



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MESSINA

Facoltà di Ingegneria

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE

**STUDIO DI PERICOLOSITÀ E DI RISCHIO NELLA VALLATA DEL
TORRENTE TRAPANI, AD OVEST DEL VIALE REGINA
MARGHERITA, CON RIFERIMENTO ALLE PROBLEMATICHE
GEOMORFOLOGICHE, IDRAULICHE, DI SUSCETTIVITÀ
ALL'EDIFICAZIONE E DI IDONEITÀ DELLE OPERE DI
URBANIZZAZIONE PRIMARIA E DI MOBILITÀ URBANA**

Rapporto sulle attività svolte

*Il Direttore del Dipartimento e
Responsabile dello studio*

Prof. Ing. Giovanni Falsone

Gli autori dello studio:

Prof. Ing. Giuseppe Tito Aronica

Dott. Ing. Giovanni Biondi

Dott. Ing. Ernesto Cascone

Prof. Ing. Antonino D'Andrea

Luglio 2011

INDICE

1. PREMESSA.....	1
2. OBIETTIVI E FINALITÀ DELLO STUDIO	1
3. ASPETTI GEOTECNICI	3
3.1. Generalità.....	3
3.2. Identificazione dei siti di interesse e documentazione disponibile	3
3.3. Sintesi degli aspetti geologici e indicazioni di carattere geotecnico.....	8
3.3.1. Sito 1	8
3.3.2. Siti 2 e 3.....	18
3.3.3. Sito 4	18
3.3.4. Sito 5	22
3.4. Definizione dell'azione sismica di riferimento	23
3.4.1. Pericolosità sismica di base.....	23
3.4.2. Effetti di sito e risposta sismica locale	26
3.5. Stabilità sismica del sito	39
3.5.1. Suscettibilità alla liquefazione.....	40
3.5.2. Stabilità dei pendii.....	45
3.6. Considerazioni conclusive sugli aspetti geotecnici	46
3.7. Riferimenti bibliografici	48
4. ASPETTI IDRAULICI.....	50
4.1. Premessa	50
4.2. Caratterizzazione dell'area	51
4.3. Individuazione delle criticità idrauliche.....	53
4.4. Valutazione delle forzanti idrologiche e idrauliche.....	58
4.5. Analisi idrauliche.....	67
4.6. Considerazioni conclusive sugli aspetti idraulici	74
4.7. Riferimenti bibliografici	77
5. ASPETTI CONNESSI ALLA MOBILITÀ	78
5.1. Premessa	78
5.2. Le caratteristiche dell'area e della rete viaria	79
5.3. Le caratteristiche degli assi viari e dell'intersezione	80
5.4. Il carico urbanistico.....	85
5.5. Funzionalità della rete viaria nell'area	86
5.6. La quantificazione dei flussi veicolari.....	91
5.7. Calcolo del livello di Servizio della via Torrente Trapani.....	97
5.8. Le problematiche connesse alla gestione delle emergenze	103
5.9. Considerazioni conclusive sugli aspetti connessi alla mobilità	105
6. CONCLUSIONI DELLO STUDIO	107

1. PREMESSA

Il presente rapporto descrive i risultati delle attività svolte dal Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università degli Studi di Messina nell'ambito dell'incarico ricevuto dal Comune di Messina in merito ad uno *“Studio di pericolosità e di rischio nella vallata del Torrente Trapani, ad ovest del viale Regina Margherita, con riferimento alle problematiche geomorfologiche, idrauliche, di suscettibilità all'edificazione e di idoneità delle opere di urbanizzazione primaria e di mobilità urbana”*.

Così come previsto dall'incarico nello studio sono stati presi in esame gli aspetti geotecnici, gli aspetti idraulici e quelli connessi alla mobilità dell'area in esame.

Il presente rapporto descrive gli obiettivi e le finalità dello studio ed i risultati cui si è pervenuti in merito ad ognuno degli aspetti esaminati.

