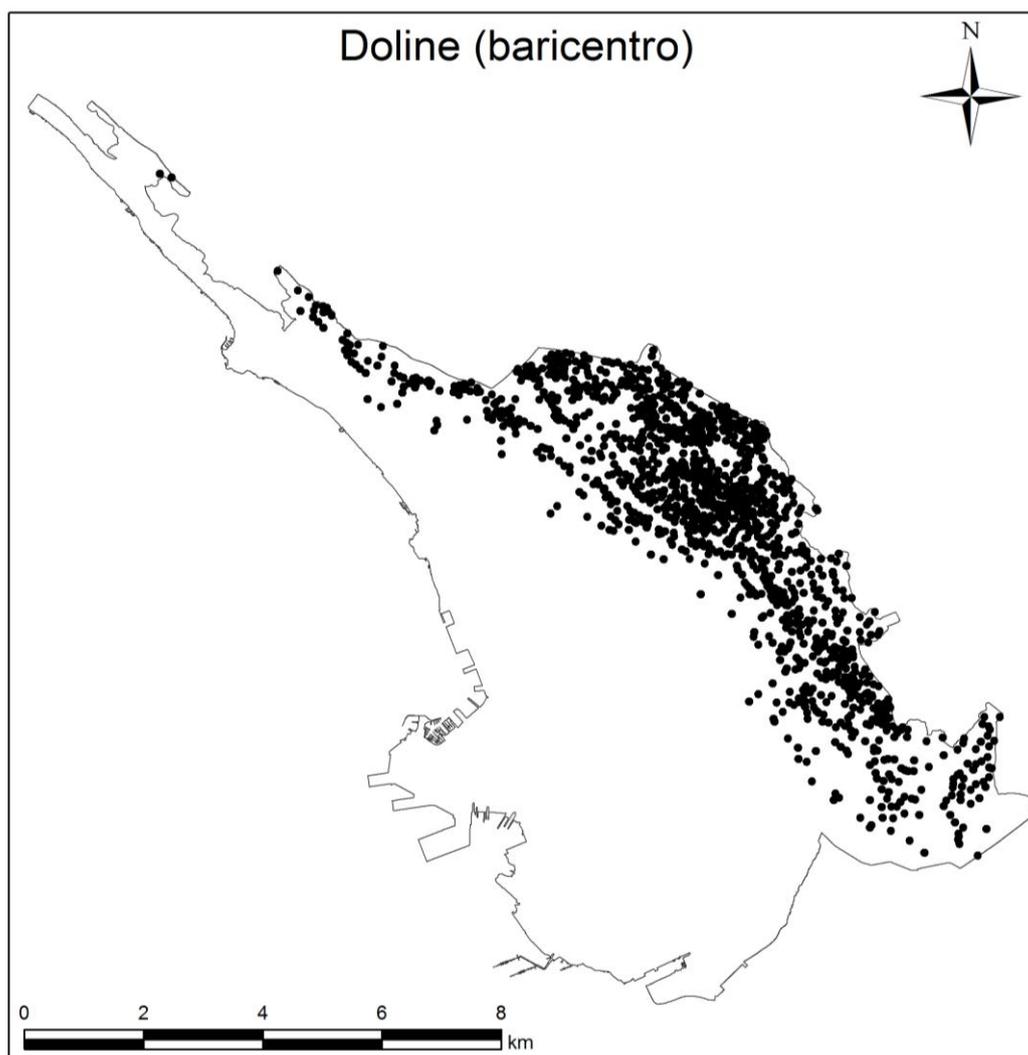


Figura 3.1: Ubicazione delle doline nell'area di studio

Nel territorio esaminato le depressioni doliniformi si presentano con dimensioni e profondità estremamente variabili: il diametro del bordo esterno della dolina varia approssimativamente tra 10-20 m e 350 m e la profondità è compresa tra pochi metri e 45 m. Tali forme carsiche rappresentano un elemento di criticità in una valutazione del grado di pericolosità geologica del territorio poiché potenzialmente riconducibili a fenomeni di sprofondamento (sinkhole). Come indicato nella classificazione formulata dall'ISPRA infatti, le doline rappresentano una forma ascrivibile ad uno sprofondamento del tipo *Dolina di crollo-cave collapse sinkhole (cavità con forma a pozzo nei calcari e in rocce solubili formatesi per il crollo del soffitto di grotte - CRAMER, 1941; CASTIGLIONI, 1986 FORD 1989)* o del tipo *Dolina di soluzione normale-solution sinkhole (conca chiusa -dallo slavo dol che significa valle - originata per dissoluzione della roccia da parte dell'acqua di ruscellamento superficiale - Cramer, 1941; Castiglioni, 1986)*, oppure sono sede di sprofondamenti che interessano le "terre rosse" presenti sul fondo delle stesse. Quest'ultimo tipo di sinkhole può esser fatto rientrare nella tipologia *Dolina alluvionale-subsidence sinkhole-cover subsidence sinkhole: conca chiusa che si forma su materiali di copertura in genere, e/o alluvionali, in seguito all'originarsi, in rocce solubili sottostanti, di cavità carsiche per dissoluzione subsuperficiale o di crollo (Castiglioni, 1986)*.

Nella cartografia tematica redatta nell'ambito dello studio di microzonazione sismica sono state prese in considerazione le doline evidenziate nella Carta Geologico-Tecnica (CGT), banca dati originale restituita alla scala 1:5.000 e nello Studio geologico a supporto della variante generale al Piano Regolatore Generale Comunale – Comune di Trieste – 2013.

L'altro elemento costitutivo del Carso è rappresentato dalle forme carsiche ipogee (cavità carsiche) il cui sviluppo si presenta estremamente variegato per tipologia ed estensione. Nell'area di studio, al momento delle ricerche effettuate nell'ambito del presente lavoro, risultano censite presso il Catasto Regionale Delle Grotte Del Friuli Venezia Giulia 654 cavità.

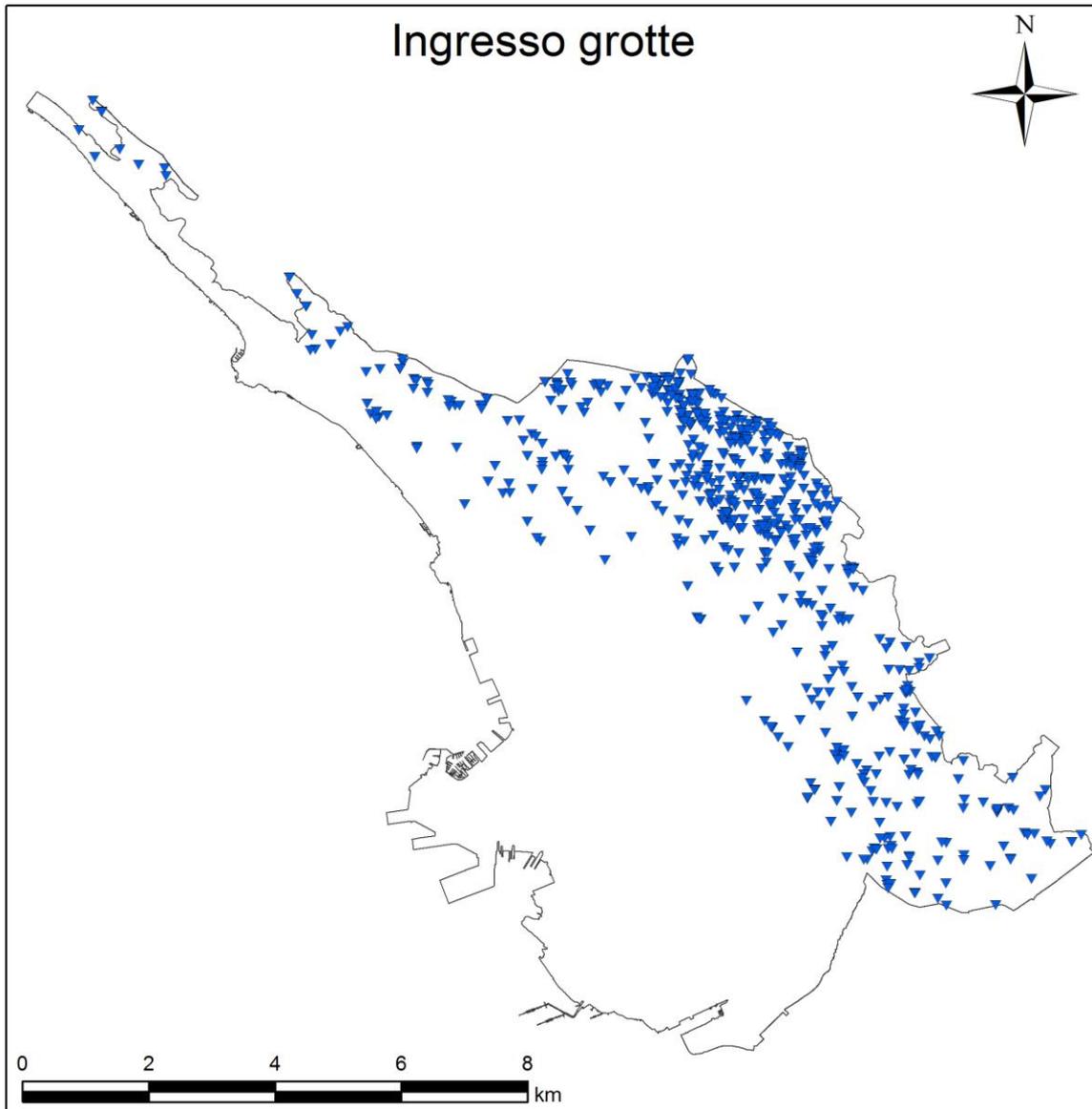


Figura 3.2: Ubicazione delle cavità carsiche censite nell'area di studio

Ai fini della MS1 l'eventuale significatività delle cavità sotterranee in caso di evento sismico potrebbe riguardare il collasso di volte e/o in subordine il crollo o distacco di stalattiti o stalagmiti.

Nella cartografia tematica redatta nell'ambito dello studio di microzonazione sismica sono stati riportati gli ingressi di tutte le cavità carsiche registrate al Catasto Grotte della Regione F.V.G. aggiornato a novembre 2015. Il simbolo è posizionato in corrispondenza dell'ingresso della cavità stessa, sia che si tratti del grande abisso a sviluppo verticale, sia che corrisponda all'ingresso di una grande articolazione a prevalente sviluppo orizzontale, fino ai piccoli orifizi, magari testimonianza di ben più vasti ambienti ipogei. Riportare tutte le cavità ha il preciso significato di testimoniare la frequenza con la quale il fenomeno ipogeo intercetta la superficie topografica, la vastità areale del fenomeno, l'alta probabilità che in sede di interventi edilizi e/o infrastrutturali si possa incidere articolazioni ipogee.

L'alta probabilità di intercettare cavità carsiche in sede di intervento sul territorio rende ininfluente il concetto di "area ben conosciuta dal punto di vista geologico", l'impossibilità di conoscere a priori, la necessità di esplorare preventivamente con il dovuto grado di approfondimento dipendente tra l'altro dall'importanza dell'opera in progetto.

È da segnalare che numerose risultano le posizioni degli ingressi delle cavità riportate al Catasto Grotte della Regione F.V.G. non coincidenti con quanto effettivamente rilevato sul territorio, inoltre risulta comunque affetta da incertezza la precisione del rilievo ipogeo. Sono tutti fattori che hanno sconsigliato di operare secondo una proiezione del singolo ambiente ipogeo sulla superficie topografica per segnalare eventuali possibili criticità in ambito di microzonazione sismica.

Sulla base delle considerazioni sopra esposte e osservato che in occasione dell'evento del 1976 in Friuli (M 6.5) nemmeno nelle zone carsiche prossime all'epicentro si sono avute segnalazioni di crolli di qualche rilievo, si è ritenuto, in accordo con l'estensore dello studio del limitrofo comune di Duino-Aurisina, di non prendere in considerazione le cavità quali elemento di instabilità nella MS1.

Ciò anche perché nelle *Norme geologico-geotecniche* già sono previste specifiche indicazioni per la salvaguardia delle grotte e per la stabilità delle opere in progetto che potrebbero eventualmente interferire con cavità presenti nel sottosuolo.

Dalla relazione geologica a supporto della Variante 118 al P.R.G.C. si riporta:

(...) Le cavità con sviluppo maggiore di 100 m sono 43; due di esse hanno uno sviluppo maggiore di 1000 m, la Grotta Claudio Skilan (5070/5720 VG) con uno sviluppo di 6400 m e la Grotta Impossibile (6800/6300 VG) con 2200 m.

Quest'ultima è stata scoperta nel corso dei recenti lavori di scavo per la realizzazione della Galleria Carso della Grande Viabilità Triestina.

Le cavità con profondità maggiore di 100 m sono 31; tra queste l'Abisso di Trebiciano (3/17 VG) e la Grotta C. Skilan (5070/5720 VG) hanno profondità maggiore di 300 m e sono interessate, (la prima sempre, l'altra occasionalmente) dalle acque di fondo carsiche.

A Sud-Ovest del ciglione carsico la morfologia del versante è acclive e si presenta poco articolata nella porzione dove affiorano i litotipi carbonatici (tipicamente nella fascia posta a quote maggiori), mentre si presenta più articolata dove affiora il Flysch, poiché solcata da un reticolo idrografico o perché l'attività antropica ne ha modificato la morfologia naturale per rendere il territorio maggiormente fruibile per l'attività agricola o per consentire gli insediamenti abitativi. È in questo settore che sono evidenziati con maggiore frequenza i dissesti geostatici (PAIR).

Sui rilievi di Flysch il reticolo idrografico è costituito da profonde incisioni che nascono al margine sud-occidentale dell'altipiano carsico, con scorrimenti idrici perenni, ovviamente con portate strettamente dipendenti dalla stagionalità, alimentate da tronchi secondari particolarmente articolati e spesso asciutti durante la gran parte dell'anno, fino a piccoli impluvi, quasi sempre asciutti, in attività solo nel corso delle precipitazioni meteoriche più intense. All'ingresso in area urbana i corsi d'acqua sono stati convogliati in canali artificiali tombati. Le aree di fondovalle fino alla linea di costa si presentano sub pianeggianti. Un alterazione della morfologia naturale del territorio è stata operata in corrispondenza di buona parte della costa, dove operazioni di interrimento avvenute soprattutto nel XVIII secolo hanno prodotto un avanzamento verso mare della linea di riva.

3.2 Assetto idrogeologico

Riguardo al sistema idrogeologico sotterraneo del territorio comunale si devono distinguere sostanzialmente tre macro aree con litologie differenti:

- ambito calcareo carsico;
- ambito flyschoidale;
- ambito con sedimenti quaternari;

Si forniscono alcune sintetiche informazioni di inquadramento generale.

3.2.1 Territorio carsico

La superficie piezometrica in ambito carsico non è riconducibile ad un'uniforme superficie di equilibrio, limite di separazione tra un livello litoide saturo d'acqua, a permeare tutti i canali e le fratture beanti presenti nel massiccio, ed il sovrastante complesso insaturo, costituito dalla fascia areata priva di interferenze idriche.

Ciò avviene solo in alcune parti del massiccio calcareo in occasione delle fasi di magra della circolazione idrica sotterranea. Diversamente, durante gli episodi di piena, si instaurano fenomeni di turbolenza connessi alle differenti sezioni degli emissari sotterranei, più o meno capaci di assorbire e quindi smaltire gli apporti idrici di piena, determinando locali innalzamenti nei reticoli ipogei, differenziati per intensità e persistenza.

Le conoscenze attuali, in corrispondenza del territorio in esame, muovono da alcuni presupposti ricostruiti in anni di ricerche, suscettibili, ovviamente, di ulteriori modifiche, sulla base di quelle che potranno essere, in futuro, le nuove scoperte in campo speleologico, oltre che sulla base dei dati sperimentali che verranno acquisiti dalle prove in campo.

Tali presupposti risultano riconducibili alle annotazioni di seguito sommariamente riportate (Galli, 2000):

- L'infiltrazione primaria che alimenta l'acquifero carsico e quindi il reticolo sotterraneo è determinata dalle acque di precipitazione meteorica, sotto forma di veloce percolazione in occasione delle maggiori precipitazioni (secondo alcuni autori le acque di precipitazione attraverserebbero il Carso in un periodo stimato tra 1 e 3 mesi) e di lento stillicidio quando le stesse si manifestano in forma più modesta e persistente.
- L'infiltrazione secondaria viene determinata dagli apporti fluviali esterni, sia diretti (Reka), sia indiretti (la Rasa - affluente del Vipacco – il sistema idrografico della conca di Postumia e soprattutto l'Isonzo per le perdite di subalveo in direzione del Carso isontino, più modestamente i contributi di acque del Vipacco.
- Tutte le acque di alimentazione primaria e secondaria drenate dal Carso isontino, dal Carso sloveno e dal Carso triestino, dirigono verso il complesso sorgentifero del Timavo, secondo percorsi più o meno interdipendenti, di diversa ampiezza e a diversa profondità.
- Le cavità in territorio sloveno che intercettano il sistema idrografico sotterraneo sono la Grotta di S. Canziano, la Kacna Jama (Abisso dei Serpenti) ed una grotta, di recente scoperta, presso la grandiosa dolina Risnik, a sud di Divaca. In territorio italiano, le cavità che permettono una parziale esplorazione dell'idrografia ipogea del sistema Timavo e suoi affluenti, sono la grande Grotta di Trebiciano e la Grotta Lazzaro Jerko, quest'ultima sottoposta ad imponenti lavori di disostruzione.
- Soggette a locali allagamenti in occasione delle maggiori piene risulta la parte terminale dell'Abisso dei Cristalli e le grandi condotte basali della Grotta Antonio Federico Lindner, per la quale sono stati accertati collegamenti con le risorgive del Timavo e con la Grotta di Trebiciano. Fenomeni più marginali di risalita d'acqua in occasione delle maggiori piene risultano nella Grotta Doljankin, presso la Cava Romana di Aurisina, nella Grotta Claudio Skilan e nell'Abisso Massimo, tra Prosecco e Gabrovizza, fenomeno idrico, quest'ultimo, più probabilmente riconducibile ad acque di percolazione da apporti meteorici esterni.
- Tracce di correnti fluviali sono state accertate presso l'Abisso Martel, tra Prosecco e Rupinpiccolo, a quote però superiori a quello che è l'attuale livello di scorrimento del Timavo. Probabilmente si tratta di percorsi attivati in occasione di fenomeni meteorici di intensità maggiore.
- Le uniche misure attendibili della quota dell'acqua in condizione di magra sono quelle eseguite presso la Grotta di Trebiciano e la Grotta Lazzaro Jerko. In entrambi i casi il livello dell'acqua si pone ad una quota di poco superiore a quella del livello medio marino, di 12 metri nella Grotta di Trebiciano, ad un livello di soli 8 metri nella Grotta Lazzaro

Jerko, con un “salto” quindi di soli 4 metri tra le due grotte, nonostante i sistemi ipogei si trovino ad una distanza di 3500 metri.

3.2.2 Territorio flyschoido

Sebbene la formazione del Flysch Triestino possa essere considerata una formazione pseudo impermeabile, essa è contraddistinta dalla presenza di acqua, talora relativamente abbondante, come testimoniato dagli innumerevoli pozzi ad uso agricolo ancora presenti sul territorio triestino. Tale ricchezza d’acqua è ricollegabile alla permeabilità secondaria per fratturazione dell’ammasso roccioso ed alla tendenza a scorrere, dove possibile, lungo strato con dissoluzione della componente marnosa.