2. OBIETTIVI E FINALITÀ DELLO STUDIO

Con delibera n.93/C del 19.11.2010 il Consiglio Comunale del Comune di Messina ha dato mandato all'Amministrazione Comunale di predisporre uno studio dell'area relativa alla vallata del Torrente Trapani, ad ovest del viale Regina Margherita.

Lo studio, relativo alle aree edificabili aventi accesso o poste nelle vicinanze della via Torrente Trapani, riguarda differenti problematiche tra cui quelle di carattere idrogeologico, idraulico, geomorfologico, di suscettibilità all'edificazione e di idoneità delle opere di urbanizzazione primaria e di mobilità urbana.

Con riferimento a tali problematiche l'Amministrazione Comunale del Comune di Messina ha dato incarico al Dipartimento di Ingegneria Civile (D.I.C.) dell'Università degli Studi di Messina per la redazione di uno studio di pericolosità e di rischio con riferimento agli aspetti geotecnici, agli aspetti idraulici e a quelli connessi con la mobilità.

Con riferimento agli aspetti geotecnici, l'incarico prevedeva:

- la definizione di un quadro complessivo dei dati e delle informazioni già disponibili in merito ai depositi di terreno ricadenti nell'area oggetto di studio;

-
- la definizione delle problematiche inerenti la stabilità sismica del sito con particolare riferimento alla risposta sismica locale, alla suscettibilità alla liquefazione ed alla stabilità dei pendii;
 - la possibile definizione di un piano di indagini geotecniche integrative necessarie per eventuali analisi di approfondimento.

Relativamente agli aspetti idraulici e con riferimento ai versanti in prossimità ed immediatamente a valle delle aree edificate, l'incarico prevedeva:

- la quantificazione della produzione di sedimenti;
- la localizzazione dei versanti più esposti ai fenomeni erosivi superficiali;
- la definizione degli interventi di controllo dell'erosione superficiale e del trasporto dei sedimenti prodotti.

Infine, con riferimento agli aspetti connessi con la mobilità dell'area, lo studio si prefiggeva di definire, in particolari condizioni di emergenza, le attuali condizioni di rischio in relazione alle caratteristiche della rete stradale esistente nell'area.

3. ASPETTI GEOTECNICI

3.1. Generalità

Le valutazioni di carattere geotecnico effettuate nell'ambito dello studio riguardano tre aspetti tra loro strettamente interconnessi.

In primo luogo è stata esaminata la documentazione disponibile con riferimento a cinque differenti siti interessati da interventi edilizi già realizzati, in corso di realizzazione o in progetto nell'area del Torrente Trapani. In particolare sono stati esaminati i risultati di alcune campagne di indagini effettuate a corredo dei progetti degli interventi edilizi di cui sopra. Tale fase dello studio è stata finalizzata alla definizione di un quadro complessivo dei dati disponibili propedeutico alla successiva fase di definizione delle problematiche inerenti la risposta sismica e la stabilità sismica dell'area. Queste ultime valutazioni, così come prescritto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni attualmente vigenti (D.M. 14.01.08), hanno richiesto l'approfondimento di aspetti riguardanti la risposta sismica locale, influenzata da fenomeni di amplificazione stratigrafica e topografica, la stabilità delle aree in pendio e la stabilità nei confronti della liquefazione.

Per le motivazioni descritte più in dettaglio nel seguito, lo studio ha previsto la definizione di alcune indicazioni di carattere generale in merito a indagini geotecniche ritenute necessarie per approfondire le analisi di valutazione delle condizioni di stabilità sismica dell'area oggetto dello studio.

3.2. Identificazione dei siti di interesse e documentazione disponibile

Con riferimento agli aspetti geotecnici dello studio, la documentazione resa disponibile dall'Amministrazione Comunale di Messina riguarda tre differenti siti (indicati nel seguito come *sito 1*, *sito 2* e *sito 3*) interessati da altrettanti programmi costruttivi.