In generale è opportuno comunque fare una distinzione tra le acque più superficiali e quelle più profonde.

Le prime scorrono al contatto tra il complesso superficiale alterato e i primi livelli di roccia molto fratturata e sono generalmente direttamente ricollegabili alle piovosità e quindi marcatamente stagionali.

Le seconde sono generalmente ricollegabili a dinamiche e percorsi idrogeologici più articolati e complessi e quindi di tipo permanente. Testimonianze di questi ultimi casi sono ad esempio le diverse sorgenti presenti lungo la Costiera Triestina e la zona di San Giovanni – Longera, dove furono realizzate nel ‘700 ed ‘800 diverse opere di presa in galleria a servizio dell’acquedotto cittadino.

3.2.3 Sedimenti quaternari

Gli orizzonti maggiormente permeabili lungo le bassure di pianura, la Piana di Zaule, quella di Servola e S. Vito, la zona del Borgo Teresiano, alcune pianure periferiche, come quella del Rio Bovedo o del Rio di Roiano, contengono una falda freatica. Sono acque spesso a contatto con infiltrazioni marine. Le maggiori interferenze con acque marine o mescolanza di acque dolci e marine si hanno nella parte centrale della Città di Trieste, in corrispondenza del Borgo Teresiano, luogo di interrimento avvenuto soprattutto nel XVIII secolo, attraverso il colmamento delle antiche saline lì esistenti.

3.3 Assetto geologico

Di seguito si espongono i principali caratteri costitutivi della geologia del territorio oggetto di studio.

Per la descrizione della sequenza carbonatica e del Flysch di Trieste si è fatto riferimento alle note illustrative della *Carta Geologica del Carso Classico* (Cucchi F. & Piano C. -2013), di cui si allega di seguito uno stralcio ed una sezione geologica rappresentativa dell’assetto geologico dell’area di studio, mentre per la descrizione dei depositi quaternari si è fatto riferimento allo Studio geologico per la Variante generale del PRGC Grego B., Marsich P. & Pinzani G.P. (2013) del Comune di Trieste (2013) ed alle descrizioni contenute in *Le acque del Carso Classico - Vodonosnik klasičnega krasa* Progetto HYDROKARST - Eut Edizioni Università di Trieste – 2015 – Cucchi F., Zini L., Calligaris C..

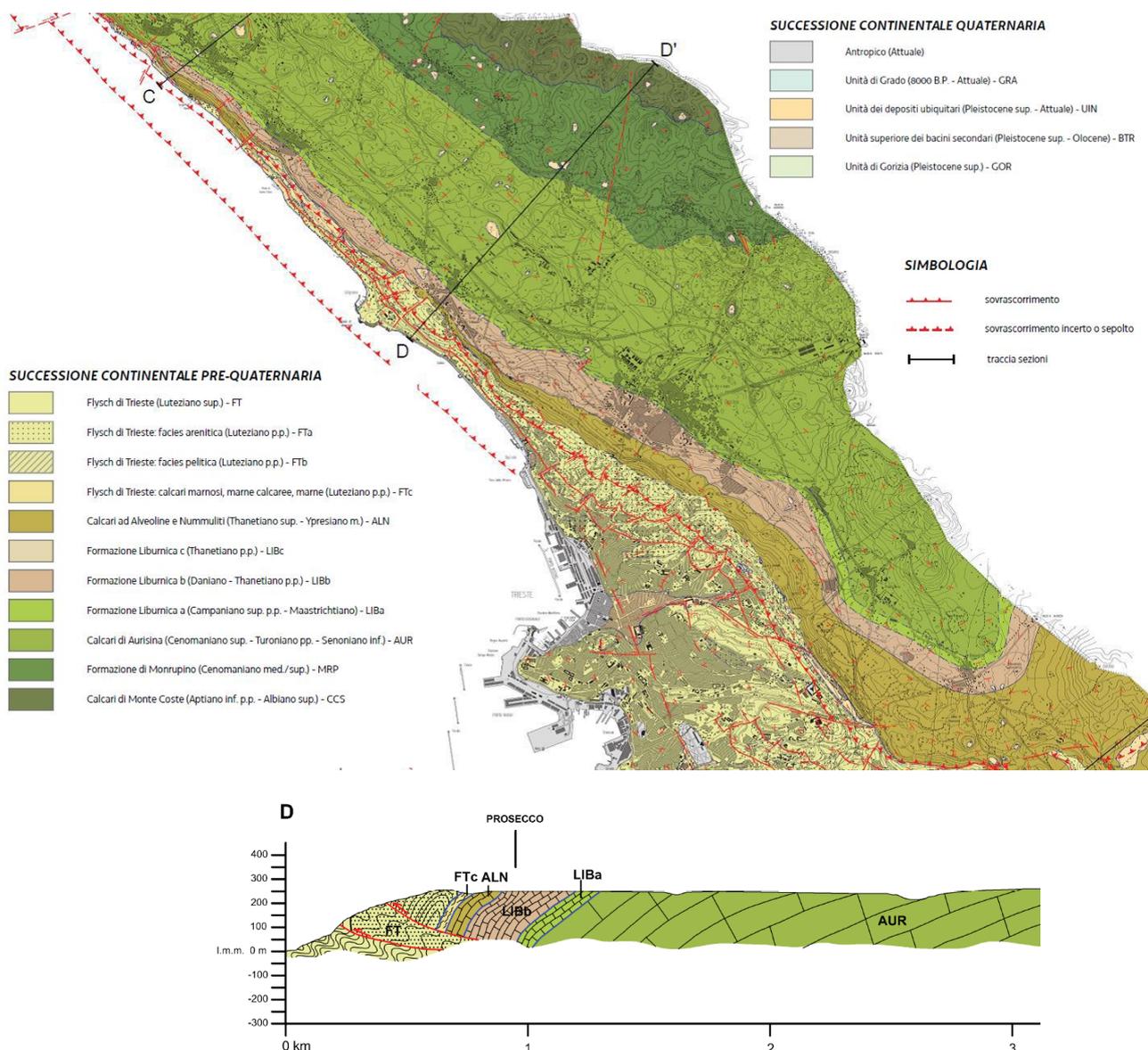


Figura 3.3: estratto non in scala della Carta Geologica del Carso Classico e di una sezione geologica (CUCCHI F. & PIANO C. -2013)

Le principali unità litostratigrafiche che caratterizzano il territorio del Comune di Trieste sono:

- Calcarei di Aurisina, i Calcarei della Formazione Liburnica, i Calcarei ad Alveoline e Nummuliti;
- Flysch di Trieste;
- Sedimenti quaternari di origine alluvionale;
- Detrito di versante attuale e pleistocenico;
- Coltre eluvio-colluviale, depositi colluviali;
- Terre rosse;
- Sedimenti marini;
- Riporti.

3.3.1 Calcarei di Aurisina (AUR)

Età: Cenomaniano sup. - Turoniano p.p. – Senoniano inf.

Caratteristiche litologiche e sedimentologiche: nella provincia di Trieste, alla base della sequenza, si osservano packstone-rudstone fossiliferi e packstone fini intraclastico-fossiliferi. Al di sopra dei sedimenti bioclastici, nel Carso triestino, i depositi sono caratterizzati dalla sovrapposizione di diversi strati di tempesta organizzati in cicli

prevalentemente metrici che rielaborano frammenti di rudiste, intraclasti, numerosi foraminiferi tra cui prevalgono le Miliolidi ed a cui seguono calcari prevalentemente micritici con ridotto contenuto fossilifero. Superiormente il carattere dominante di tutta la successione del Carso Classico italiano è conferito dalla costante presenza di Radiolitidi e Ippuritidi, intere o, più frequentemente, in frammenti (essenzialmente radiolitidi, nei livelli cenomaniani, e radiolitidi e hippuritidi, a partire dal Turoniano). Si osserva wackestone-packstone a ricchissima frazione fossile, caratterizzata soprattutto da rudiste organizzate in banchi.

Il tetto dei Calcari di Aurisina è sigillato da una superficie di emersione della piattaforma con evidenze di paleo carsismo (tra cui breccia bianco-rosea a *Microcodium*).

3.3.2 Formazione Liburnica (LIBa e LIBb)

Età: Campaniano sup. p.p. – Thanetiano

Caratteristiche litologiche e sedimentologiche: un nuovo evento trasgressivo riporta la piattaforma emersa del Calcare di Aurisina in condizioni marine. Nel Carso triestino al di sopra della superficie di unconformity si ha la deposizioni di strati di tempesta a frammenti di Radiolitidi a cui, verso l'alto, si sovrappongono laminazioni piane parallele di tipo trattivo. Superiormente in tutto il Carso sono presenti mudstone, talora con strutture di disseccamento, wackestone ad intraclasti e brecciole con "plasticlast", contraddistinti dalla presenza di Discorbidae e Gasteropodi e, quindi, wackestone fossiliferi grigio chiari con biota francamente marini. Seguono mudstone-wackestone fossiliferi con alcuni livelli di breccia, associati a fenomeni pedogenetici. Verso il limite K/T, i fenomeni pedogenetici diventano più intensi e diventa più frequente *Microcodium*; si segnalano fenomeni carsici con rare caliche e cavità riempite da calcite, fanghi nerastri, silt vadoso e limonite. L'intervallo a *Microcodium* è caratterizzato da calcari fangosostenuti grigio scuri a foraminiferi, gasteropodi, bivalvi alghe calcaree, con ritmo della stratificazione da centimetrico a decimetrico. Alla base si ritrovano cicli peritidali, la cui unità subtidale presenta alla base la classica brecciolina basale; verso l'alto passa invece a wackestone scarsamente fossiliferi; la parte inter-sopratidale è invece costituita da microbialiti, sheet cracks, mud cracks e, talora, paleosuoli rossastrati.

L'intervallo superiore è caratterizzato da facies prevalentemente subtidali lagunari a dimostrazione di un moderato approfondimento della colonna d'acqua e/o di apertura delle lagune. I calcari sono dapprima wackestone o packstone molto fossiliferi (Miliolidae, gasteropodi e alghe Dasycladaceae). La parte alta dell'intervallo presenta calcari grigi o nocciola scuri molto fossiliferi (prevalentemente packstone), ricchi di foraminiferi, soprattutto Miliolidi e le prime forme coniche (Fallotella, Coskinon, ecc.), alghe Corallinaceae e gasteropodi ornamentati, a conferma della tendenza all'approfondimento o dell'apertura della piattaforma. La stratificazione è decimetrico-metrica.

3.3.3 Calcari ad Alveoline e Nummuliti (ALV)

Età: Thanetiano superiore(?) – Ypresiano.

Caratteristiche litologiche e sedimentologiche: Alla base sono presenti packstone-wackestone fossiliferi, raramente grainstone, spesso ricristallizzati, con presenza di macroforaminiferi. I calcari sono chiari, granulari e a stratificazione non ben evidente. I macroforaminiferi (Alveolina, Assilina, Nummulites) diventano abbondanti nella parte terminale della successione dove si possono apprezzare anche scarsi apporti terrigeni.

Nel Carso triestino l'unità è ben rappresentata: nella parte bassa dei Calcari ad Alveoline e Nummuliti sono presenti calcari grigi molto fossiliferi (prevalentemente packstone), ricchi di macroforaminiferi (alveoline e rarissime nummuliti) che si associano a Miliolidi, alghe Corallinaceae, coralli ed echinidi. Questa parte è sostanzialmente analoga alla parte alta della Formazione Liburnica e rappresenta litofacies che si depositano in un ambiente di piattaforma aperta in debole approfondimento.

Nella parte alta sono presenti litofacies di piattaforma aperta, quali wackestone-packstone ricchi di alveoline, nummuliti e Orbitolites, nonché altre caratterizzate da una discreta energia idrodinamica tipica di ambiente di shoal (grainstone bioclastici con strutture trattive in strati metrici). Nonostante la discreta energia dell'ambiente si depositava sempre una modesta frazione argillosa, che nell'intervallo superiore del membro dà origine ad alternanze

calcarea marnose organizzate in cicli di tipo thickening and coarsening upward dello spessore di 3 m. Le coppie calcari-marne rappresentano una nuova unità mai descritta prima nei Calcari ad Alveoline e Nummuliti. Sono presenti piani di strato ondulati e strutture nodulari. Al top della successione si trovano frequentemente uno o più livelli conglomeratici, caratterizzati da clasti monogenici arrotondati di grainstone a macroforaminiferi.

3.3.4 Flysch di Trieste (FT)

Età: Luteziano p.p.

Caratteristiche litologiche e sedimentologiche: la sedimentazione carbonatica si esaurì nell'Eocene inferiore, con l'annegamento della piattaforma carbonatica testimoniato anche dalla comparsa di facies rimaneggiate al top della sequenza. Si forma, così, l'avanfossa che inizia ad essere interessata da apporti terrigeni in facies torbiditica. Per un certo tratto facies pelitiche, già presenti negli ultimi livelli della successione carbonatica si intercalano talvolta alle prime torbiditi.

L'adozione in via informale del nome di "Flysch di Trieste" è da considerarsi preliminare. La Formazione è costituita da un'alternanza di livelli di marne siltose ed arenarie con spessori variabili. La potenza delle marne è estremamente variabile, da millimetrica a decimetrica, mentre quella delle arenarie va da centimetrica a metrica.

All'interno della formazione sono state riconosciute facies arenacee (FTa), arenaceo marnose (FT) e facies prevalentemente pelitiche (FTb). Agli strati transizionali è stata attribuita la sigla FTc. All'interno delle facies prevalentemente arenacee è spesso possibile distinguere due sottotipi:

- facies a strati arenacei con spessori pluridecimetrici (da 1/2 metro ad anche 2 metri) che spesso in passato venivano sfruttati come materiale da costruzione. In particolare, nell'area della penisola muggesana sono presenti numerosi siti con indicazioni di attività cavatoria antica e/o recente.

- facies a strati sempre prevalentemente arenacei, ma con spessori più ridotti, da centimetrici a decimetrici (max 20 cm).

Onofri R. ("Caratteristiche geolitologiche e geomeccaniche del Flysch nella Provincia di Trieste"-1982), operando una drastica selezione tra tutti i numerosissimi casi che si possono riscontrare in natura, ritiene che per un uso tecnico pratico di base, la casistica generale possa essere ricondotta a cinque "tipi" principali di Flysch, tenendo conto delle variazioni percentuali della marna rispetto all'arenaria, del periodo di stratificazione dei litotipi suddetti, della costanza dello spessore dei singoli pacchetti o strati di materiale:

T1 - Costituito prevalentemente da arenarie (in genere strati di spessore superiore ai 30 cm) con interstratificati pacchetti di lamine di marna dello spessore globale di ordine centimetrico. Stratificazione distinta e spessore del singolo strato notevolmente costante.

T2 – Costituito prevalentemente da arenaria (strati generalmente di spessore inferiore ai 30 cm) con interstratificati poco frequenti pacchetti di lamine di marna dello spessore globale di ordine centimetrico. Stratificazione distinta e spessore del singolo strato notevolmente costante.

T3 – Costituito da circa 50% di arenaria e 50% di marna (spessori degli strati di arenaria e dei pacchetti di lamine di marna variabili generalmente da circa 1 cm a circa 20 cm). Stratificazione distinta e spessore del singolo strato, o pacchetto, notevolmente costante.

T4 – Costituito prevalentemente da marna i cui pacchetti possono avere uno spessore variabile da circa 10 cm a circa 50 cm; interstratificati rari strati di arenaria il cui spessore si aggira generalmente tra circa 1 cm e circa 20 cm. Stratificazione abbastanza distinta e spessore del singolo pacchetto, o strato, piuttosto costante.

T5 – Costituito prevalentemente da arenarie a buona consistenza litoide ma che hanno subito notevoli processi deformativi (spessore degli strati non superiori ai 10 cm circa). Stratificazione talora poco distinta e spessore poco costante.

Il Flysch è generalmente coperto da una coltre eluvio-colluviale che tipicamente assume uno spessore di alcuni metri, ma in situazioni geomorfologiche come impluvi o al piede di versanti lo spessore può superare i 3 m.

3.3.5 Sedimenti quaternari di origine alluvionale

Sono depositi costituiti da miscele limo argilloso e limo sabbioso, a seconda della facies del substrato flyschoidale nel bacino di riferimento, con ghiaie e ciottoli, prevalentemente arenacei, in subordine calcarei, in prossimità del versante del ciglione carsico. Nelle porzioni più superficiali domina generalmente la frazione limosa.

In genere gli elementi incoerenti più grossolani sono subarrotondati, a dimostrazione di una certa mobilità in alveo, in quanto è prevalentemente lungo le linee di impluvio attive che si rinvergono tali sedimenti.

3.3.6 Detrito di versante attuale e pleistocenico

Il detrito di falda affiora al contatto tra le successioni carbonatiche e quelle torbiditiche, lungo il versante del ciglione carsico. Trattasi di depositi costituiti da ghiaie grossolane, ciottoli e blocchi angolosi, mal classati, a tessitura da aperta a parzialmente aperta; i clasti hanno litologia omogenea (rocce carbonatiche e/o arenarie) sono sciolti e a volte con matrice limo sabbiosa proveniente dall'alterazione dei litotipi locali. I clasti hanno dimensioni eterometriche con punte massime anche superiori al metro (Cucchi & Piano, 2013).

Localmente lungo il contatto tra le successioni carbonatiche e quelle torbiditiche affiora un detrito di versante da cementato a parzialmente cementato, talora con paleosuoli (ascrivibili al Pleistocene); si tratta di clasti mal classati, angolosi, carbonatici (rari quelli arenacei), localmente anche carsificati.

3.3.7 Coltre eluvio-colluviale, depositi colluviali

Comprendono i prodotti della degradazione superficiale del substrato pre-quaternario e dei depositi quaternari. I depositi possono essersi evoluti in posto o aver subito trasporto lungo i versanti. Sono molto diffusi in corrispondenza dei rilievi torbiditici anche se la rappresentazione in carta è indicativa. Si tratta di prodotti prevalentemente a supporto di matrice, con matrice argilloso-limosa, clasti eterometrici da angolosi a subarrotondati. Lo spessore è variabile, da decimetrico a metrico sui versanti, può essere plurimetrico alla base dei versanti.

3.3.8 Terre rosse

Si tratta di depositi essenzialmente franco limosi-argillosi rossastri il cui spessore può variare dal metro fino a decine di metri. Sono localizzati nelle depressioni e negli avvallamenti carsici dove hanno subito processi di accumulo ad opera del vento e delle acque di ruscellamento superficiale, particolarmente attivi nel Pleistocene. All'interno delle doline, procedendo dall'esterno verso il centro, si riscontra una associazione di suoli contraddistinta da una progressiva diminuzione della quantità di scheletro proveniente dalla disgregazione del substrato roccioso dei versanti e dal progressivo aumento della potenza.

I suoli del Carso triestino, dal punto di vista granulometrico, sono generalmente piuttosto fini con percentuali di silt comprese tra il 30 e il 60 % e argilla tra il 70 e il 30%, mentre la frazione sabbiosa è presente in percentuali inferiori al 5%. Le proprietà meccaniche di questi depositi sono generalmente discrete per effetto della coesione, soprattutto nei termini più profondi della successione stratigrafica, ove il consolidamento naturale si esplica con maggiore intensità.

Le evidenze granulometriche, chimiche, isotopiche e mineralogiche, contrariamente a quanto affermato nel passato, fanno supporre che tali suoli non siano da considerare semplicemente il residuo insolubile derivante dalla dissoluzione e alterazione dei carbonati (o, per lo meno, che non sia questa l'unica sorgente), ma che siano il risultato dalla pedogenesi di depositi eolici (Loess), derivanti dall'alterazione e dal disfacimento delle rocce allumo-silicatiche di tipo arenaceo e marnoso che caratterizzano i flysch presenti nell'area e nelle aree limitrofe.

3.3.9 Sedimenti marini

Tutta la zona costiera centrale e meridionale della città di Trieste è caratterizzata dalla presenza di un potente livello di “fanghi marini”, che interessa gran parte del Borgo Teresiano, gran parte delle aree portuali, sia del Porto Vecchio che del Porto Nuovo, nonché l'area industriale ai piedi del Colle di Servola e lungo il canale navigabile.

Questi sedimenti, in generale, si trovano sotto i riporti.

Sono depositi con proprietà geomeccaniche spesso scadenti, in special modo per l'elevata compressibilità.

Trattasi prevalentemente di argille limose e limi argillosi, talora organici di colore grigio scuro, fino a nerastro, nere, grigio-cenere, azzurrognole, da molli a molto molli, semifluide, localmente con livelli a maggiore componente sabbiosa o con strati di torba.

3.3.10 Riporti

I riporti coincidono per la gran parte con i colmamenti a mare realizzati soprattutto nel secolo scorso nella zona di Zaule, lungo il canale navigabile, nelle aree del Porto Nuovo, nella zona del Porto Vecchio e aree limitrofe, questi ultimi di epoca più antica, principalmente del 1800.

Si tratta di colmamenti che hanno avuto come obiettivo principale quello di estendere le aree fruibili per lo sviluppo portuale ed industriale della città verso mare.

I depositi più antichi sono di natura prevalentemente flyschoide e sono stati ricavati da cave di prestito prossime alle aree da ampliare.

Questo modo di procedere è stato assunto nella zona del Porto Vecchio. Antiche stampe ed immagini fotografiche mostrano il grande sbancamento a monte della Via Udine per ricavare materiale da destinare alla bonifica a mare.

Il medesimo approccio è stato seguito, solo in parte, nella zona del canale navigabile. Qui si sono sovrapposti, in epoche diverse, interventi di riempimento di una vasta zona paludosa facente capo al Torrente Zaule, dapprima con rifiuti solidi urbani nel periodo tra le due guerre, poi, dalla fine della Seconda Guerra Mondiale, utilizzando parte delle macerie prodotte in città dai bombardamenti (150.000 mc), infine utilizzando i materiali ottenuti dallo sbancamento del M.te S. Pantaleone (550.000 mc).

Gli altri tratti di costa, dalla Ferriera allo Scalo Legnami, dall'Arsenale del Lloyd fino alla ex Stazione di Campo Marzio, sono stati colmati secondo modalità di deposito differente, ma sostanzialmente utilizzando materiali naturali di origine flyschoide, ricavati per sbancamento dei vicini rilievi o per deposito di materiali inerti, ove si è sviluppata l'area produttiva della città di Trieste. Dove è segnalata la presenza di riporto si deve avere la consapevolezza che si tratta di coperture sedimentarie con materiali eterogenei, poggianti generalmente su fanghi marini, geomeccanicamente molto scadenti, con una soggiacenza idrica spesso molto superficiale.

Di seguito si allegano alcune carte topografiche, tratte dall' “Albo storico topografico della città e territorio di Trieste” (Kandler P., Zorzon S., 1989, Ed. Italo Svevo) e che illustrano l'evoluzione, tra il 1450 ed il 1770, delle operazioni di colmamento finalizzate all'estensione delle aree fruibili per lo sviluppo portuale ed industriale della città verso mare.

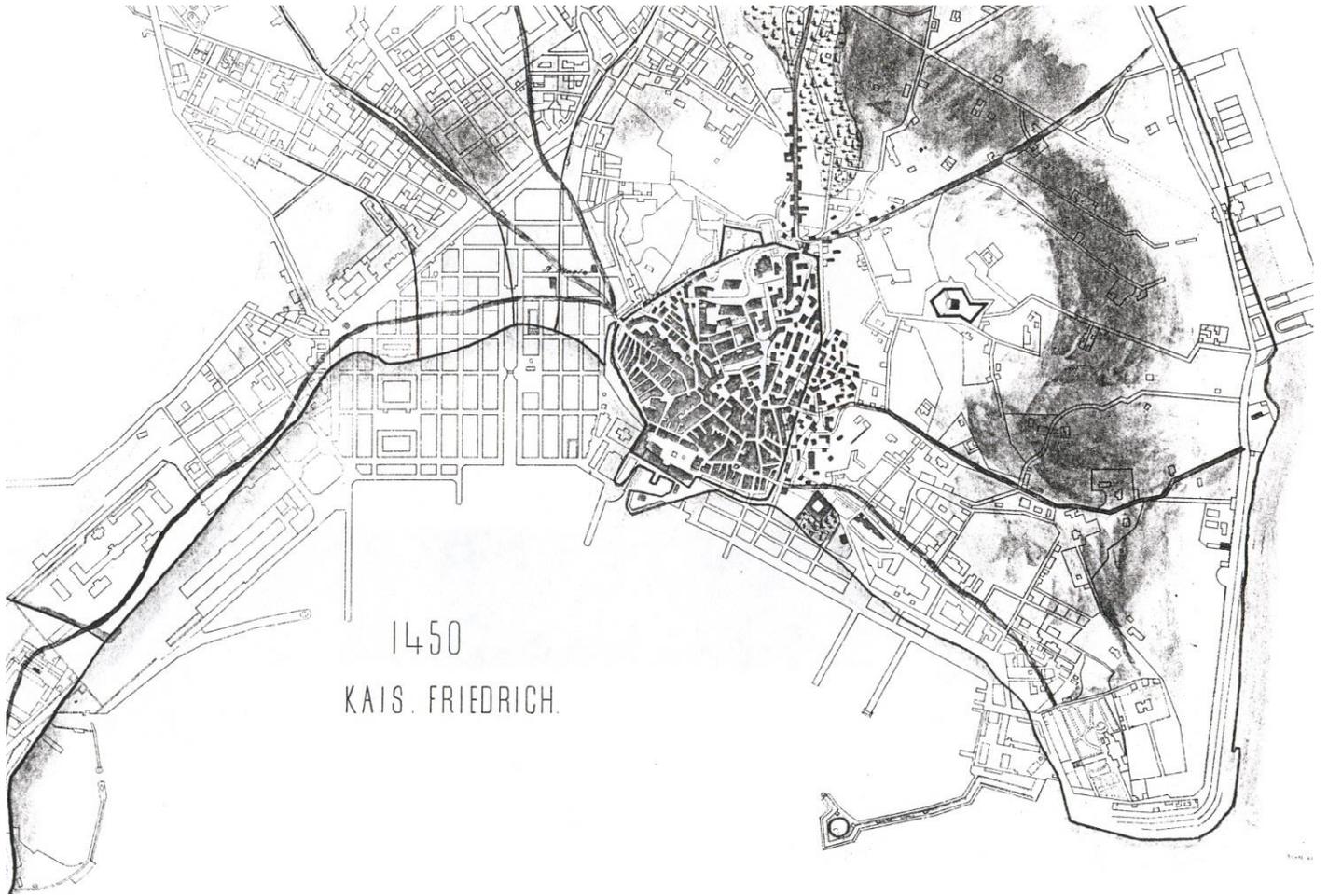


Figura 3.4: carta topografica che illustra il progredire dei colmamenti costieri al 1450

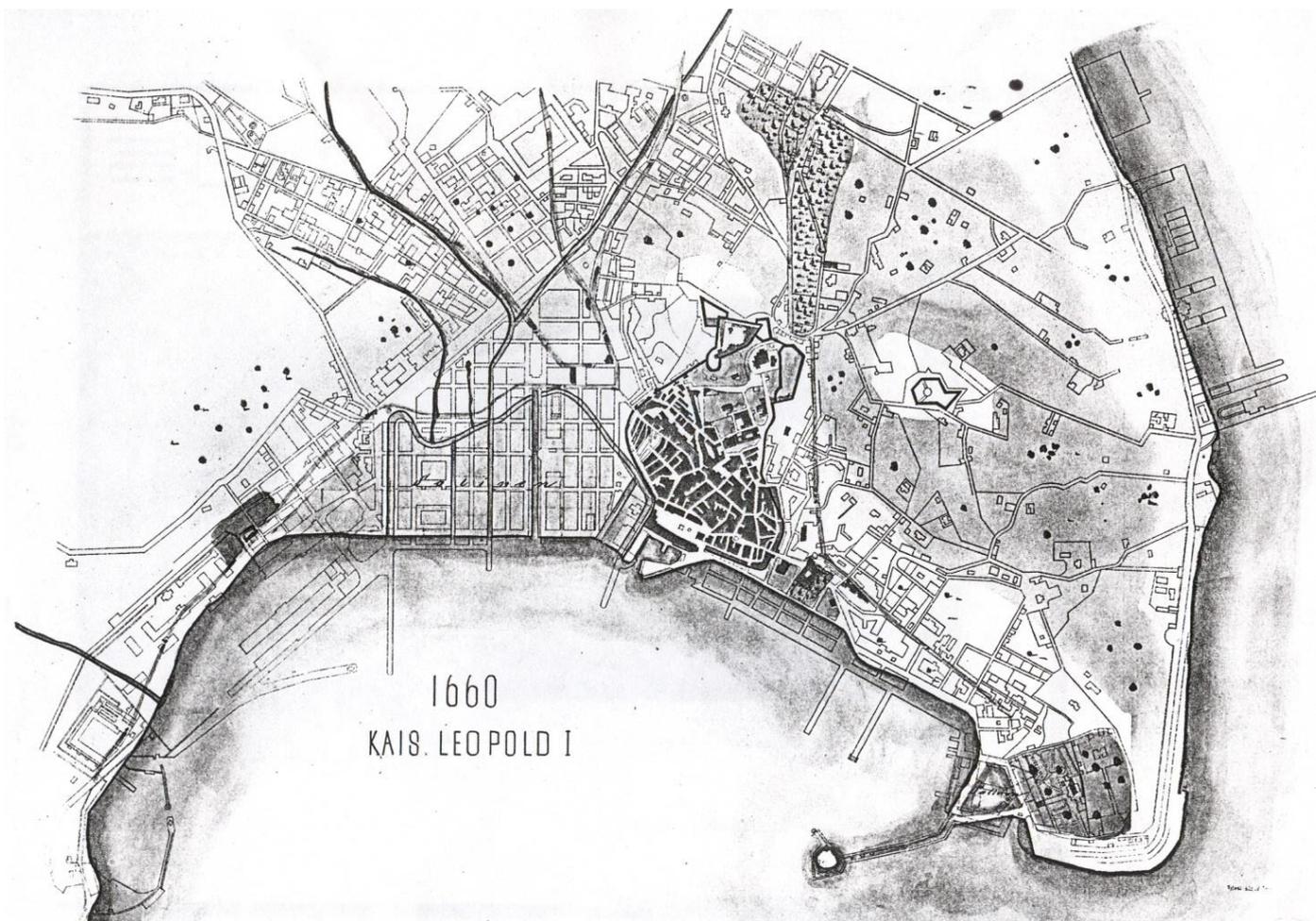


Figura 3.5: carta topografica che illustra il progredire dei colmamenti costieri al 1660

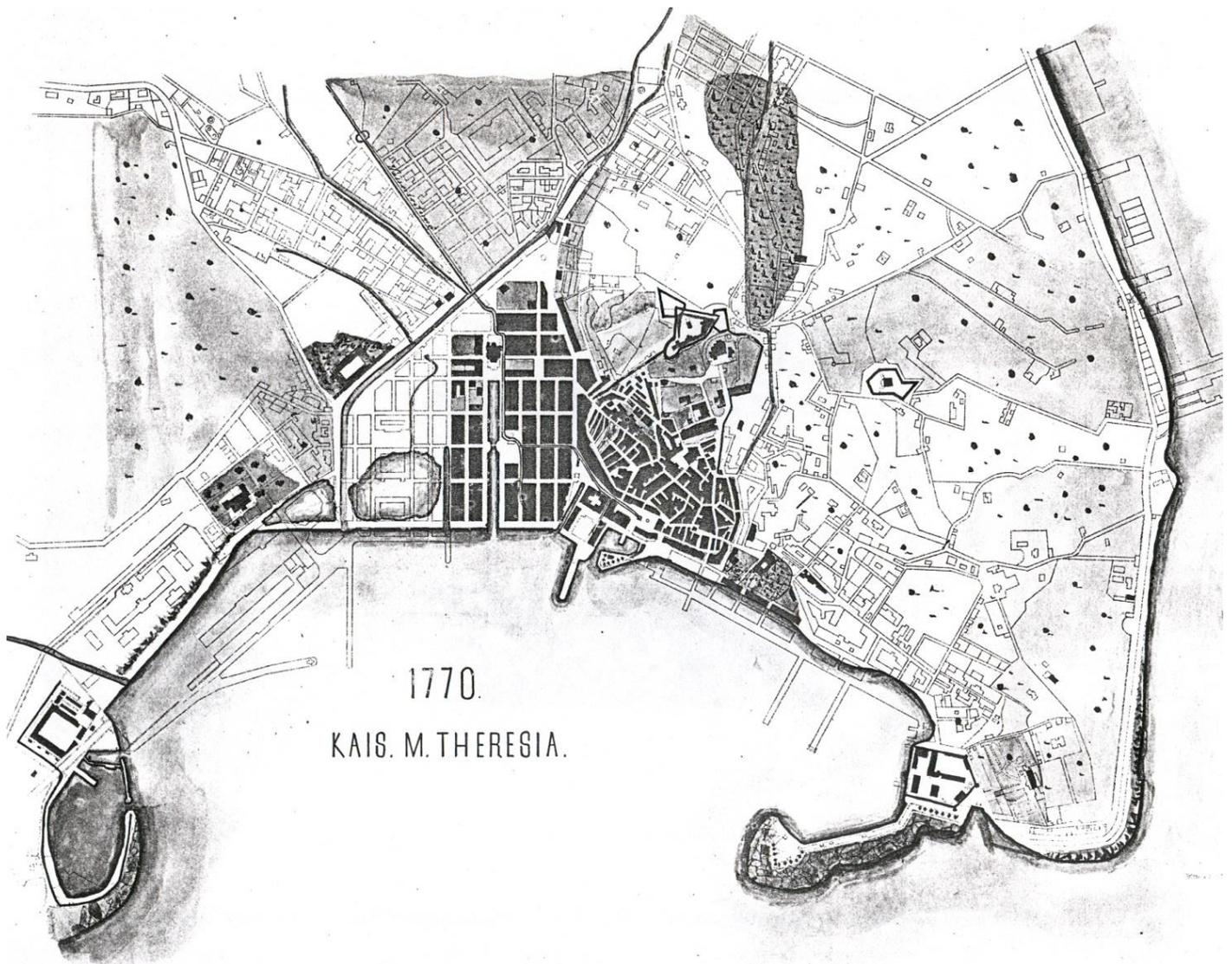


Figura 3.6: carta topografica che illustra il progredire dei colmamenti costieri al 1770

3.4 Assetto tettonico generale

Per la descrizione dell'assetto geostrutturale generale del territorio in esame si fa riferimento a quanto riportato in Le acque del Carso Classico - Vodonosnik klasičnega krasa Progetto HYDROKARST - Eut Edizioni Università di Trieste – 2015 – Cucchi F., Zini L., Calligaris C..

L'area di studio rientra Carso Classico, le cui rocce affioranti testimoniano l'evoluzione di una piattaforma carbonatica dove, dall'Aptiano (circa 120 milioni di anni fa) all'Eocene inferiore (circa 50 milioni di anni fa), si verificò con notevole continuità una sedimentazione di tipo carbonatico. La piattaforma aveva un tasso di subsidenza variabile, come risulta dal fatto che la potenza di quasi tutte le unità diminuisce, anche notevolmente, da Est verso Ovest. La fascia di maggiore instabilità doveva essere ubicata in corrispondenza dell'allineamento Sistiana – Monte Ermada – Miren, lungo il quale variazioni laterali di facies e di spessore sono particolarmente frequenti.

Gli avvenimenti successivi alla sedimentazione, cioè le fasi compressive legate alle orogenesi alpina e dinarica, hanno comportato, in un periodo di tempo compreso tra 35 e 20 milioni di anni fa, con particolare veemenza e con movimenti più lenti fino ad oggi, l'innalzamento, il piegamento e la dislocazione della successione carbonatica e del flysch. Numerose sono le evidenze di questi movimenti, anche se dall'emersione del Carso in poi (ultimi 20 milioni di anni circa), gli agenti atmosferici ed il mare hanno modellato variamente la superficie del Carso stesso.

La geometria assunta dal Carso Classico è infatti il risultato dell'avanzamento verso nord della microplacca Adria che, scontrandosi ed indentandosi con la Placca eurasiatica, ha subito una progressiva rotazione antioraria. Le principali fasi tettoniche sono due, quella Mesoalpina o Dinarica, a direzione prevalente della compressione NE-SW, e quella Neoalpina, con trend compressivo da NNE-SSW a N-S. In questo contesto le strutture che portano alle maggiori evidenze topografiche e geomorfologiche sono i sovrascorrimenti, sviluppati in senso dinarico, ovvero NW-SE, e localizzati lungo i versanti della costa triestina e nel Golfo di Trieste, che coinvolgono la potente successione carbonatica cretacico-paleogenica in un'ampia piega anticlinale, portandola a sovrastare e localmente sovrascorrere sulla successione torbideitica di età eocenica.