In particolare la documentazione si riferisce al:

- *“Programma Costruttivo per la realizzazione di alloggi di edilizia convenzionata in località Torrente Trapani a Messina”*. Ditta Società Costa Costruzioni S.r.L. e C.O.C. Costruzioni Opere Civili S.r.L. (*sito 1*);

-
- *“Programma Costruttivo in località Torrente Trapani denominato P.C. ‘Violi’ “. Società Andromeda 2 (sito 2);*
 - *“Programma Costruttivo in località Trapani – Messina”. Società Cooperativa Edilizia Esperienza a r.l. (sito 3).*

Tale documentazione è stata poi completata con dati derivanti da altri studi di carattere geologico e geotecnico resi disponibili, anche se in forma non completa, dagli uffici tecnici del Comune di Messina. Tale documentazione supplementare si riferisce, in parte, a progetti di interventi edilizi che interessano i *siti 1, 2 e 3* di cui sopra e, in parte, a progetti di interventi edilizi che, con riferimento ad altri due siti (nel seguito *sito 4 e sito 5*), riguardano il:

- *“Progetto per la costruzione di un complesso residenziale e commerciale in C.da Torrente Trapani”. Ditta Caruso Pasqualino, Francesca, Giacomina e Concetta & SAMM Costruzioni s.r.l. (sito 4);*
- *“Progetto per la costruzione di un complesso edilizio residenziale in Viale R. Margherita, Torrente Trapani”. Ditta Immobiliare Parco Marullo s.r.l. (sito 5).*

Nel complesso la documentazione utilizzata per la redazione dello studio consta degli elaborati di seguito elencati, per ognuno dei siti precedentemente individuati, in ordine cronologico.

Sito 1

SCHIAVONE V. (2001). *Relazione Geomorfologica*. Programma Costruttivo per la realizzazione di alloggi di edilizia convenzionata in località Torrente Trapani. Ditta *Società Costruzioni s.r.l.*

SCHIAVONE V. (2003). *Relazione Geologico-Tecnica ed Indagini Geognostiche*. Progetto per la realizzazione di alloggi di edilizia convenzionata, in località Torrente Trapani del Comune di Messina. Ditta: *C.O.C. s.r.l. e Costa Costruzioni*

SCHIAVONE V. (2004). *Nota integrativa alla Relazione Geologico-Tecnica*. Progetto per la realizzazione di alloggi di edilizia convenzionata, in località Torrente Trapani del Comune di Messina. Ditta *C.O.C. s.r.l. e Costa Costruzioni*

MONACO S. (2005). *Indagini geognostiche, geofisiche e prove di laboratorio. Relazione Tecnica*. Lavori di Costruzione del Centro Commerciale all'interno del complesso 'La Residenza', Torrente Trapani, Messina. Ditta *La Residenza Immobiliare delle Imprese C.O.C. e Costa s.r.l.*

DOLFIN S. (2007). *Relazione Geologico-Tecnica*. Programma Costruttivo per la realizzazione di alloggi di edilizia convenzionata in località Torrente Trapani a Messina approvato con D.R. n.1048 del 19709/03 – Il Lotto Residenziale Corpo C. Ditta *La Residenza Immobiliare delle Imprese C.O.C. e Costa s.r.l.*

Sito 2

ANDRONACO S. (2008). *Relazione Geologica*. Programma costruttivo in località Torrente Trapani denominato P.C. 'Violi' ai sensi dell'art. 16 della L.R. 71/78 e dell'art. 25 L.R. 22/96. Ditta *Andromeda 2*

Sito 3

RUBINO F. (2001). *Relazione Geologica Preliminare*. Programma costruttivo in località Trapani – Messina. Ditta *Cooperativa Esperienza*.

RUBINO F. (2001). *Relazione Geologica Preliminare. Nota esplicativa*. Programma costruttivo in località Trapani – Messina. Ditta *Cooperativa Esperienza*.