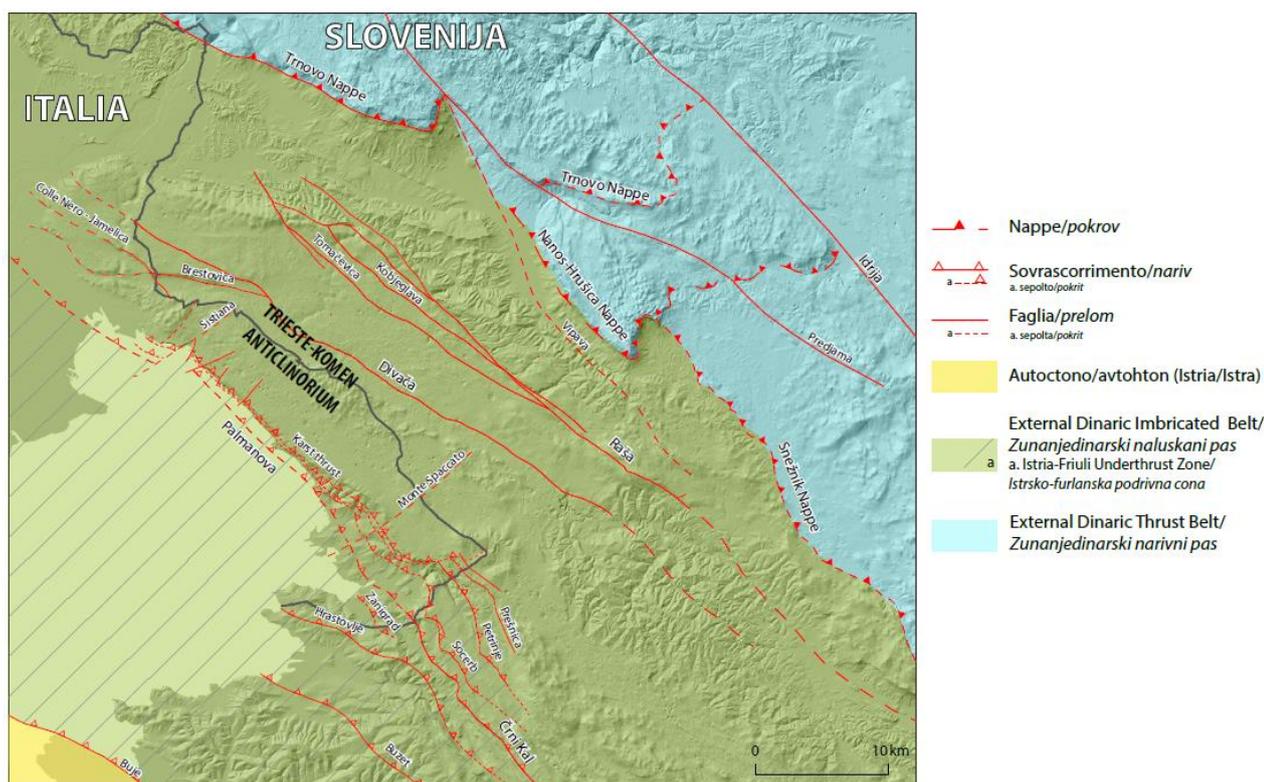


Figura 3.7: Schema tettonico (Cucchi F., Zini L., Calligaris C. - 2015)

Il Carso dal punto di vista geodinamico costituisce la parte più esterna a Occidente della Catena Dinarica (Figura 2.4). Questo settore delle Dinaridi in particolare è costituito da tre grandi sistemi di sovrascorrimenti. Procedendo da NE in direzione SW, troviamo: 1. l' **External Dinaric Thrust Belt**, comprendente a sua volta tutta una serie di falde (Nappe) sovrascorse l'una sull'altra (Trnovo, Hrušica, Sovič e Snežnik), che sovrascorre sul 2. **External Dinaric Imbricated Belt**, comprendente l'area di interesse, ovvero il "Trieste-Komen Anticlinorium" e l'"Istria-Friuli underthrust Zone"; 3. l'**underthrusting** (sottoscorrimento) dell'Istria (*Istria Structural Wedge*) in direzione NE (Placer et al., 2010).

L'Anticlinorio Trieste-Komen è un'unità prevalentemente carbonatica in affioramento dalla sinistra del fiume Vipacco al Golfo di Trieste e dalla pianura isontina a Vreme. L'unità si prolunga poi in direzione ovest verso Udine, a costituire il substrato della Pianura Isontina e Friulana e in direzione sud-est verso Fiume e le isole dalmate, a costituire l'Istria interna e la Dalmazia. Esistono inoltre tutta una serie di faglie, orientate NW-SE, importanti indicatori delle dinamiche delle Dinaridi, tra le quali si ricordano le faglie di Vipava, di Raša e di Divača.

L'Istria-Friuli Underthrust Zone è il risultato del sottoscorrimento (underthrust) di una parte della microplacca Adria verso NE, avvenuto dopo il Miocene e probabilmente tutt'ora attivo. L'elemento tettonico che la separa dall'Anticlinorio Trieste-Komen è la Linea di Palmanova (Amato et al. 1976) o Trieste Fault (Del Ben et al., 1991; Buseti et al., 2010). Essa connette il sistema dei thrust dinarici della Pianura Friuliana orientale al Crni Kal Thrust in

Slovenia (Placer, 2007). Altre importanti strutture ad andamento dinarico sono il “*Thrust del Carso*” (Bensi et al., 2009), che si sviluppa prevalentemente lungo il contatto calcare-Flysch nel settore nord-occidentale italiano del Carso, nel Flysch sotto la città di Trieste, per poi proseguire in Slovenia con il Thrust di Petrinje e tutta una serie di *thrust minori* che si sviluppano nel Flysch della costa triestina e in mare (figure 3.7 e 3.8), e che proseguono verso sud in Slovenia. Per quanto riguarda le strutture tettoniche, si tratta di faglie ad andamento *dinarico*, a cinematica trascorrente, riattivate sia in compressione che in distensione; faglie *antidinariche* o NS, legate probabilmente alla frammentazione della piattaforma durante la formazione delle avanfosse; le rampe di *thrust*, sia in calcare che in Flysch, ad andamento dinarico (es. Linea di Palmanova); *tear-faults*, faglie trascorrenti di svincolo, che dislocano parti frontali del *thrust*, a orientazione ENE-SWS (es. Linea del Monte Spaccato).

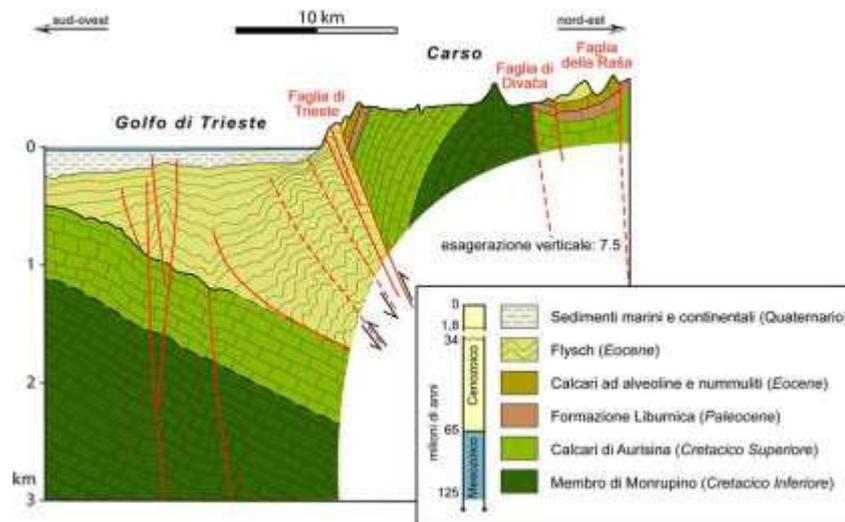


Figura 3.8: Schema della faglia di Trieste (Busetti et al., 2012)

Il quadro di riferimento delle conoscenze attuali sulle faglie capaci, definite come faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie, è stato assunto dal catalogo ITHACA (Italy Hazard from Capable faults). Il catalogo è a cura del Dipartimento Difesa del Suolo/Servizio Geologico d'Italia (SGI) dell' Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) e l'accesso al servizio ITHACA è possibile attraverso il seguente URL: <http://sgi.isprambiente.it/geoportal/catalog/main/home.page>. Il Catalogo ITHACA fornisce una prima indicazione sull'eventuale presenza di faglie attive e capaci in un determinato territorio, ma non può essere utilizzato per la loro caratterizzazione di dettaglio. Ciò vale in particolar modo per gli studi di microzonazione sismica. Infatti per la caratterizzazione di dettaglio della pericolosità da fagliazione superficiale sono richieste particolareggiate indagini ad hoc, di tipo tettonico, geomorfologico e paleosismologico, alla scala della microzonazione sismica (Progetto ITHACA - Faglie Capaci – <http://sgi.isprambiente.it/>).

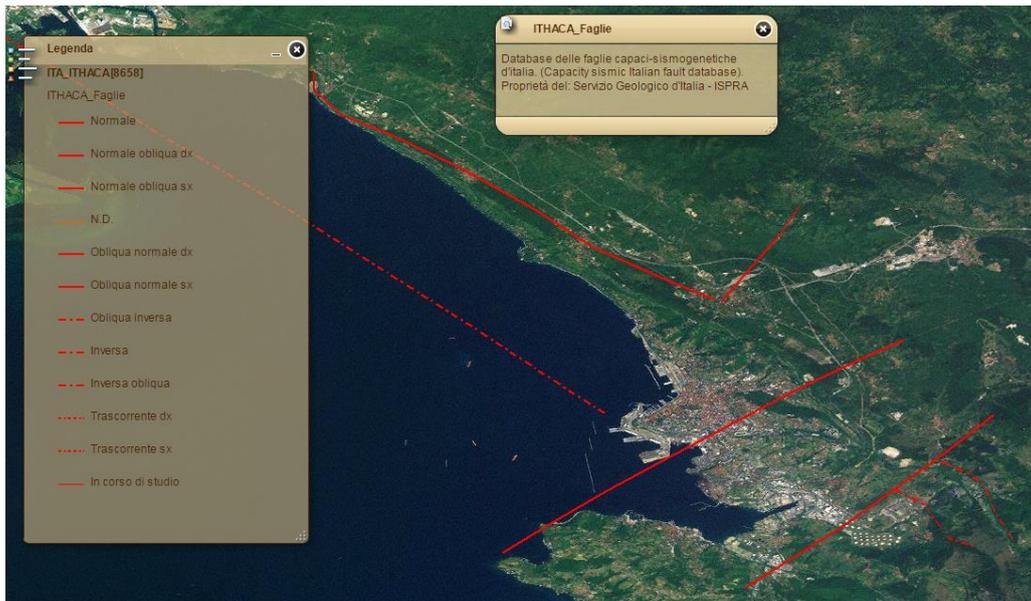


Figura 3.9: Immagine tratta dal geoportale del Progetto ITHACA - Faglie Capaci – <http://sgi.isprambiente.it/>

Dallo schema sopra riportato si evince la presenza di due principali discontinuità, caratterizzate da andamento dinarico, una in prossimità della linea di costa, l'altra collocata in mezzo al Golfo di Trieste, sotto la copertura di sedimenti quaternari, con una delle estremità in direzione di Monfalcone.

Delle due faglie principali si può dire che la prima è ben conosciuta nell'ambito geologico locale in quanto prossima contatto litologico tra Calcari e Flysch Eocenico. La seconda è sepolta al di sotto della coltre quaternaria di sedimenti marini, è stata indagata nel corso di due diverse campagne di acquisizione dati da parte di OGS, la prima nel 2005 e la seconda nel 2009 (figura 3.8- Busetti et al., 2012).

GEOLOGIC SETTING	
SYNOPSIS	
FAULT NAME	Opicina - Sistiana
FAULT CODE	77506
MACROZONE	2
REGION NAME	Friuli Venezia Giulia
SYSTEM NAME	Trieste
RANK	PRIMARY
AVERAGE STRIKE	130
DIP	
LENGTH (Km)	0
GEOMETRY	
SEGMENTATION	
DEPTH (Km)	0
LOCATION RELIABILITY (MAPPING SCALE)	1:0
LAST ACTIVITY	
ACTIVITY RELIABILITY	
RECURRENCE INTERVAL (yr)	0
SLIP-RATE (mm/yr)	0
MAX CREDIBLE RUPTURE LENGTH	0
MAX CREDIBLE SLIP (m)	0
KNOWN SEISMIC EVENTS	
MAX CREDIBLE MAGNITUDE (Mw)	0
MAX CREDIBLE INTENSITY (INQUA scale)	
STUDY QUALITY	LOW
NOTES	

GEOLOGIC SETTING	
SYNOPSIS	
FAULT NAME	Monfalcone
FAULT CODE	77508
MACROZONE	2
REGION NAME	Friuli Venezia Giulia
SYSTEM NAME	Trieste - Udine
RANK	PRIMARY
AVERAGE STRIKE	315
DIP	
LENGTH (Km)	10
GEOMETRY	
SEGMENTATION	yes
DEPTH (Km)	0
LOCATION RELIABILITY (MAPPING SCALE)	1:500000
LAST ACTIVITY	
ACTIVITY RELIABILITY	
RECURRENCE INTERVAL (yr)	0
SLIP-RATE (mm/yr)	0
MAX CREDIBLE RUPTURE LENGTH	0
MAX CREDIBLE SLIP (m)	0
KNOWN SEISMIC EVENTS	
MAX CREDIBLE MAGNITUDE (Mw)	6.2
MAX CREDIBLE INTENSITY (INQUA scale)	
STUDY QUALITY	FAIR
NOTES	Poli 2008; Galadini 2005

Figura 3.10: Schede delle faglie principali tratte dal geoportale del Progetto ITHACA - Faglie Capaci – <http://sgi.isprambiente.it/>

4 Dati geotecnici e geofisici

4.1 Indagini pregresse

La raccolta dei dati geotecnici e geofisici ha riguardato gli studi nell'ambito della pianificazione territoriale e le indagini geognostiche effettuati sul territorio comunale e di seguito elencati:

-Studio geologico di Trieste – Indagine geologica-tecnica per la variante generale al P.R.G.C. del Comune di Trieste, di adeguamento al P.U.R., delle zone per servizi, attrezzature e reti infrastrutturali – Trieste– 1993;

-Studio geologico a supporto della variante generale al Piano Regolatore Generale Comunale – Comune di Trieste - 2013;

-Relazione geologica di progetto di integrazione delle indagini ai fini progettuali ed antisismici a supporto del progetto per: Riconversione ex Comprensorio Industriale Stock UMI 4 e 5 - Riqualificazione sede della Polstrada in cessione al Comune – 2015;

-Relazione geologica per la realizzazione di una passerella pedonale sul Canale tra via Trento e via Cassa di Risparmio – 2010;

-Relazione tecnica - geologia – geofisica – geotecnica a supporto del progetto del parcheggio Molo Audace – 2012;

-Relazione geologica per la ristrutturazione del palazzo “ex Casa del lavoratore portuale” sito in piazza Duca degli Abruzzi n° 3 - committente: Provincia di Trieste - 2010;

-Relazione geologica e di caratterizzazione geotecnica e sismica dell'area di ampliamento del depuratore di Servola – 2014;

-Relazione geologica e di caratterizzazione geotecnica e sismica opere di collegamento tra l'impianto esistente e l'area ampliamento (Depuratore di Servola) – 2014;

-Relazione geologica – geotecnica e di caratterizzazione sismica opere di 1° lotto - 1° stralcio: adeguamento sezione grigliatura fine (Depuratore di Servola) – 2013;

-Relazione geognostica - geologica – geotecnica – Lavori di costruzione della terza linea dell'impianto di incenerimento di rifiuti solidi urbani ed assimilabili della Provincia di Trieste - 2001;

-Relazione geologica e geotecnica – Impianto di smaltimento rifiuti solidi urbani e speciali assimilabili – 1990;

-Relazione geologico-tecnica sulle indagini e prove eseguite – Indagini geognostiche realizzate presso il Palazzo Municipale in Piazza Unità, 4 – 2005;

-Relazione tecnica – Indagine geologico-tecnica a mezzo sondaggi geognostici e prove di laboratorio per il progetto “Tergeste” di iniziativa comunitaria URBAN – 1998;

-Relazione geologica allegata alla variante al P.R.G.C. – Accordo di Programma per il recupero dei magazzini SILOS – 2007;

-Verbale stratigrafico del sondaggio S1 – Ristrutturazione Istituto Carducci – 2010.

È stato inoltre autorizzato, da parte del Servizio Geologico, l'accesso, con rilascio di copia digitale vettorializzata, dei seguenti dati:

- progetto Carta Geologico Tecnica (CGT), banca dati originale restituita alla scala 1:5.000 in coordinate chilometriche Gauss-Boaga, fuso Est;

- Catasto frane regionale (banca dati originale restituita alla scala 1:5.000 in coordinate chilometriche Gauss-Boaga, fuso Est);

Sono stati inoltre utilizzati gli shapefiles forniti dal Catasto regionale delle grotte del Friuli Venezia Giulia e che contengono l'ubicazione dell'ingresso delle cavità carsiche censite al 17/11/2015.

In fase di elaborazione dello studio sono state impiegate le indagini geognostiche raccolte nei documenti sopra elencati e ritenuti utili alla redazione dello studio di microzonazione sismica. In particolare si è deciso di utilizzare, per la definizione del modello geologico del sottosuolo, sondaggi a carotaggio continuo con prove S.P.T. o sondaggi a distruzione di nucleo, poiché rappresentano la tipologia di indagine che fornisce, nella quasi totalità dei casi, le informazioni geologiche e geotecniche fino al substrato roccioso e poiché sono risultate essere disponibili in numero elevato nella banca dati del progetto Carta Geologico Tecnica (CGT) e negli studi consultati. Dalla disamina dei dati disponibili è emersa una elevata densità di indagini del tipo considerato nelle zone della piana di Zaule, di Valmaura-Ferriera, dell'Arsenale, del Molo VII, di Broletto, di Molo V e Riva Traiana, di Sacchetta, di Cavana, del Borgo Teresiano, di Porto Vecchio, della stazione ferroviaria e dell'Ospedale Maggiore. In queste aree è stato necessario filtrare i dati disponibili per rendere leggibile la Carta delle indagini. Sono state scelte infatti le indagini che raggiungevano localmente la massima profondità e risultavano coerenti con i dati stratigrafici delle verticali di indagine adiacenti. I sondaggi presi in esame e riportati nel database allegato al presente studio hanno consentito di avere una buona densità di informazioni di tipo geologico-stratigrafico nelle aree con presenza di terreni di copertura e localmente hanno consentito di integrare/modificare le informazioni di tipo cartografico reperite da bibliografia. Sono state riportate alcune indagini geofisiche di tipo sismico (M.A.S.W.).

Per la definizione dei parametri geotecnici si rimanda ai documenti relativi alle indagini ed allegati al presente studio.

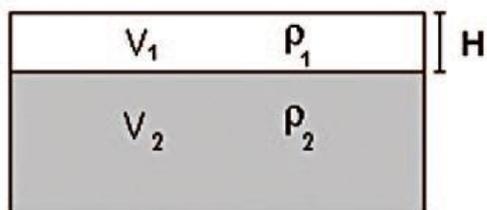
4.2 Nuove indagini geofisiche

Al fine di rendere omogenea sull'intero territorio comunale la lettura dei dati geologico tecnici reperiti da bibliografia e da studi precedenti sono state eseguite n°40 indagini sismiche passive a stazione singola HVSR.

L'indagine sismica passiva denominata H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) utilizza il rumore sismico di fondo come funzione di eccitazione per misurare la risposta del sottosuolo in termini di rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale al fine di determinare la frequenza di risonanza del sito.

Il rumore sismico, generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica, è presente ovunque sulla superficie terrestre. Si chiama anche *microtremore* poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo prossimo all'epicentro. Nelle zone in cui non è presente alcuna sorgente di rumore locale e in assenza di vento, lo spettro in frequenza del rumore di fondo, in un terreno roccioso e pianeggiante, ha l'andamento illustrato nella figura di seguito allegata, dove la curva blu rappresenta il rumore di fondo 'minimo' di riferimento mentre la curva verde rappresenta il 'massimo' di tale rumore, e dove i picchi a 0.14 e 0.07 Hz sono prodotti dalle onde oceaniche sulle coste. Tali componenti spettrali vengono attenuate relativamente poco anche dopo tragitti di migliaia di chilometri per effetto di guida d'onda. A questo rumore di fondo, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie ecc.) e naturali. I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume, P o S. In essi giocano un ruolo fondamentale le onde superficiali, che hanno velocità prossima a quella delle onde S (vedi ad es. Lachet e Bard, 1994), il che spiega la dipendenza di tutta la formulazione dalla velocità di queste ultime. Diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), proposta da Nogoshi e Igarashi (1970) e successivamente da Nakamura negli anni '80. La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo. Le basi teoriche dell'H/V sono relativamente facili da comprendere in un mezzo del tipo

strato + bedrock (o strato assimilabile al bedrock) in cui i parametri sono costanti in ciascuno strato (1-D). Consideriamo il sistema illustrato in figura in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità (ρ_1 e ρ_2) e le diverse velocità delle onde sismiche (V_1 e V_2).



Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene (parzialmente) riflessa dall'interfaccia che separa i due strati. L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (l) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore H del primo strato. La frequenza fondamentale di risonanza (f_r) dello strato 1 relativa alle onde S è pari a

$$f_r = \frac{V_{s1}}{4H} \quad [1]$$

Questo effetto è sommabile, anche se non in modo lineare e senza una corrispondenza 1:1. Ciò significa che la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi allo spessore) di ciascuno di essi, ma non è interpretabile semplicemente applicando l'equazione [1]. (Tratto da "Effetti di sito e Vs30: una risposta alla normativa antisismica Mulargia, Castellaro e Rossi).

Per l'esecuzione delle indagini sismiche passive a stazione singola è stato impiegato un geofono tridimensionale da superficie modello GEMINI-2 della PASI, le cui specifiche tecniche sono:

- Freq. naturale di risonanza: 2 Hz +/-10%
- Sensibilità: 2 V/cm•S-1 +/- 5%
- Resistenza interna: 5.8k Ω +/-5%
- Damping: 0.7 +/-10%
- Distorsione armonica: $\leq 0.2\%$
- Resistenza d'isolamento: ≥ 10 M Ω
- Temp.f unzionamento: da -25°C a + 55°C

Le acquisizioni sono state eseguite con una frequenza di campionamento di 200 Hz per una lunghezza di acquisizione di 20 minuti.

Le nuove indagini HVSR sono state ubicate prioritariamente nelle aree di affioramento dei terreni di copertura (n°14 indagini HVSR a fronte di una superficie di competenza dei terreni di copertura del 13.4 % dell'area di studio). Sono state comunque eseguite delle indagini in aree di competenza del substrato geologico (Lapideo, stratificato - calcari, calcari stratificati; Alternanza di marne siltose ed arenarie - Flysch in facies arenacea, Alternanza di marne siltose ed arenarie - Flysch in facies marnoso-arenacea ed in facies prevalentemente marnosa).

Le risultanze delle indagini svolte sono coerenti con il modello di sottosuolo definito con le indagini pregresse. La curva HVSR ha evidenziato picchi con ampiezze variabili tra 2.5 e 11.1, a frequenze variabili tra 2 e 9 Hz, in presenza di terreni sciolti posti sopra il substrato geologico. Le prove che hanno evidenziato curve del rapporto HVSR piatte o con picchi a plateau nell'intervallo di frequenze 0.5-10 Hz sono state eseguite in aree di competenza del substrato geologico.

Gli esiti di tali indagini sono raccolti nelle relative schede, compilate per ciascuna di esse e raccolte nella cartella \Trieste_S32_shapefile\Indagini\Documenti. Nelle schede sono riportati, quando applicabili, i criteri del progetto SESAME.

4.3 Dati geofisici

Di seguito si definiscono sommariamente le velocità delle onde S dei terreni sciolti e del substrato, così come definiti nella carta delle MOPS, sulla base dei dati pregressi e dell'esperienza maturata dallo scrivente sul territorio in esame:

- Terreni di riporto, rifiuti, sedimenti prevalentemente ghiaiosi (GW, GP, GM, GC), sedimenti prevalentemente sabbiosi (SW, SP, SC), limi organici ed argille organiche, limi inorganici (MH, ML), argille inorganiche (CH, CL), torbe: tali categorie di terreno sono tipicamente contraddistinte, nell'area in esame, da velocità delle onde S variabili tra 80 m/s e 400 m/s;
- Substrato geologico molto fratturato o alterato (Flysch molto fratturato e/o alterato o brecce cementate quaternarie): tali categorie di substrato geologico sono tipicamente contraddistinte, nell'area in esame, da velocità delle onde S variabili tra 350 m/s e 800 m/s;
- Lapideo, stratificato (calcari e calcari stratificati): tale categoria di substrato geologico è tipicamente contraddistinta, nell'area in esame, da velocità delle onde S maggiori di 800 m/s nelle porzioni corticali, mentre nelle porzioni meno fratturate e/o carsificate la velocità è maggiore di 1200-1500m/s;
- Alternanza di litotipi, stratificato (Flysch non alterato o poco alterato, poco fratturato o fratturato): tali categorie di substrato geologico sono tipicamente contraddistinte, nell'area in esame, da velocità delle onde S maggiori di 800 m/s nelle porzioni corticali, mentre nelle porzioni meno fratturate la velocità è maggiore di 1000-1200m/s.

5 Modello di sottosuolo

Per la definizione del modello di sottosuolo ci si è avvalsi dei sondaggi a carotaggio continuo o a distruzione di nucleo e della cartografia geologica reperita in bibliografia.

Nelle aree dove è cartografata la presenza di calcari e calcari stratificati il sottosuolo è caratterizzato da una copertura di spessore decimetrico di “terra rossa” e di clasti carbonatici derivanti dalla carsificazione del sottostante substrato calcareo. A profondità maggiori sono presenti i calcari che, nella porzione corticale, presentano generalmente delle famiglie di diaclasi carsificate. All'aumentare della profondità gli effetti del carsismo sottocutaneo diminuiscono e da una rete diffusa di fessure allargate per fenomeni di dissoluzione dei calcari si passa ad un ammasso roccioso in cui sono presenti forme carsiche ipogee più evolute (cavità carsiche). Nell'ambito di questo modello di sottosuolo sono presenti le doline, che rappresentano, tra le forme carsiche epigee, la macroforma tipica del paesaggio carsico. Tali forme carsiche sono depressioni chiuse, sul cui fondo può essere presente un deposito di terra rossa e clasti carbonatici mobilizzati e franati dai fianchi della dolina. Ove tale deposito è presente può avere spessori estremamente variabili, da meno di un metro fino a riempire l'inghiottitoio che catturava e convogliava, nella massa rocciosa carsificata, le acque superficiali.

Sempre nell'ambito dell'altipiano carsico si riscontrano le seguenti situazioni, per le quali il modello di sottosuolo si discosta da quello sopra descritto:

- riporti o rifiuti soprastanti il substrato roccioso carbonatico;
- ritombamento di scavi lineari;
- depositi di terra rossa di spessore significativo, non legati espressamente alla presenza di una dolina.

Nell'ambito delle aree di affioramento del flysch, sia esso in facies arenacea, marnoso-arenacea o marnosa, il primo sottosuolo è caratterizzato da una coltre eluvio colluviale, il cui spessore tipicamente e contenuto entro alcuni metri, ma in alcune situazioni geomorfologiche, come ad esempio negli impluvi o al piede di versanti, lo spessore può superare i 3 m. Al di sotto della coltre eluvio-colluviale è presente la massa rocciosa che, nella porzione corticale si presenta alterata e maggiormente disarticolata rispetto a quanto rilevabile a profondità maggiori. Sulla base di fonti bibliografiche e di quanto riscontrato nel corso della disamina delle indagini geognostiche utilizzate nell'ambito del presente studio, lo spessore di questo strato alterato e disarticolato ha generalmente spessori compresi tra 3 e 6 m.

Nell'ambito territoriale in cui è presente il flysch si riscontrano le seguenti situazioni, per le quali il modello di sottosuolo si discosta da quello sopra descritto:

- riporti soprastanti il substrato roccioso di flysch;
- ritombamento di scavi lineari o diffusi su grandi aree (Cimitero di S. Anna);
- vecchie cave riempite con i materiali di risulta derivanti dalla coltivazione di altre cave.

Nelle aree dove sono state cartografate ghiaie da cementate a parzialmente cementate lo spessore di tali depositi non è determinato poiché non sono stati reperiti dati (nessun sondaggio esaminato è stato effettuato in tali aree). Nell'ambito del presente studio si è ipotizzato che lo spessore di questi depositi sia superiore a 3 m e che, sulla base delle morfologie dei siti di affioramento, non superi i 6 m.

Nelle aree di bacino e piana al piede dei rilievi di flysch sono presenti depositi eluvio-colluviali o alluvionali, costituiti da miscele di limo argilloso e limo sabbioso con ghiaie e ciottoli, prevalentemente arenacei, in subordine calcarei, in prossimità del versante del ciglione carsico. Nelle porzioni più superficiali domina generalmente la frazione limosa. In queste aree il substrato è costituito da flysch.

Nelle aree in prossimità della linea di costa, sono presenti in superficie riporti che poggiano su sedimenti marino-alluvionali, costituiti da miscele di argilla, limo e sabbia. Lo spessore massimo dei riporti, desunto dall'analisi delle

descrizioni stratigrafiche dei sondaggi analizzati, è di circa 27 m, rilevato nel comprensorio dello stabilimento siderurgico di Servola. In queste aree il substrato è costituito da flysch.

Per descrivere graficamente in modello di sottosuolo “generale” sono state redatte tre sezioni geologico-tecniche, la cui traccia è rappresentata nella Carta Geologico Tecnica. Tali sezioni costituiscono un allegato esterno alla presente relazione.

L’orientamento delle sezioni geologiche è stato scelto considerando le geometrie dei corpi sedimentari superficiali e degli elementi geomorfologici ed idrologici che caratterizzano il territorio. Le sezioni geologiche sono state posizionate in modo da descrivere un modello di sottosuolo che fosse rappresentativo in generale dell’assetto litostratigrafico del territorio esaminato e dove la densità delle indagini geognostiche poteva consentire la definizione dello spessore dei terreni di copertura e della profondità del substrato geologico con maggiore accuratezza.

Considerata la scala di rappresentazione delle sezioni geologico-tecniche e la notevole variabilità delle caratteristiche granulometriche dei sedimenti evidenziata tra le varie indagini geognostiche, è stato necessario semplificare la rappresentazione grafica dei terreni di copertura evidenziati nella Carta Geologico Tecnica e di quelli sciolti sottostanti. La legenda per la definizione dei litotipi è costituita dalle seguenti classi:

- Riporti (RI);
- Depositi quaternari marino - alluvionali;
- Depositi quaternari alluvionali;
- Substrato alterato (SF);
- Flysch (ALS);
- Calcari (LPS).

Sulla base dei principi sopra esposti sono state redatte le tre sezioni geologiche, di seguito descritte:

-SEZIONE 1-1': è orientata in direzione Sud-Ovest/Nord-Est ed attraversa la zona dell’Arsenale e del Broletto, il Colle di S. Giusto, i tratti terminali delle valli del T. Settefontane, del T. Farneto e del Rio Romagna, il Colle di Scorcola, le linee d’impluvio del Rio Scalze e del Rio Morari-Rio Rosani, il ciglione in prossimità del Monte Belvedere e l’altipiano carsico in corrispondenza dell’abitato di Opicina.

-SEZIONE 2-2': è orientata in direzione Ovest/Est ed attraversa il Borgo Teresiano, i tratti terminali delle valli del T. Settefontane, del T. Farneto, del Rio Romagna, del Rio Orsenigo, del Rio Marchesetti, del Rio Brandesia e del Rio Timignano, le pendici occidentali del Monte Calvo, l’altipiano carsico in corrispondenza dell’abitato di Padriciano.

-SEZIONE 3-3': è orientata in direzione Sud-Est/Nord-Ovest ed attraversa la Valle di Zaule, ortogonalmente al suo asse principale.

Le sezioni geologiche sono rappresentate in un allegato esterno alla presente relazione e di seguito si riportano le stesse non in scala.

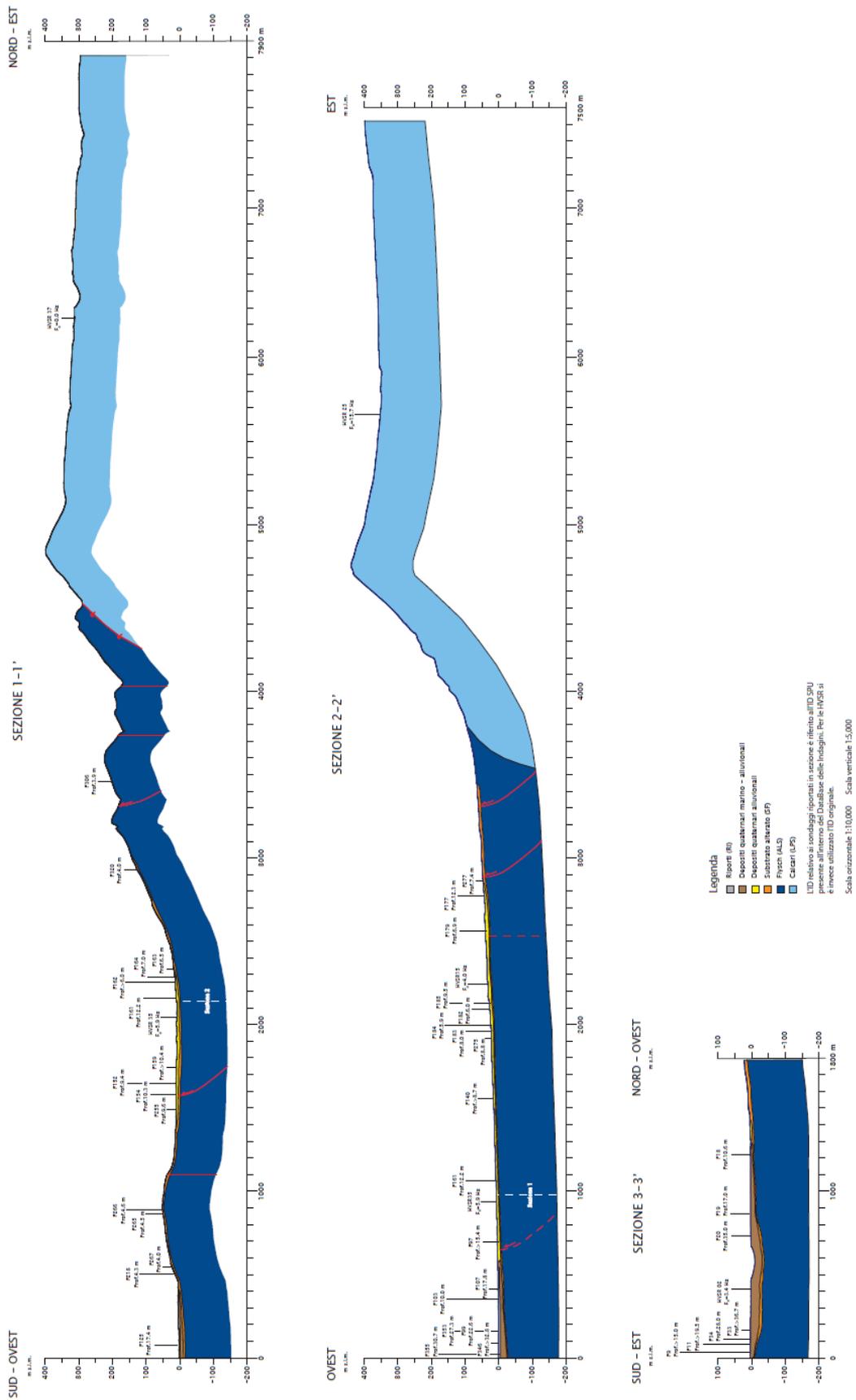


Figura 6.1: Sezioni geologico-tecniche

6 Interpretazioni ed incertezze

Il territorio del Comune di Trieste si presenta estremamente articolato sotto il profilo geomorfologico, geologico-stratigrafico e strutturale. Infatti esso ricomprende un fascia costiera fortemente antropizzata, che ha subito sostanziali modifiche, per quanto riguarda la posizione della linea di costa, attraverso la realizzazione di terrapieni su fondali marini o su manufatti di epoche precedenti, come ad esempio le saline in Borgo Teresiano o i manufatti di epoca romana in via del Teatro Romano o in Cavana. Peraltro i fondali marini su cui sono stati realizzati i terrapieni erano caratterizzati da una forte variabilità nella tessitura dei sedimenti e dello spessore di tali depositi. Infatti dalla disamina delle descrizioni stratigrafiche dei sondaggi presi in esame, i sedimenti su cui poggiano i riporti appartengono alle classi granulometriche delle sabbie, dei limi ed in certi casi delle argille.

Le indagini sismiche passive HVSR eseguite in prossimità della linea di costa, in ambiti geologici riconducibili a quanto sopra descritto (Canale Navigabile ed aree limitrofe, Valmaura, Piazzale dei Legnami, Riva Tre Novembre, Riva Traiana, Piazzale 11 Settembre-Barcola) hanno evidenziato valori del rapporto spettrale H/V sempre maggiori di 4.5, con valori massimi di 11. Tali risultanze mettono in evidenza un forte contrasto di impedenza sismica alla base dei depositi marini o di quelli marino-alluvionali.

Alle spalle della fascia costiera il territorio è caratterizzato da rilievi di flysch, incisi da corsi d'acqua (torrenti e rii) che, con un percorso di pochi chilometri, passano dal bacino di alimentazione allo sbocco in mare, passando attraverso il centro cittadino in cunicoli interrati. Nella porzione meno acclive delle valli incise dai corsi d'acqua sono presenti spessori significativi di depositi alluvionali, la cui tessitura presenta una marcata variabilità verticale e laterale, sia nella direzione di sviluppo della valle, sia ortogonalmente ad essa. In quest'ultima direzione inoltre sono evidenti sensibili variazioni della profondità del substrato geologico. Nella Carta Geologico Tecnica i limiti tra gli areali di affioramento dei terreni di copertura o tra questi ed il substrato geologico sono stati tracciati fondamentalmente sulla base di quelli rappresentati nel progetto Carta Geologico Tecnica (CGT), nella Carta della litologia superficiale, allegata allo Studio geologico a supporto della variante generale al Piano Regolatore Generale Comunale (2013). Nell'area di Roiano e del Monte San Pantaleone la disamina dei verbali stratigrafici dei sondaggi presi in considerazione per la redazione del presente studio hanno comportato una rappresentazione dei terreni di copertura che si discosta da quanto riportato nelle sopraccitate cartografie. Sussiste un margine di incertezza sulla posizione dei limiti tra gli areali di affioramento dei terreni di copertura o tra questi ed il substrato geologico per il forte livello di antropizzazione delle aree in esame, del limitato numero di indagini a disposizione e dei criteri adottati per la redazione della progetto Carta Geologico Tecnica (CGT) e della Carta della litologia superficiale, allegata allo Studio geologico a supporto della variante generale al Piano Regolatore Generale Comunale (2013). Di conseguenza tali incertezze si riflettono sulla definizione dei limiti delle MOPS.

Lo sviluppo del reticolo idrografico sui rilievi di flysch, unitamente all'assetto geologico e strutturale, ha prodotto un assetto geomorfologico articolato del territorio, caratterizzato da marcata variabilità delle pendenze dei versanti e delle linee di impluvio. L'esperienza maturata dallo scrivente nella pratica professionale sul territorio, nell'ambito della geologia applicata e della geofisica, mi consente di affermare che l'acclività dei versanti ha riflessi sullo spessore della porzione superficiale alterata e disarticolata del flysch. Infatti nei settori di territorio maggiormente acclivi le indagini sismiche in onde P evidenziano velocità di propagazione delle onde tendenzialmente minori che in zone meno disturbate dal punto di vista geomorfologico, a testimoniare un "detensionamento" delle porzioni più superficiali dell'ammasso roccioso. Sempre sulla base delle esperienze maturate nell'ambito delle indagini sismiche in onde P sul territorio in esame, facies di flysch marnose o marnoso arenacee sono caratterizzate, nelle porzioni più superficiali dell'ammasso roccioso, da velocità di propagazione delle onde sismiche tendenzialmente minori di quelle che si rilevano sulla facies arenacea, a parità di assetto geomorfologico del territorio. Anche le indagini HVSR eseguite nell'ambito del presente studio evidenziano che il flysch spesso non ha un comportamento da substrato rigido. Infatti dodici indagini HVSR su quindici eseguite su substrato di flysch hanno fornito una curva del rapporto spettrale con uno o più picchi ($H/V=1.4-3$), di cui alcuni a plateau.