Sito 4

TRAINITI S.M. (2010). *Studio Geologico Integrativo – Relazione Geologica*. Progetto per la realizzazione di un complesso residenziale e commerciale da sorgere in Messina – C.da Torrente Trapani. Ditta *Caruso Pasqualino, Francesca, Giacomina e Concetta & SAMM Costruzioni s.r.l.*

Sito 5

ROSSI B. (2010). *Relazione Geologica e note geotecniche*. Progetto per la costruzione di un complesso edilizio residenziale in Messina – Viale R. Margherita Torrente Trapani. Ditta *Immobiliare Parco Marullo s.r.l.*

I cinque siti precedentemente individuati sono ubicati tutti in prossimità della via Torrente Trapani. In particolare quattro di essi (*siti 1, 2, 3 e 4*) si trovano nella porzione più a monte, ad ovest del viadotto del tracciato dell'autostrada A20 Messina-Palermo; uno di essi (*sito 5*) si trova, invece, immediatamente a valle del viadotto di cui sopra. L'esatta ubicazione dei cinque siti oggetto di studio è mostrata in Figura 3.1.

Come sarà descritto più dettagliatamente nel seguito, sebbene sia stata effettuata una revisione dell'intera documentazione di riferimento, durante l'espletamento dei lavori cui il presente rapporto si riferisce, l'Amministrazione Comunale e il D.I.C. hanno concordato di focalizzare l'attenzione sul solo *sito 1*.



Figura 3.1 - Ubicazione dei siti oggetto dello studio di carattere geotecnico.

3.3. Sintesi degli aspetti geologici e indicazioni di carattere geotecnico

3.3.1. Sito 1

Il *sito 1* è stato oggetto di uno studio geomorfologico preliminare (Schiavone, 2001) e di diversi studi geologici (Schiavone, 2003; Monaco 2005; Dolfin, 2007).

Lo studio geomorfologico di Schiavone (2001), redatto in ottemperanza all'art.13 della L.64/74, riveste carattere preliminare e non è corredato da risultati di indagini. Lo studio riporta esclusivamente l'individuazione dei lineamenti geomorfologici dell'area e degli eventuali processi morfogenetici e dei dissesti (in atto o potenziali), la definizione di massima della successione litostratigrafia locale e della circolazione idrica superficiale e profonda.

Lo studio geologico di Schiavone (2003) è stato redatto a supporto del progetto dell'intervento edilizio relativo al *'Programma Costruttivo per la realizzazione di alloggi di edilizia convenzionata in località Torrente Trapani a Messina'*. Esso è corredato dai risultati di una campagna di indagini geotecniche consistente nell'esecuzione di 7 sondaggi geotecnici a carotaggio continuo (spinti fino a profondità variabile da 10 m a 15 m dal piano campagna), nell'esecuzione di prove *SPT* effettuate in foro con punta conica, nell'installazione di un piezometro a tubo aperto e nel prelievo di campioni di terreno sui quali sono poi state eseguite prove di laboratorio per l'identificazione e la classificazione e per la determinazione dei parametri meccanici.

Lo studio geologico di Monaco (2005) è stato redatto a supporto del progetto del *Centro Commerciale* interno al complesso residenziale *"La Residenza"* da realizzarsi nella porzione del *sito 1* posta a sud-ovest, in prossimità dell'intersezione tra la strada di lottizzazione e la via Torrente Trapani. Lo studio è stato corredato dai risultati di una campagna di indagini geotecniche che ha previsto l'esecuzione di 3 sondaggi geognostici a distruzione di nucleo, spinti fino a profondità variabili da 12 m a 15 m (con prelievo di campioni di terreno) e l'esecuzione di n.2 tomografie elettriche. I campioni di terreno prelevati, sebbene fortemente disturbati, sono successivamente stati sottoposti a prove di laboratorio per l'identificazione e la classificazione e per la determinazione dei parametri di resistenza al taglio.

Infine, lo studio geologico di Dolfin (2007) è stato redatto a supporto del progetto del *'Il Lotto Residenziale Corpo C'* nell'ambito del programma costruttivo

che interessa il *sito 1*. A supporto di questo studio è stata eseguita una campagna di indagini geotecniche con l'esecuzione di 3 sondaggi a rotazione e carotaggio continuo, spinti fino a profondità variabili da 15 m a 30 m dal piano campagna, l'esecuzione di 2 prove Down-Hole e di prove *SPT* in foro.