Nell'ambito delle aree di affioramento del flysch, sia esso in facies arenacea, marnoso-arenaceo o marnosa, il primo sottosuolo è caratterizzato da una coltre eluvio colluviale, il cui spessore tipicamente e contenuto entro alcuni metri, ma in alcune situazioni geomorfologiche come ad esempio negli impluvi, al piede di versanti o in corrispondenza di pastinature lo spessore può superare i 3 m. Tali situazioni non risultano cartografabili perché rappresentano tipicamente situazioni localizzate e non sono delimitabili in modo compiuto per assenza di dati geologici puntuali.

Nell'ambito territoriale in cui è presente il flysch possono essere presenti riporti di modesta volumetria, soprastanti il substrato roccioso di flysch, o vecchie cave riempite con i materiali di risulta derivanti dalla coltivazione di altre cave e non segnalate in cartografia per assenza di dati geologici.

Nelle aree dove è stata cartografata la presenza di calcari e calcari stratificati, nove indagini sismiche passive HVSR su dieci eseguite hanno evidenziato una curva del rapporto spettrale piatta nell'intervallo di frequenze 0.5-10 Hz, con valori del rapporto prossimi ad 1. Sempre nelle aree si possono avere localmente doline parzialmente o completamente riempite, ad esempio, per rendere il terreno pianeggiante a scopi agricoli. Tali situazioni possono non trovare riscontro in cartografia per assenza di dati geologici.

Come segnalato negli studi geologici redatti a supporto della pianificazione territoriale del Comune di Trieste, le doline rappresentano un elemento di criticità in una valutazione del grado di pericolosità geologica del territorio, poiché potenzialmente riconducibili a fenomeni di sprofondamento (sinkhole). Come indicato nella classificazione formulata dall'ISPRA infatti, le doline rappresentano una forma ascrivibile ad uno sprofondamento del tipo *Dolina di crollo-cave collapse sinkhole (cavità con forma a pozzo nei calcari e in rocce solubili formatesi per il crollo del soffitto di grotte - CRAMER, 1941; CASTIGLIONI, 1986 FORD 1989)* o del tipo *Dolina di soluzione normale-solution sinkhole (conca chiusa -dallo slavo dol che significa valle - originata per dissoluzione della roccia da parte dell'acqua di ruscellamento superficiale - Cramer, 1941; Castiglioni, 1986)*, oppure sono sede di sprofondamenti che interessano le "terre rosse" presenti sul fondo delle stesse. Quest'ultimo tipo di sinkhole può esser fatto rientrare nella tipologia *Dolina alluvionale-subsidence sinkhole-cover subsidence sinkhole: conca chiusa che si forma su materiali di copertura in genere, e/o alluvionali, in seguito all'originarsi, in rocce solubili sottostanti, di cavità carsiche per dissoluzione subsuperficiale o di crollo (Castiglioni, 1986)*.

Sulla base di quanto sopra esposto, tali morfologie carsiche, intese come fondo e fianchi, sono state perimetrate come *zona di attenzione per cedimenti differenziali/crollo di cavità/sinkhole*. Il perimetro della zona di attenzione è stato tracciato lungo quello che è stato individuato come il bordo superiore dei fianchi della dolina. Nella cartografia tematica redatta nell'ambito dello studio di microzonazione sismica sono state prese in considerazione le doline evidenziate nella Carta Geologico-Tecnica (CGT) e nello Studio geologico a supporto della variante generale al Piano Regolatore Generale Comunale (2013). In particolare da quest'ultimo sono stati assunti i perimetri delle doline con diametro superiore a 50 m, mentre, ai soli fini del presente studio di microzonazione sismica, di quelle di diametro inferiore sono stati tracciati i limiti sulla base degli elementi morfologici rilevabili dalla Carta Tecnica Regionale e da riprese aeree.

Sulla base della disamina dei verbali stratigrafici dei sondaggi presi in esame nella redazione del presente studio sono state individuate le aree, collocate a ridosso della zona costiera, dove sussistono i presupposti litologico-tessiturali ed idrogeologici in presenza dei quali devono essere evidenziate le zone di attenzione per liquefazione, una volta verificati i criteri relativi all'azione sismica. Il limite di tali areali è stato tracciato in posizione intermedia tra i sondaggi che evidenziavano i presupposti litologico-tessiturali ed idrogeologici di cui sopra e quelli per i quali tali presupposti non erano soddisfatti.

Per meglio inquadrare il significato di Zona di Attenzione, si riporta di seguito quanto specificato negli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica – Microzonazione sismica – ver. 3.0 –Ottobre 2013, a cui si è fatto riferimento per la redazione del presente studio: *Per quanto riguarda le zone di attenzione per instabilità (Zona di Attenzione, ZA,...) è bene precisare che corrispondono alle "zone suscettibili di instabilità" originariamente previste da ICMS (2008) e che vengono riferite al Livello 1 degli studi di MS. Tale nuova denominazione (Zona di Attenzione, ZA) si*

è resa necessaria per indicare che nel Livello 1 (e 2), tali zone hanno un livello di approfondimento comparabile con le altre zone di questo livello e pertanto non possono essere ancora classificate come zone effettivamente instabili, fintanto che non vengano esperiti i necessari approfondimenti propri del Livello 3. In questo modo le ZA vengono differenziate in maniera esplicita dalle “zone suscettibili di instabilità “ (ZS....), che possono essere identificate solo nel momento in cui vengono effettuati approfondimenti di tipo quantitativo (si legga livello 3).

Sulla base di quanto esposto fino ad ora, appare evidente che il modello di sottosuolo deve essere assunto come una prima ipotesi ragionata di lavoro, formulata sulla base di dati geologico-tecnici reperiti e di indagini geofisiche svolte nell'ambito del presente studio. Il modello di sottosuolo rappresenta pertanto una base conoscitiva per la programmazione di ulteriori indagini geognostiche da eseguirsi nei livelli 2 e 3 della microzonazione sismica.

7 Metodologie di elaborazione e risultati

7.1 Indagini sismiche passive a stazione singola H.V.S.R.

Al fine di rendere omogenea sull'intero territorio comunale la lettura dei dati geologico tecnici reperiti da bibliografia e da studi precedenti sono state eseguite n°40 indagini sismiche passive a stazione singola HVSR.

I dati acquisiti sono stati elaborati con il software winMASW 7.0 Academy, ricampionandoli a 128 Hz ed utilizzando una finestra temporale di 20 s per il calcolo del rapporto spettrale H/V. Per l'elaborazione sono state escluse quelle porzioni della registrazione chiaramente affette da rumore antropico ed è stato applicato un smoothing del 10%.

Sulla curva HVSR stati individuati, nell'intervallo di frequenze 0.5-10 Hz, i picchi significativi e ritenuti di natura stratigrafica in base alla disamina degli spettri delle tre componenti registrate. Di seguito si allega uno schema di sintesi delle frequenze alle quali sono stati individuati, come sopra descritto, i picchi principali nella curva del rapporto spettrale e la relativa ampiezza. La dicitura *N.P.* sta ad indicare che la curva del rapporto spettrale non ha evidenziato alcun picco significativo.

n° HVSR	F₀	A
1	4,6	1,7
2	3,4	5,6
3	4,4	11,1
4	7	4,5
5	6,1	3
6	4,3	2,1
7	4	4,5
8	2	7,7
9	9	3,1
10	5,7	1,5
11	<i>N.P.</i>	-
12	6,5	2,5
13	4,6	1,7
14	<i>N.P.</i>	-
15	4	3,5
16	<i>N.P.</i>	-
17	4,5	2,7
18	5,5	1,6
19	5,6	1,6
20	7,8	1,4
21	4	5,5
22	3,5	2,5
23	2,9	6,8
24	<i>N.P.</i>	-
25	<i>N.P.</i>	-
26	<i>N.P.</i>	-
27	<i>N.P.</i>	-
28	<i>N.P.</i>	-
29	<i>N.P.</i>	-

30	8,4	2,1
31	N.P.	-
32	3,4	8,9
33	5,3	1,5
34	4	2,2
35	5,9	4,3
36	4,3	2
37	N.P.	-
38	N.P.	-
39	3,6	1,5
40	4,3	2

Dalla disamina di tale tabella risulta che per 12 indagini svolte non risulta alcun picco significativo nella curva HVSR. Tali prove sono state eseguite in corrispondenza di areali di affioramento dei calcari e calcari stratificati ed in subordinate di flysch in facies arenacea, in un solo caso di flysch in facies marnoso-arenacea.

7.2 Definizione delle MOPS

Le microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) sono state definite sulla base dei tipi di substrato geologico e dei terreni di copertura, così come desunti dalla Carta Geologico-Tecnica (CGT) e dallo Studio geologico a supporto della variante generale al Piano Regolatore Generale Comunale (2013), della pendenza dei versanti, desunta dall'elaborazione del modello digitale del terreno ottenuto dal grigliato a passo 10 m, e del modello di sottosuolo, desunto dalla disamina delle indagini prese in considerazione nell'ambito del presente studio.

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva delle microzone individuate secondo i criteri sopra esposti.

ZONE STABILI	
Tipo_z	Descrizione
1011	LPS Lapideo stratificato: Calcari e calcari stratificati
1041	ALS Alternanza di litotipi stratificati: Flysch in facies arenacea
ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI	
Tipo_z	Descrizione
2001	ALS Alternanza di litotipi stratificati (Flysch in facies arenacea) affiorante su pendii con inclinazione maggiore di 15°
2002	LPS Lapideo stratificato (Calcari e calcari stratificati) affiorante su pendii con inclinazione maggiore di 15°
2003	Terreni contenenti resti di attività antropica (RI) con spessori compresi tra 3 e 10 m. Poggiano su orizzonti con diverse caratteristiche tessiturali come CH, CL, OH, OL, MH, ML, PT, SC, SM, SP, SW, GC, GM, GP o GW. Questi orizzonti in genere poggiano a loro volta su substrato alterato e/o fratturato (SF). Il substrato, costituito dalla formazione flyschoide (ALS), si trova a profondità inferiore a 20 metri dal piano campagna.
2004	Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia (GP). Si tratta di detrito di falda, avente verosimilmente spessori compresi tra 3 e 5 m, che poggia sulla formazione flyschoide (ALS)
2005	Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo (GM) con spessori compresi tra 3 e 5 m. Possono poggiare su orizzonti con diverse caratteristiche litologiche come CH, CL, OH, OL, MH, ML, PT, SC, SM, SP, SW, GC, GM, GP o GW. Questi orizzonti in genere poggiano a loro volta su substrato alterato e/o fratturato (SF). Il substrato, costituito dalla formazione flyschoide (ALS), si trova a profondità inferiore a 20 metri dal piano campagna.
2006	Sabbie pulite e ben assortite, sabbie ghiaiose (SW) con spessori compresi tra 3 e 5 m. Possono poggiare su orizzonti con diverse caratteristiche litologiche come CH, CL, OH, OL,

	MH, ML, PT, SC, SM, SP, SW, GC, GM, GP o GW, che a loro volta poggiano sul substrato alterato e/o fratturato (SF). Il substrato, costituito dalla formazione flyschoidale (ALS), si trova a profondità inferiore a 20 metri dal piano campagna.
2007	Limi inorganici, sabbie fini (MH) con uno spessore compreso tra 3 e 5 m. Possono poggiare su orizzonti con diverse caratteristiche litologiche come CH, CL, OH, OL, MH, ML, PT, SC, SM, SP, SW, GC, GM, GP o GW, che a loro volta poggiano sul substrato alterato e/o fratturato (SF). Il substrato, costituito dalla formazione flyschoidale (ALS), si trova a profondità inferiore a 20 metri dal piano campagna.
2008	Limi inorganici, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità (ML) con uno spessore compreso tra 3 e 5 m. E' la litologia caratteristica delle "terre rosse". Il substrato è costituito dalle formazioni carbonatiche (LPS)
2009	Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose (CL) con uno spessore compreso tra 3 e 5 m. Poggiano su sabbie argillose, miscele di sabbia ed argilla (SC), che a loro volta poggiano sul substrato alterato e/o fratturato (SF). Il substrato, costituito dalla formazione flyschoidale (ALS), si trova a profondità inferiore a 20 metri dal piano campagna.
2010	Terreni contenenti resti di attività antropica (RI) con uno spessore compreso generalmente tra 3 e 10 metri ma può raggiungere anche i 27 metri. Poggiano su orizzonti con diverse caratteristiche tessiturali come CL, OH, OL, MH, ML, PT, SC, SM, SP, SW, GC, GM, GP, GW. Questi orizzonti in genere poggiano a loro volta su substrato alterato e/o fratturato (SF). Il substrato, costituito dalla formazione flyschoidale (ALS), si trova a profondità maggiore di 20 metri dal piano campagna.
2011	Limi inorganici, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità (ML) per uno spessore variabile tra 3 e 5 m. Poggiano su orizzonti con diverse caratteristiche tessiturali come CL, OH, OL, MH, ML, PT, SC, SM, SP, SW, GC, GM, GP, GW. Questi orizzonti in genere poggiano a loro volta su substrato alterato e/o fratturato (SF). Il substrato, costituito dalla formazione flyschoidale (ALS), si trova a profondità maggiore di 20 metri dal piano campagna.
2012	Argille inorganiche di bassa media plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose (CL) per uno spessore variabile tra 3 e 16 m. Poggiano su orizzonti con diverse caratteristiche tessiturali come CL, OH, OL, MH, ML, PT, SC, SM, SP, SW, GC, GM, GP, GW. Questi orizzonti in genere poggiano a loro volta su substrato alterato e/o fratturato (SF). Il substrato, costituito dalla formazione flyschoidale (ALS), si trova a profondità maggiore di 20 metri dal piano campagna.
2013	Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo (GM) con uno spessore compreso tra 3 e 5 m. Poggiano su orizzonti con diverse caratteristiche tessiturali come CL, OH, OL, MH, ML, PT, SC, SM, SP, SW, GC, GM, GP, GW. Questi orizzonti in genere poggiano a loro volta su substrato alterato e/o fratturato (SF). Il substrato, costituito dalla formazione flyschoidale (ALS), si trova a profondità maggiore di 20 metri dal piano campagna.
2014	Resti di attività antropica-rifiuti (RI), relativi all'ex Discarica di Trebiciano. L'accumulo di materiale di tipo RSU ha spessori che raggiungono i 15 metri. Poggiano sul substrato costituito dalle formazioni carbonatiche (LPS)
2015	Terreni contenenti resti di attività antropica (RI) con profondità del substrato inferiore a 6 metri dal piano campagna. Il substrato è costituito dalle formazioni carbonatiche (LPS)
2016	Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia (GP). Si tratta di detrito di falda, avente verosimilmente spessori compresi tra 3 e 5 m, che poggia sulle formazioni carbonatiche (LPS)
2017	Limi inorganici, limi argillosi/sabbiosi, limi argillosi di bassa plasticità (ML), con uno spessore compreso tra 3 e 9 m. Poggiano su orizzonti con diverse caratteristiche tessiturali come CL, OH, OL, MH, ML, PT, SC, SM, SP, SW, GC, GM, GP, GW. Questi orizzonti in genere poggiano a loro volta su substrato alterato e/o fratturato (SF). Il substrato, costituito dalla formazione flyschoidale (ALS), si trova a profondità inferiore a 20 metri dal piano campagna.

2099	-Substrato molto fratturato e/o alterato (SF). Si tratta dell'alterazione superficiale della formazione flyschoidale, chiamata anche "cappellaccio di alterazione". Tipicamente ha spessori compresi tra 3 e 6 m. Il substrato è costituito dalla formazione flyschoidale (ALS) in facies marnoso-arenacea o in facies prevalentemente marnosa - Substrato molto fratturato e/o alterato (SF). Si tratta di breccie quaternarie alterate con spessori compresi tra i 3 e i 5 metri. Il substrato è costituito dalla formazione flyschoidale (ALS) o da formazioni carbonatiche (LPS).
ZONE DI ATTENZIONE PER INSTABILITÀ	
Tipo_z	Descrizione
3011-3015	Zona di attenzione per instabilità di versante – attiva ZA_{FRA} . Comprende i seguenti fenomeni: crollo o ribaltamento (3011), scorrimento (3012), colata (3013), instabilità complessa (3014), instabilità non definita (3015)
3021 – 3025	Zona di attenzione per instabilità di versante – quiescente ZA_{FRQ} . Comprende i seguenti fenomeni: crollo o ribaltamento (3021), scorrimento (3022), colata (3023), instabilità non definita (3025)
3050	Zona di attenzione per liquefazione di Tipo 1 ZA_{LQ1} . La zona di attenzione per liquefazione ricade sui terreni che appartengono alle seguenti microzone: 2003, 2007, 2010, 2011, 2012, 2013 e 2018
3080	Zona di attenzione per cedimenti differenziali / crollo di cavità / sinkhole. Comprende le doline, intestate come fondo e fianchi.

7.3 Definizione delle zone di attenzione per liquefazioni

Sulla base di quanto riportato negli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica – Microzonazione sismica – ver. 3.0, negli studi di livello 1 devono essere evidenziate, ove verificate secondo i criteri sotto esposti, le zone suscettibili di liquefazioni che possono essere di due tipi: zone di attenzione ZA_{LQ1} e ZA_{LQ2} .

Le ZA_{LQ1} sono le zone nelle quali gli studi di livello 1 hanno verificato che esistono 4 condizioni predisponenti:

1. terreni sabbiosi
2. falda a profondità inferiore a 15m
3. M_w attesa al sito >5
4. Accelerazioni massime in superficie (pga) >0.1g.

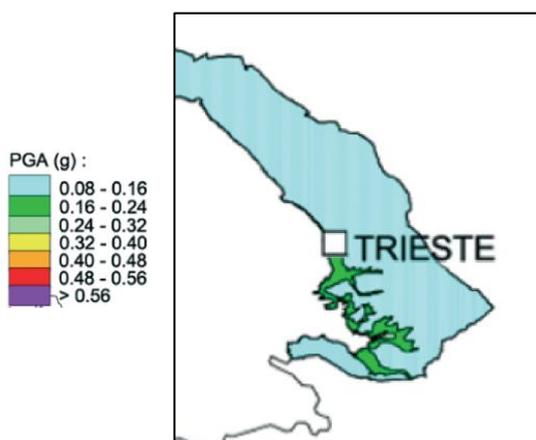
Le ZA_{LQ2} sono zone in cui sussistono solo le prime 3 condizioni, mentre per la quarta ($pga > 0.1g$) è necessaria una verifica nei livelli di approfondimento superiori.

Per quanto riguarda la prima delle condizioni sopra elencate, si è fatto riferimento alle fasce granulometriche per la valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione definite negli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica. Sono stati infatti selezionati i sondaggi e le perforazioni, prese in considerazione nell'ambito del presente studio, i cui verbali stratigrafici indicavano la presenza di sabbie o miscele di sabbie, ghiaie e limi nei primi 20 m di profondità, così come indicato in "Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazione (LQ)" (2014). Per i punti di indagine così individuati è stata verificata la presenza della falda idrica nei primi 15 m di profondità. Tale analisi ha consentito di definire gli areali in cui sono verificate la condizione litologica-tessiturale e quella idrogeologica di cui sopra. Tali areali si estendono a ridosso della fascia costiera e del tratto terminale delle valli del Torrente Posar e del Rio Primario.

Per la definizione della magnitudo attesa da considerare ai fini delle verifiche di liquefazione, si è fatto riferimento a quanto previsto dagli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica: il Comune di Trieste è parzialmente incluso nella zona 904 della zonazione sismogenetica ZS9. Per tale zona M_{wmax2} corrisponde la valore 6.14 (INGV-2004).

Per la definizione delle accelerazioni massime in superficie (pga) ci si è basati sul seguente riferimento bibliografico:

-La *Mappa di Pericolosità Sismica di roccia, suolo rigido e terreno soffice per il Friuli Venezia Giulia in termini di PGA con un tempo di ritorno di 475 anni, redatta da Carulli et al. (2002, 2003)*: nell'area in cui sussistono le condizioni predisponenti di tipo litologico-tessiturale ed idrogeologico i valori di pga sono maggiori di 0.16;



Il valore di pga reperito dalla sopracitata fonte bibliografica risulta superiore a 0.1 g.

Sulla base di quanto sopra esposto, nella carta delle MOPS sono state perimetrare Zone di Attenzione per liquefazione ZA_{LQ1} , aree per le quali sono state verificate le quattro condizioni predisponenti.

Per la rappresentazione delle Zone di Attenzione per liquefazione (ZA_{LQ}) la simbologia proposta prevede la sovrapposizione, al colore della zona stabile suscettibile di amplificazione, di un retino. Questa rappresentazione conserva le informazioni sulla litostratigrafia della microzona, permettendo, se gli approfondimenti del Livello 3 non confermano l'instabilità per liquefazione, di trattare la stessa microzona come stabile suscettibile di amplificazione e caratterizzarla secondo i parametri propri di questo tipo di zona.

7.4 Definizione delle zone di attenzione per instabilità di versante

Le zone di attenzione per instabilità di versante sono state definite e classificate sulla base dei dati contenuti nel Catasto Frane regionale, aggiornato alla data del 24 agosto 2015, fornito dal Servizio geologico della Regione Friuli Venezia Giulia.

7.5 Definizione delle zone di attenzione per cedimenti differenziali/crollo di cavità sotterranee/sinkhole

Le doline rappresentano un elemento di criticità in una valutazione del grado di pericolosità geologica del territorio, poiché potenzialmente riconducibili a fenomeni di sprofondamento (sinkhole). Come indicato nella classificazione formulata dall'ISPRA infatti le doline rappresentano una forma ascrivibile ad uno sprofondamento del tipo *Dolina di crollo-cave collapse sinkhole (cavità con forma a pozzo nei calcari e in rocce solubili formatesi per il crollo del soffitto di grotte - CRAMER, 1941; CASTIGLIONI, 1986 FORD 1989)* o del tipo *Dolina di soluzione normale-solution sinkhole (conca chiusa -dallo slavo dol che significa valle - originata per dissoluzione della roccia da parte dell'acqua di ruscellamento superficiale - Cramer, 1941; Castiglioni, 1986)*, oppure sono sede di sprofondamenti che interessano le "terre rosse" presenti sul fondo delle stesse. Quest'ultimo tipo di sinkhole può esser fatto rientrare nella tipologia

Dolina alluvionale-subsidence sinkhole-cover subsidence sinkhole: conca chiusa che si forma su materiali di copertura in genere, e/o alluvionali, in seguito all'originarsi, in rocce solubili sottostanti, di cavità carsiche per dissoluzione subsuperficiale o di crollo (Castiglioni, 1986).

Sulla base di quanto sopra esposto, tali morfologie carsiche, intese come fondo e fianchi, sono state perimetrare come *zona di attenzione per cedimenti differenziali/crollo di cavità/sinkhole*. Il perimetro della zona di attenzione è stato tracciato lungo quello che è stato individuato come il bordo superiore dei fianchi della dolina. Nella cartografia tematica redatta nell'ambito dello studio di microzonazione sismica sono state prese in considerazione le doline evidenziate nella Carta Geologico-Tecnica (CGT) e nello Studio geologico a supporto della variante generale al Piano Regolatore Generale Comunale (2013). In particolare da quest'ultimo sono stati assunti i perimetri delle doline con diametro superiore a 50 m, mentre, ai soli fini del presente studio di microzonazione sismica, i limiti di quelle di diametro inferiore sono stati tracciati sulla base degli elementi morfologici rilevabili dalla Carta Tecnica Regionale e da riprese aeree.

È stato inoltre cartografato un sinkhole di origine antropica, segnalato in località Contovello dal dott. Michele Potleca della Protezione Civile Regionale.

8 Elaborati cartografici

Gli elaborati cartografici sono stati realizzati in scala 1:10.000 secondo quanto previsto dagli “Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica” e dagli “Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica – Versione 3.0 –”. I file di stampa delle carte in formato pdf sono stati archiviati nella cartella Trieste_S32_shapefile\Plot\MS.

8.1 Carta delle indagini

Nella Carta delle indagini sono state riportate i punti di indagine contenuti nel database del progetto Carta Geologico Tecnica (CGT) ed in studi nell’ambito della pianificazione territoriale e della realizzazione di opere. Sono state inoltre riportate le indagini geofisiche eseguite dallo scrivente nell’ambito del presente studio.

Di seguito si allega un elenco delle tipologie di indagini lineari inserite nella carta:

- n°3 MASW

Di seguito si allega un elenco delle tipologie di indagini puntuali (n° 693 in 403 siti) inserite nella carta:

- n°40 indagini sismiche passive a stazione singola HVSR;
- n°70 S Sondaggi a carotaggio continuo;
- n°11 SD Sondaggi a distruzione di nucleo;
- n°12 SDS Sondaggi a distruzione di nucleo che intercettano il substrato;
- n°290 SPT (Standard Penetration Test);
- n°270 SS Sondaggi a carotaggio continuo che intercettano il substrato.

8.2 Carta Geologico-Tecnica

Nella Carta Geologico-Tecnica per la Microzonazione Sismica (CGT_MS) sono state riportate le informazioni di tipo geologico, geomorfologico e le caratteristiche litotecniche, geotecniche ed idrogeologiche relative all’area di studio. Tali dati sono stati derivati dal progetto Carta Geologico Tecnica (CGT), banca dati originale restituita alla scala 1:5.000, e dallo Studio geologico a supporto della variante generale al Piano Regolatore Generale Comunale (2013). La rappresentazione dei dati geologici reperiti è stata organizzata in funzione della definizione del modello di sottosuolo e delle Microzone Omogenee in prospettiva sismica. Le unità geologico-litotecniche sono state distinte in terreni di copertura e substrato geologico. Per i terreni di copertura è stato definito lo stato di addensamento o di consistenza e la descrizione dell’ambiente genetico e deposizionale.

Le unità geologico-litotecniche rappresentate nella CGT_MS e che rientrano tra i terreni di copertura sono le seguenti:

RI: terreni contenenti resti di attività antropica, terreni di riporto/rifiuti. I riporti coincidono per la gran parte con i colmamenti a mare realizzati soprattutto nel secolo scorso nella zona di Zaule, lungo il canale navigabile, nelle aree del Porto Nuovo, nella zona del Porto Vecchio e aree limitrofe. All’interno dei depositi definiti riporti, nella zona di Zaule e di Barcola, rientrano anche depositi di rifiuti. Sempre in questa unità rientrano i rifiuti della discarica di Trebiciano. Tale unità interessa il 9.2% dell’area di studio.

GP: Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia - falda di detrito di versante (fd). Il detrito di falda affiora al contatto tra le successioni carbonatiche e quelle torbiditiche, lungo il versante del ciglione carsico. Trattasi di depositi costituiti da ghiaie grossolane, ciottoli e blocchi angolosi, mal classati, a tessitura da aperta a parzialmente aperta; i clasti hanno litologia omogenea (rocce carbonatiche e/o arenarie). Tale unità interessa meno dell’uno per cento dell’area di studio.

GM: Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo - deposito alluvionale di piana pedemontana (pd). Sono depositi costituiti da miscele limo argilloso e limo sabbioso, a seconda della facies del substrato flyschoidale nel bacino di riferimento, con ghiaie e ciottoli, prevalentemente arenacei, in subordinate calcarei, in prossimità del versante del ciglione carsico. Nelle porzioni più superficiali domina generalmente la frazione limosa. Tale unità interessa meno dell'uno per cento dell'area di studio.

SW: Sabbie ben assortite, sabbie limose e ghiaiose che costituiscono il deposito alluvionale di bacino intramontano (in). Tale unità interessa meno dell'uno per cento dell'area di studio.

MH: Limi inorganici, sabbie fini, limi argillosi, sabbiosi e ghiaiosi che costituiscono il deposito alluvionale di conoide (ca), di bacino (piana) intramontano (in) e di piana pedemontana (pd) oppure il deposito eluvio-colluviale (ec). Tale unità interessa il 2.8% dell'area di studio.

ML: Limi inorganici, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità che costituiscono il deposito di riempimento delle doline -"terre rosse" (do), il deposito alluvionale di piana pedemontana (pd) o i depositi alluvionali-marini di piana deltizia (dl). Tale unità interessa meno dell'uno per cento dell'area di studio.

Le unità geologico-litotecniche rappresentate nella CGT_MS e che costituiscono il substrato geologico sono le seguenti:

LPS: Lapideo, stratificato, costituito da calcari e calcari stratificati appartenenti ai Calcari di Aurisina, ai Calcari della Formazione Liburnica ed ai Calcari ad Alveoline e Nummuliti. Tale unità interessa il 48.5% dell'area di studio.

ALS: Alternanza di marne siltose ed arenarie. Tale unità rappresenta il flysch in facies arenacea ed interessa il 10.9% dell'area di studio. Nell'ambito degli areali di affioramento di tale unità possono essere presenti aree con coperture di spessore inferiore a 3 m e non cartografabili.

SF: Ghiaie mal classate da cementate a parzialmente cementate (GR) - detrito di versante. Tale unità interessa meno dell'uno per cento dell'area di studio.

SF: Alternanza di marne siltose ed arenarie. Tale unità rappresenta il flysch in facies marnoso-arenacea ed in facies prevalentemente marnosa che, nella parte corticale, si presenta alterato. Tale unità interessa il 26.9% dell'area di studio. Nell'ambito degli areali di affioramento di tale unità possono essere presenti aree con coperture di spessore inferiore a 3 m e non cartografabili.

Il Molo Settimo a Trieste, come altre infrastrutture portuali, nella parte più esterna alla costa è costituito da un impalcato. In questo caso, come nelle altre situazioni analoghe riscontrate, nella CGT_MS sono stati cartografati i terreni presenti sul fondale sottostante la struttura.

Nella Carta Geologico Tecnica le aree caratterizzate da instabilità di versante occupano una superficie inferiore ad 1% di quella dell'area di studio. Su tali aree 89% della superficie è caratterizzata da instabilità di versante di tipo attivo, mentre l'11% da instabilità di versante di tipo quiescente.

Le instabilità cartografate nella CGT_MS sono le seguenti:

- Crollo o ribaltamento - attivo (FR_A);
- Scorrimento - attivo (FR_A);
- Colata - attiva (FR_A);
- Instabilità complessa - attiva (FR_A);
- Instabilità non definita - attiva (FR_A);
- Instabilità non definita - quiescente (FR_Q);
- Crollo o ribaltamento - quiescente (FR_Q);
- Scorrimento - quiescente (FR_Q);

- Colata - quiescente (FR_Q).

Nella CGT_MS, tra gli altri elementi lineari e puntuali rappresentati, quelli che sono ritenuti significativi per lo studio di microzonazione sismica sono gli orli di scarpata morfologica con altezza compresa tra 10 e 20 m e quelli con altezza superiore a 20 m. Tali orli sono stati cartografiati basandosi su una carta delle pendenze e sulla morfologia del versante desumibile dalla Carta Tecnica Regionale.

Inoltre sono state rappresentate, mediante simbolo puntuale previsto negli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica – Microzonazione sismica – ver. 3.0, le doline/sinkhole e gli ingressi delle cavità carsiche censite presso il Catasto regionale delle grotte del Friuli Venezia Giulia al 17/11/2015.

8.3 Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (Carta delle MOPS)

La Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (Carta delle MOPS) è stata realizzata sulla base degli elementi predisponenti alle amplificazioni ed alle instabilità, acquisiti nell'ambito del presente studio, attraverso l'analisi di dati pregressi o tramite la campagna di indagini geofisiche, e riportati nella CGT_MS.

Sulla base degli geologici, geomorfologici e geofisici acquisiti, nella Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (Carta delle MOPS) sono state definite due zone stabili, che interessano complessivamente il 41.4 % dell'area di studio, diciotto microzone stabili suscettibili di amplificazione locale, che interessano complessivamente il 47.8 % dell'area di studio, e quattro zone di attenzione per instabilità, che interessano complessivamente il 10.8 % dell'area di studio.

Le zone stabili corrispondono agli areali di affioramento del substrato geologico, costituito da LPS o ALS, affiorante o sub affiorante con uno spessore della copertura inferiore a 3 m e con pendenza del versante inferiore a 15°.

Le zone stabili suscettibili di amplificazione locale corrispondono agli areali di affioramento del substrato geologico, costituito da LPS o ALS, affiorante o sub affiorante con uno spessore della copertura inferiore a 3 m e con pendenza del versante superiore a 15°. Corrispondono inoltre con gli areali di affioramento del substrato geologico molto fratturato o alterato e dei terreni di copertura.

Le zone di attenzione per instabilità corrispondono, nella situazione analizzata, a quelle aree dove, nella CGT_MS sono state cartografate instabilità di versante, dove sono state verificate, sulla base di dati pregressi, le condizioni predisponenti in fenomeno della liquefazione, e dove è stata rilevata la presenza di doline.

Nella Carta delle MOPS sono state riportate inoltre le forme di superficie rappresentate nella CGT_MS e i punti di misura HVSR.

Le microzone individuate secondo i criteri esposti al par. 8.2 sono di seguito descritte.

8.3.1 Zone stabili

Zona 1

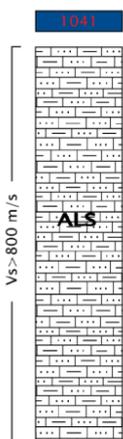
Tipo_z=1011



LPS Lapideo stratificato: Calcari e calcari stratificati.

Zona 2

Tipo_z=1041

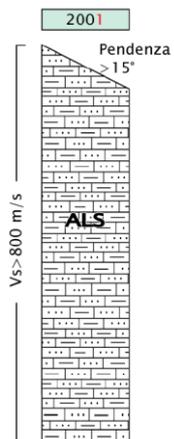


ALS Alternanza di litotipi stratificati: Flysch in facies arenacea.

8.3.2 Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

Zona 3

Tipo_z=2001



ALS Alternanza di litotipi stratificati (Flysch in facies arenacea) affiorante su pendii con inclinazione maggiore di 15°.

Zona 4

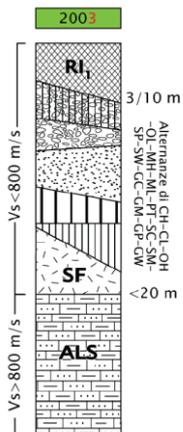
Tipo_z=2002



LPS Lapideo stratificato (Calcari e calcari stratificati) affiorante su pendii con inclinazione maggiore di 15°.

Zona 5

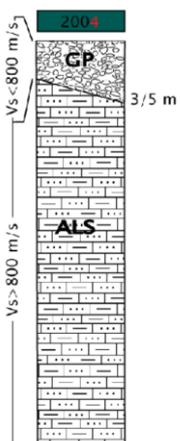
Tipo_z=2003



Terreni contenenti resti di attività antropica (RI) con spessori compresi tra 3 e 10 m. Poggiano su orizzonti con diverse caratteristiche tessiturali come CH, CL, OH, OL, MH, ML, PT, SC, SM, SP, SW, GC, GM, GP o GW. Questi orizzonti in genere poggiano a loro volta su substrato alterato e/o fratturato (SF). Il substrato, costituito dalla formazione flyschoidale (ALS), si trova a profondità inferiore a 20 metri dal piano campagna.

Zona 6

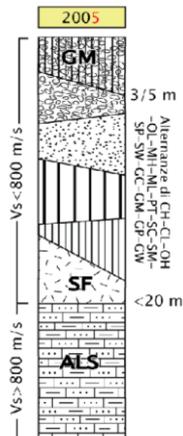
Tipo_z=2004



Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia (GP). Si tratta di detrito di falda, avente verosimilmente spessori compresi tra 3 e 5 m, che poggia sulla formazione flyschoidale (ALS).

Zona 7

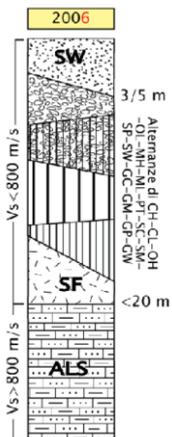
Tipo_z=2005



Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo (GM) con spessori compresi tra 3 e 5 m. Possono poggiare su orizzonti con diverse caratteristiche litologiche come CH, CL, OH, OL, MH, ML, PT, SC, SM, SP, SW, GC, GM, GP o GW. Questi orizzonti in genere poggiano a loro volta su substrato alterato e/o fratturato (SF). Il substrato, costituito dalla formazione flyschoidale (ALS), si trova a profondità inferiore a 20 metri dal piano campagna.

Zona 8

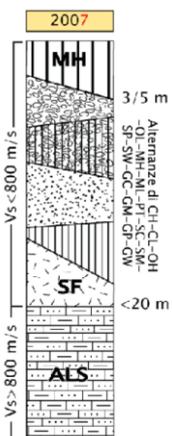
Tipo_z=2006



Sabbie pulite e ben assortite, sabbie ghiaiose (SW) con spessori compresi tra 3 e 5 m. Possono poggiare su orizzonti con diverse caratteristiche litologiche come CH, CL, OH, OL, MH, ML, PT, SC, SM, SP, SW, GC, GM, GP o GW, che a loro volta poggiano sul substrato alterato e/o fratturato (SF). Il substrato, costituito dalla formazione flyschoidale (ALS), si trova a profondità inferiore a 20 metri dal piano campagna.

Zona 9

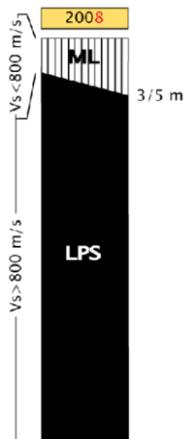
Tipo_z=2007



Limi inorganici, sabbie fini (MH) con uno spessore compreso tra 3 e 5 m. Possono poggiare su orizzonti con diverse caratteristiche litologiche come CH, CL, OH, OL, MH, ML, PT, SC, SM, SP, SW, GC, GM, GP o GW, che a loro volta poggiano sul substrato alterato e/o fratturato (SF). Il substrato, costituito dalla formazione flyschoidale (ALS), si trova a profondità inferiore a 20 metri dal piano campagna.

Zona 10

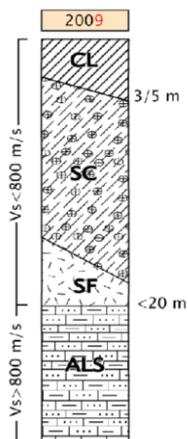
Tipo_z=2008



Limi inorganici, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità (ML) con uno spessore compreso tra 3 e 5 m. E' la litologia caratteristica delle "terre rosse". Il substrato è costituito dalle formazioni carbonatiche (LPS).