Le informazioni di carattere geologico e geotecnico desumibili dalla documentazione disponibile sono descritte nel seguito con l'obiettivo di fornire un quadro unitario delle informazioni disponibili e una visione unitaria delle condizioni litostratigrafiche del sito e delle proprietà meccaniche dei terreni.

Il *sito 1* ricade in sinistra idraulica del Torrente Trapani e rappresenta un'area di un rilievo basso collinare, bordata al piede dall'alveo del torrente, alla cui sommità si sviluppa una superficie di spianata costiera.

L'area ha una morfologia abbastanza irregolare correlata, come descritto nel seguito, all'affioramento di formazioni di terreni granulari e di calcari-marnosi. L'attività antropica, inoltre, ha localmente modificato le originarie pendenze in maniera sostanziale mediante la realizzazione di terrazzamenti e delle relative opere di contenimento.

Nell'area le quote altimetriche variano da circa 120 a circa 220 m s.l.m.. Le pendenze sono variabili in un ampio intervallo. In corrispondenza del terrazzo marino che costituisce la spianata costiera l'andamento morfologico è sub-pianeggiante con pendenze generalmente inferiori al 10%. Lungo le rimanenti porzioni del versante le pendenze crescono e, spesso, superano il 30%÷50%. Localmente si osservano fronti a parete sub-verticale.

La litologia dell'area è costituita prevalentemente dalla formazione delle *Sabbie e Ghiaie di Messina* e, subordinatamente, dai terreni della formazione pelitico-sabbiosa nota come *Molassa*. La successione litostratigrafica è caratterizzata dalla presenza del deposito marino terrazzato (il cui spessore può raggiungere i 15 m) costituito da materiale grossolano, che occupa prevalentemente la porzione nord-orientale dell'area e sovrasta i terreni clastici della formazione delle *Sabbie e Ghiaie di Messina* che costituiscono il litotipo arealmente più diffuso nel sito e presentano uno spessore che può raggiungere i 30 m.

Più in dettaglio, la documentazione disponibile evidenzia che nell'area possono essere individuate due zone differenti per caratteristiche litostratigrafiche.

Una prima zona, che comprende il culmine terrazzato del rilievo, è caratterizzata dalla presenza di termini litologici calcarei e marnosi della formazione dei *Trubi*. I termini calcarei occupano tutto il settore nord-orientale e sono costituiti da calcari organogeni bianchi, con diffusi livelli intensamente fratturati e brecciati, cui si intercalano livelli di sabbie calcaree di spessore variabile. I termini marnosi sono costituiti da marne argillose e calcari marnosi, in strati dello spessore di 35-50 cm intensamente fratturati, che non affiorano in superficie e sono stati rinvenuti in profondità nei sondaggi eseguiti nella zona nord-orientale dell'area.

Una seconda zona, che ingloba la porzione dell'area posta più a sud-est del rilievo collinare, è compresa tra la superficie terrazzata ed il versante del rilievo che la raccorda al letto del Torrente Trapani. In questa seconda zona affiorano senza soluzione di continuità i conglomerati della formazione delle *Sabbie e Ghiaie di Messina* costituiti da conglomerati e breccie poligenici ed eterometrici, poco cementati, in una scarsa matrice sabbiosa.

Nell'area la formazione di base è costituita dai conglomerati della formazione nota come *Molassa*. Si tratta di strati sabbiosi, variamente addensati, intervallati da livelli argilloso-marnosi. La facies sabbiosa presenta gradi di addensamento e di cementazione molto variabili. Spesso è costituita da conglomerati ben cementati o addirittura bancate arenacee; in altri casi si osservano livelli di sabbie praticamente sciolte. La granulometria delle sabbie è generalmente medio-fine e gli spessori variano da 50 cm ad oltre il metro. La facies pelitica è, invece, generalmente subordinata a quella sabbiosa.