Zona 11

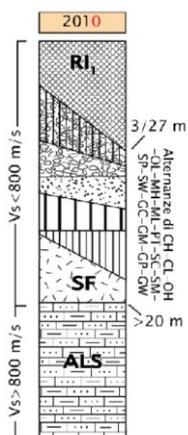
Tipo_z=2009



Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose (CL) con uno spessore compreso tra 3 e 5 m. Poggiano su sabbie argillose, miscele di sabbia ed argilla (SC), che a loro volta poggiano sul substrato alterato e/o fratturato (SF). Il substrato, costituito dalla formazione flyschoidale (ALS), si trova a profondità inferiore a 20 metri dal piano campagna.

Zona 12

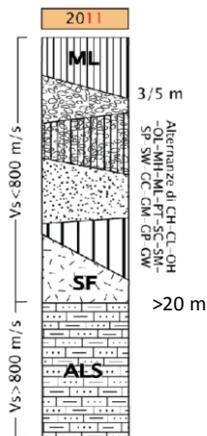
Tipo_z=2010



Terreni contenenti resti di attività antropica (RI) con uno spessore compreso generalmente tra 3 e 10 metri ma può raggiungere anche i 27 metri. Poggiano su orizzonti con diverse caratteristiche tessiturali come CL, OH, OL, MH, ML, PT, SC, SM, SP, SW, GC, GM, GP, GW. Questi orizzonti in genere poggiano a loro volta su substrato alterato e/o fratturato (SF). Il substrato, costituito dalla formazione flyschoidale (ALS), si trova a profondità maggiore di 20 metri dal piano campagna.

Zona 13

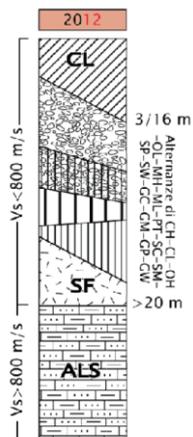
Tipo_z=2011



Limi inorganici, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità (ML) per uno spessore variabile tra 3 e 5 m. Poggiano su orizzonti con diverse caratteristiche tessiturali come CL, OH, OL, MH, ML, PT, SC, SM, SP, SW, GC, GM, GP, GW. Questi orizzonti in genere poggiano a loro volta su substrato alterato e/o fratturato (SF). Il substrato, costituito dalla formazione flyschoidale (ALS), si trova a profondità maggiore di 20 metri dal piano campagna.

Zona 14

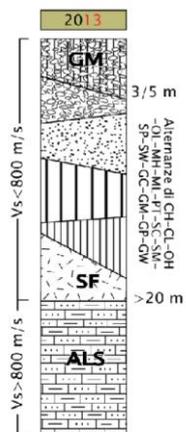
Tipo_z=2012



Argille inorganiche di bassa media plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose (CL) per uno spessore variabile tra 3 e 16 m. Poggiano su orizzonti con diverse caratteristiche tessiturali come CL, OH, OL, MH, ML, PT, SC, SM, SP, SW, GC, GM, GP, GW. Questi orizzonti in genere poggiano a loro volta su substrato alterato e/o fratturato (SF). Il substrato, costituito dalla formazione flyschoidale (ALS), si trova a profondità maggiore di 20 metri dal piano campagna.

Zona 15

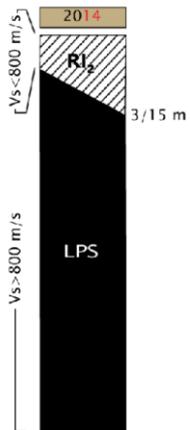
Tipo_z=2013



Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo (GM) con uno spessore compreso tra 3 e 5 m. Poggiano su orizzonti con diverse caratteristiche tessiturali come CL, OH, OL, MH, ML, PT, SC, SM, SP, SW, GC, GM, GP, GW. Questi orizzonti in genere poggiano a loro volta su substrato alterato e/o fratturato (SF). Il substrato, costituito dalla formazione flyschoidale (ALS), si trova a profondità maggiore di 20 metri dal piano campagna.

Zona 16

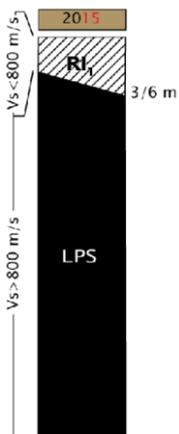
Tipo_z=2014



Resti di attività antropica-rifiuti (RI), relativi all'ex Discarica di Trebiciano. L'accumulo di materiale di tipo RSU ha spessori che raggiungono i 15 metri. Poggiano sul substrato costituito dalle formazioni carbonatiche (LPS).

Zona 17

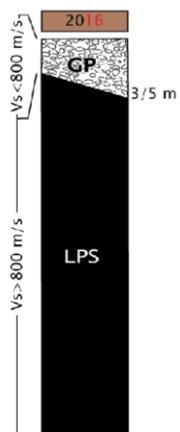
Tipo_z=2015



Terreni contenenti resti di attività antropica (RI) con profondità del substrato inferiore a 6 metri dal piano campagna. Il substrato è costituito dalle formazioni carbonatiche (LPS).

Zona 18

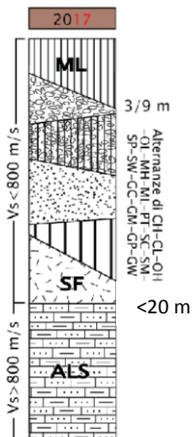
Tipo_z=2016



Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia (GP). Si tratta di detrito di falda, avente verosimilmente spessori compresi tra 3 e 5 m, che poggia sulle formazioni carbonatiche (LPS).

Zona 19

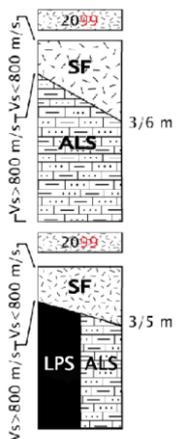
Tipo_z=2017



Limi inorganici, limi argillosi/sabbiosi, limi argillosi di bassa plasticità (ML), con uno spessore compreso tra 3 e 9 m. Poggiano su orizzonti con diverse caratteristiche tessiturali come CL, OH, OL, MH, ML, PT, SC, SM, SP, SW, GC, GM, GP, GW. Questi orizzonti in genere poggiano a loro volta su substrato alterato e/o fratturato (SF). Il substrato, costituito dalla formazione flyschoidale (ALS), si trova a profondità inferiore a 20 metri dal piano campagna.

Substrato molto fratturato o alterato

Tipo_z=2099



-Substrato molto fratturato e/o alterato (SF). Si tratta dell'alterazione superficiale della formazione flyschoidale, chiamata anche "cappellaccio di alterazione". Tipicamente ha spessori compresi tra 3 e 6 m. Il substrato è costituito dalla formazione flyschoidale (ALS) in facies marnoso-arenacea o in facies prevalentemente marnosa

- Substrato molto fratturato e/o alterato (SF). Si tratta di brecce quaternarie alterate con spessori compresi tra i 3 e i 5 metri. Il substrato è costituito dalla formazione flyschoidale (ALS) o da formazioni carbonatiche (LPS).

8.3.3 Zone di attenzione per instabilità

Nella carta delle MOPS sono state definite quattro categorie di zone di attenzione per instabilità, di seguito descritte:

ZA FR_A - Zona di Attenzione per instabilità di versante attiva

Tipo_i= 3011, 3012, 3013, 3014 e 3015



Zona di attenzione per instabilità di versante – attiva ZA_{FRA}. Comprende i seguenti fenomeni: crollo o ribaltamento (3011), scorrimento (3012), colata (3013), instabilità complessa (3014), instabilità non definita (3015). Le aree soggette ad instabilità di versante che rientrano in questa zona di attenzione sono quelle già cartografate nella CGT_MS.

ZA FR_Q - Zona di Attenzione per instabilità di versante quiescente

Tipo_i= 3021, 3022, 3023 e 3025



Zona di attenzione per instabilità di versante – quiescente ZAFRQ. Comprende i seguenti fenomeni: crollo o ribaltamento (3021), scorrimento (3022), colata (3023), instabilità non definita (3025). Le aree soggette ad instabilità di versante che rientrano in questa zona di attenzione sono quelle già cartografate nella CGT_MS.

ZA LQ1 - Zona di Attenzione per liquefazioni tipo 1

Tipo_i= 3050



Zona di attenzione per liquefazione di Tipo 1 - ZA_{LQ1}. La zona di attenzione per liquefazione ricade sui terreni che appartengono alle seguenti microzone: 2003, 2007, 2010, 2011, 2012, 2013 e 2018. Sono state cartografate le Zone di Attenzione per liquefazione ZA_{LQ1}, aree per le quali sono state verificate le quattro condizioni predisponenti di cui al par. 7.3. Tali zone sono caratterizzate dalla presenza, entro i primi 20 m di profondità, di sedimenti in cui è stata rilevata la frazione granulometrica delle sabbie nelle descrizioni stratigrafiche dei sondaggi a carotaggio continuo e a distruzione di nucleo prese in esame nell'ambito del presente studio. Pertanto sono stati considerati terreni potenzialmente liquefacibili quelli formati da miscele di sabbie, ghiaie e limi, coerentemente a quanto indicato dalle fasce granulometriche per la valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione definite negli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica. Gli areali così definiti si estendono a ridosso della fascia costiera e del tratto terminale delle valli del Torrente Posar e del Rio Primario.

Le Zone di Attenzione per liquefazione (ZALQ) sono state rappresentate mediante la sovrapposizione del retino, previsto dagli *Standard di rappresentazione e archiviazione informatica – Microzonazione sismica – ver. 3.0*, al colore della zona stabile suscettibile di amplificazione.

Cedimenti differenziali/crollo di cavità sotterranee/sinkhole

Tipo_i= 3080

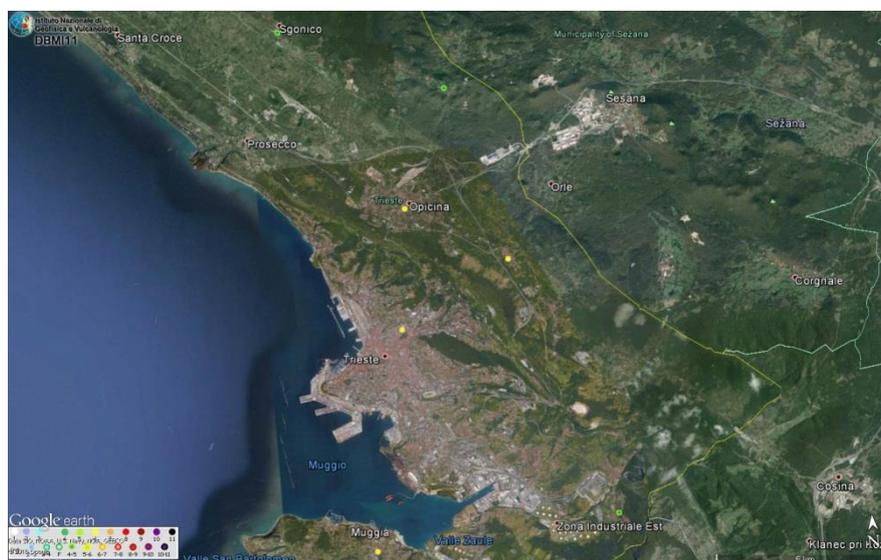


Zona di attenzione per cedimenti differenziali / crollo di cavità / sinkhole. Le doline presenti nell'areale di affioramento delle formazioni carbonatiche ed intese come fondo e fianchi, sono state perimetrate come zona di attenzione per cedimenti differenziali/crollo di cavità/sinkhole. Il perimetro della zona di attenzione è stato tracciato lungo quello che è stato individuato come il bordo superiore dei fianchi della dolina. Nella Carta delle MOPS sono state rappresentate, come zona di attenzione per cedimenti differenziali/crollo di cavità/sinkhole, le doline evidenziate nella Carta Geologico-Tecnica (CGT) e nello Studio geologico a supporto della variante generale al Piano Regolatore Generale (2013). In particolare da quest'ultimo sono stati assunti i perimetri delle doline con diametro superiore a 50 m, mentre, ai soli fini del presente studio di microzonazione sismica, i limiti di quelle di diametro inferiore sono stati tracciati sulla base degli elementi morfologici rilevabili dalla Carta Tecnica Regionale e da riprese aeree.

9 Confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati

Sulla base di quanto illustrato nel par. 2 - *Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento*- nel territorio del comune di Trieste l'evento sismico che risale al 26 marzo 1511 è caratterizzato dalla più alta intensità macrosismica, stimata in 8-9 gradi della scala MCS (*Database Macrosismico Italiano - versione DBMI11*), sebbene i dati siano definiti poco attendibili. Questo forte terremoto ha prodotto crolli nelle mura, in alcune torri e in edifici, ma ha trovato Trieste indebolita dai bombardamenti condotti dai Veneziani nel 1463 e nel 1508. Pertanto il danneggiamento sembra legato maggiormente allo stato dei manufatti piuttosto che a fenomeni di amplificazione sismica locale.

Per gli eventi successivi con intensità macrosismica superiore al grado 6 (Slovenia 1895, Slovenia 1926, Friuli settembre 1976 e Ilirska Bistrica-Sneznik 1964) le segnalazioni dell'intensità macrosismica risentita nell'area di studio sono riferite in modo generico a Trieste. Per l'evento sismico occorso in Friuli nel maggio del 1976 il Database Macrosismico Italiano - versione DBMI11- evidenzia, all'interno dell'area di studio, tre segnalazioni di intensità macrosismica, due sull'altipiano ed una poco a Nord del Giardino pubblico di via Giulia. Per le tre segnalazioni è indicata la stessa intensità macrosismica, pari al grado 6, pertanto non evidenziano alcuna differenziazione nel livello di danneggiamento.



A seguito del terremoto avvenuto in Emilia il 20 maggio 2012 alle ore 4.03, l'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS) ha predisposto un questionario di risentimento sismico, tramite il quale era possibile segnalare ai ricercatori del Centro di Ricerche Sismologiche di OGS come è stato avvertito il terremoto. La disamina dei dati acquisiti tramite il questionario non fornisce un quadro preciso del livello di risentimento del sisma nei diversi ambiti geologici del territorio in esame, ma risulta che sull'altipiano carsico, in presenza di substrato lapideo carbonatico affiorante o sub affiorante, le segnalazioni riferiscono percezioni di debole intensità e sono in numero nettamente inferiore a quelle relative ad aree urbane prossime alla costa, caratterizzate da terreni di copertura o da un substrato di flysch. In questi settori le segnalazioni evidenziano che lo scuotimento percepito è di maggiore intensità (comunicazione gentilmente fornita dal sismologo dell'OGS Alessandro Rebez). Sebbene i dati non forniscano un quadro ben definito del risentimento percepito, dalla loro sommaria analisi risulta comunque che i terreni di copertura ed il substrato geologico di tipo flyschoidale in facies marnoso-arenacea o prevalentemente marnosa producono un effetto amplificante del moto sismico rispetto a quanto verificabile in settori dove affiora il substrato geologico carbonatico o di tipo flyschoidale in facies arenacea.

10 Bibliografia

- Progetto Carta Geologico Tecnica (CGT), banca dati originale restituita alla scala 1:5.000 in coordinate chilometriche Gauss-Boaga, fuso Est;
- Catasto frane regionale (banca dati originale restituita alla scala 1:5.000 in coordinate chilometriche Gauss-Boaga, fuso Est);
- Studio geologico di Trieste – Indagine geologica-tecnica per la variante generale al P.R.G.C. del Comune di Trieste, di adeguamento al P.U.R., delle zone per servizi, attrezzature e reti infrastrutturali – Trieste– 1993;
- Studio geologico a supporto della variante generale al Piano Regolatore Generale Comunale – Comune di Trieste - 2013;
- Relazione geologica di progetto di integrazione delle indagini ai fini progettuali ed antisismici a supporto del progetto per: Riconversione ex Compensorio Industriale Stock UMI 4 e 5 - Riqualficazione sede della Polstrada in cessione al Comune – 2015;
- Relazione geologica per la realizzazione di una passerella pedonale sul Canale tra via Trento e via Cassa di Risparmio – 2010;
- Relazione tecnica - geologia – geofisica – geotecnica a supporto del progetto del parcheggio Molo Audace – 2012;
- Relazione geologica per la ristrutturazione del palazzo “ex Casa del lavoratore portuale” sito in piazza Duca degli Abruzzi n° 3 - committente: Provincia di Trieste - 2010;
- Relazione geologica e di caratterizzazione geotecnica e sismica dell’area di ampliamento del depuratore di Servola” – 2014;
- Relazione geologica e di caratterizzazione geotecnica e sismica opere di collegamento tra l’impianto esistente e l’area ampliamento (Depuratore di Servola) – 2014;
- Relazione geologica – geotecnica e di caratterizzazione sismica opere di 1° lotto - 1° stralcio: adeguamento sezione grigliatura fine (Depuratore di Servola) – 2013;
- Relazione geognostica - geologica – geotecnica – Lavori di costruzione della terza linea dell’impianto di incenerimento di rifiuti solidi urbani ed assimilabili della Provincia di Trieste - 2001;
- Relazione geologica e geotecnica – Impianto di smaltimento rifiuti solidi urbani e speciali assimilabili – 1990;
- Relazione geologico-tecnica sulle indagini e prove eseguite – Indagini geognostiche realizzate presso il Palazzo Municipale in Piazza Unità, 4 – 2005;
- Relazione tecnica – Indagine geologico-tecnica a mezzo sondaggi geognostici e prove di laboratorio per il progetto “Tergeste” di iniziativa comunitaria URBAN – 1998;
- Relazione geologica allegata alla variante al P.R.G.C. – Accordo di Programma per il recupero dei magazzini SILOS – 2007;
- Verbale stratigrafico del sondaggio S1 – Ristrutturazione Istituto Carducci – 2010.
- M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi (a cura di), 2011. DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna;
- Rapporto conclusivo -Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall’Ordinanza del Presidente (INGV, Milano-Roma, aprile 2004);
- A. Rovida, R. Camassi, P. Gasperini e M. Stucchi (a cura di), 2011. CPTI11, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani. Milano, Bologna;
- Grimaz S., Cucchi F., Pipan M., Slejko D., Barazza F., Biolchi S., Garcia J., Malisan P., Prizzon S., Rebez A., Santulin M., Zini L. (2011): A paradigm of quick seismic zonation for risk assessment of strategic buildings at a regional scale - GNGTS 2011, Sessione 2.1;
- Cucchi F., Zini L., Calligaris C. (2015) - Le acque del Carso Classico. Progetto Hydrokarst Italia-Slovenia. EUT Ediz. Univ. di Trieste;

- Cucchi F. & Piano C. (a cura di) (2013) - Carta Geologica del Carso Classico e brevi note illustrative redatte (progetto GEO-CGT) - Dipartimento di Matematica e Geoscienze - Reg. FVG.
- BUSETTI M., ZGUR F., ROMEO R., SORMANI L., PETTENATI F., (2012) - Caratteristiche geologico strutturali del golfo di Trieste, ISPRA, contributi al meeting marino; Roma
- Onofri R. (1982) – Caratteristiche geolitologiche e geomeccaniche del Flysch nella provincia di Trieste – Studi Trentini di Scienze Naturali, vol 59, Acta Geologica, pagg. 77-103, Trento 1982.

11 Allegati

Sezioni geologico-tecniche.