Solo in prossimità di un sondaggio eseguito in prossimità del piede del rilievo collinare, nella zona più a sud-ovest, prossima alla via Torrente Trapani, è stata osservata la presenza di argilliti con livelli siltitici di colore grigio scuro.

Infine, in alcune porzioni dell'area poste più a valle sono presenti riporti di materiale abbancato caoticamente, derivante da precedenti interventi edilizi.

Nell'area il reticolo idrografico è stato ritenuto quasi del tutto assente a causa dell'elevata permeabilità che caratterizza i due litotipi prevalenti. Ciò determina, infatti, un'infiltrazione della quasi totalità delle acque meteoriche con un modesto ruscellamento superficiale. L'assenza di acqua nei fori di sondaggio effettuati,

l'elevata permeabilità dei terreni interessati, l'assenza di formazioni di base poco permeabili e, infine, la configurazione topografica dell'area rendono lecito ipotizzare una superficie libera della falda molto profonda rispetto alle quote di imposta delle fondazioni dei corpi di fabbrica oggetto dell'intervento edilizio che interessa il *sito 1*. Nella documentazione disponibile non è stato possibile rinvenire informazioni sulle misure piezometriche effettuate nell'unico piezometro installato.

Come descritto negli studi geologici disponibili, l'insieme dei dati desunti dalle prove in sito e dalle prove di laboratorio, insieme a indicazioni tratte dalla letteratura tecnica, osservazioni in sito e valutazioni di carattere teorico, sono stati utilizzati per individuare valori dei parametri che descrivono il comportamento meccanico dei terreni. In particolare sono stati stimati valori del peso dell'unità di volume, della densità relativa, dei parametri di resistenza al taglio e dei parametri di compressibilità dei terreni interessati dalle opere.

Relativamente ai conglomerati ed alle sabbie di Messina l'interpretazione, mediante correlazioni empiriche, dei risultati delle prove *SPT* (effettuate a profondità variabili da circa 4 m a circa 13 m) indicano, generalmente, uno stato di addensamento dei materiali medio ed hanno consentito di individuare valori di picco dell'angolo di resistenza al taglio φ'_{picco} ; per tale formazione è stato poi stimato un valore della coesione efficace c' sulla base di alcune considerazioni di carattere teorico sulle condizioni di stabilità dei fronti di scavo riscontrati in sito.

Relativamente alle brecce calcaree, considerazioni sulla geometria e sulla spaziatura delle discontinuità nelle porzioni della formazione affioranti nel sito, hanno consentito valutazioni dell'angolo di resistenza al taglio φ' .

Per le marne argillose, i risultati di prove di laboratorio, effettuate su un campione prelevato alla profondità di circa 7,7 m dal piano campagna, hanno consentito di identificare il campione come *limo argilloso debolmente sabbioso* e di stimare valori dell'angolo di resistenza al taglio φ' , della coesione efficace c' e intervalli di variazione del modulo edometrico E_{ed} in funzione della tensione verticale efficace σ'_v .

Senza entrare nel dettaglio delle differenti valutazioni riscontrate nella documentazione di riferimento, i prospetti seguenti ne riassumono i risultati.

Conglomerati e sabbie della formazione di Messina

$$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$$

$$\varphi'_{\text{picco}} = 33^\circ - 35^\circ$$

$$c' = 20 \text{ kPa}$$

In presenza di una percentuale consistente di materiale limoso sono stati osservati valori dei parametri di resistenza al taglio considerevolmente ridotti rispetto a quelli mostrati nel prospetto precedente. Tali dati si riferiscono, però, a risultati di prove di laboratorio effettuate su campioni di terreno fortemente disturbati.

Brecce calcaree

$$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$$

$$\varphi' = 35^\circ$$

$$c' = 0 \text{ kPa}$$

Marne argillose e calcari marnosi

$$\gamma = 18 \div 19 \text{ kN/m}^3$$

$$\varphi' = 21^\circ \div 27^\circ$$

$$c' = 0 \div 28 \text{ Pa}$$

$$\begin{aligned} E_{\text{ed}} &= 526 \text{ kPa} && \text{per } \sigma'_v = 40 \div 80 \text{ kPa} \\ &= 864 \text{ kPa} && \text{per } \sigma'_v = 80 \div 150 \text{ kPa} \\ &= 1501 \text{ kPa} && \text{per } \sigma'_v = 150 \div 300 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Conglomerati della formazione molassica

$$\begin{aligned} \text{Facies pelitica} & && \gamma = 19 \text{ kN/m}^3 \\ & && \varphi' = 24^\circ \div 25^\circ \\ & && c' = 30 \div 40 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Facies sabbiosa} & && \gamma = 19 \text{ kN/m}^3 \\ & && \varphi' = 28^\circ \\ & && c' = 20 \div 30 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Relativamente, infine, ai profili di velocità di propagazione delle onde di volume nel terreno, solo in una delle campagne di indagini sono state eseguite misure dirette (Dolfin, 2007). In particolare l'esecuzione di due prove down-hole durante la campagna di indagini relativa al '*Il Lotto Residenziale Corpo C*' del '*Programma Costruttivo per la realizzazione di alloggi di edilizia convenzionata in località Torrente Trapani a Messina*' ha condotto ai profili di velocità delle onde di compressione (V_p) e di taglio (V_s) mostrati nella Figura 3.2 insieme ad una rappresentazione schematica delle relative colonne stratigrafiche.

Nelle Figure 3.3 e 3.4 gli stessi dati sono riportati separatamente per le stratificazioni identificate come '*frammenti di calcare*', '*argille*' e '*sabbie*' nelle colonne stratigrafiche allegate allo studio di Dolfin (2007).

I dati riportati nella Figura 3.2 mostrano che i profili delle velocità non sono regolari e, generalmente, non risultano crescenti con la profondità. I valori di V_p e di V_s determinati nelle due prove risultano in buon accordo tra di loro se il confronto è effettuato separando i dati per tipologia di terreno terreni (Figure 3.3. e 3.4).

In particolare i valori maggiori delle velocità si osservano nelle zone più superficiali delle colonne indagate, in corrispondenza degli strati identificati come '*frammenti di calcare*', dove i valori di V_p sono generalmente superiori a 1400-1500 m/s e raggiungono i 2200 m/s circa e i valori di V_s sono generalmente compresi tra 400 e 800 m/s circa.

Negli strati sottostanti identificati come '*argille*' e '*sabbie*' i valori delle velocità di propagazione delle onde di volume si riducono. In particolare si osservano valori di V_p variabili da 1500 a 1700 m/s circa per le '*argille*', e da 700 a 1000 m/s circa per le '*sabbie*'; i corrispondenti valori di V_s risultano variabili da 400 a 550 m/s circa per le '*argille*', e da 200 a 300 m/s circa per le '*sabbie*'.

Il valore medio della velocità delle onde di taglio nei primi 30 m dal piano campagna $V_{s,30}$ risulta pari a circa 395 m/s per il sondaggio S2, e a circa 280 m/s per il sondaggio S3 (valore stimato su una profondità massima indagata di 25 m). È superfluo sottolineare che i profili di velocità desunti dalle indagini, per la loro marcata irregolarità, rendono il parametro $V_{s,30}$ poco rappresentativo della rigidità media del deposito e, di conseguenza, poco correlato all'effettiva risposta sismica dello stesso.

Come sarà descritto più in dettaglio nel seguito, tale situazione rende poco affidabile la valutazione delle azioni sismiche di riferimento attraverso l'individuazione della *Categoria di sottosuolo* in funzione del parametro $V_{s,30}$.

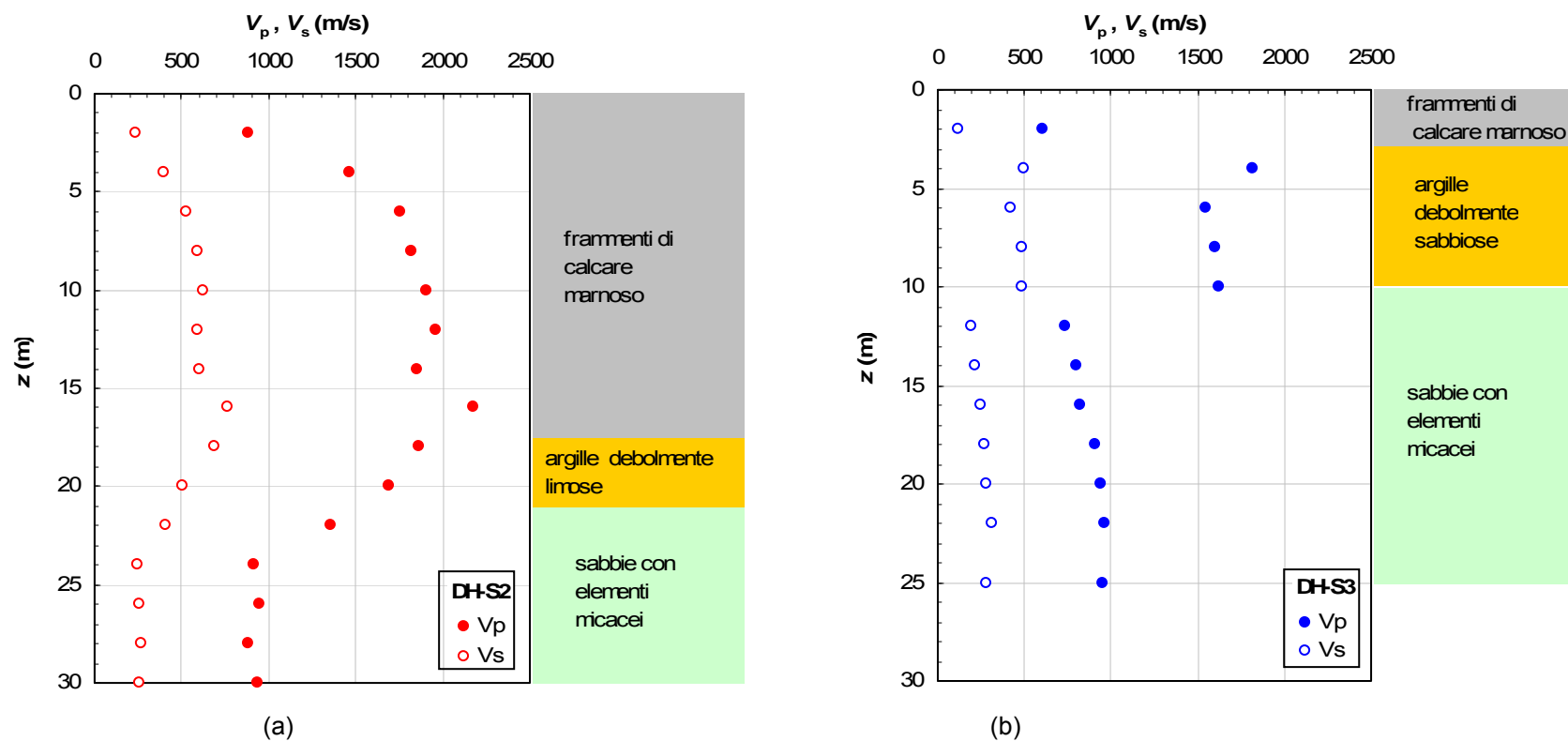


Figura 3.2 - Risultati delle prove Down-Hole eseguite nei fori di sondaggio S2 (a) e S3 (b) durante la campagna di indagini relativa al 'Il Lotto Residenziale Corpo C' del 'Programma Costruttivo per la realizzazione di alloggi di edilizia convenzionata in località Torrente Trapani a Messina' (dati desunti da Dolfin, 2007).

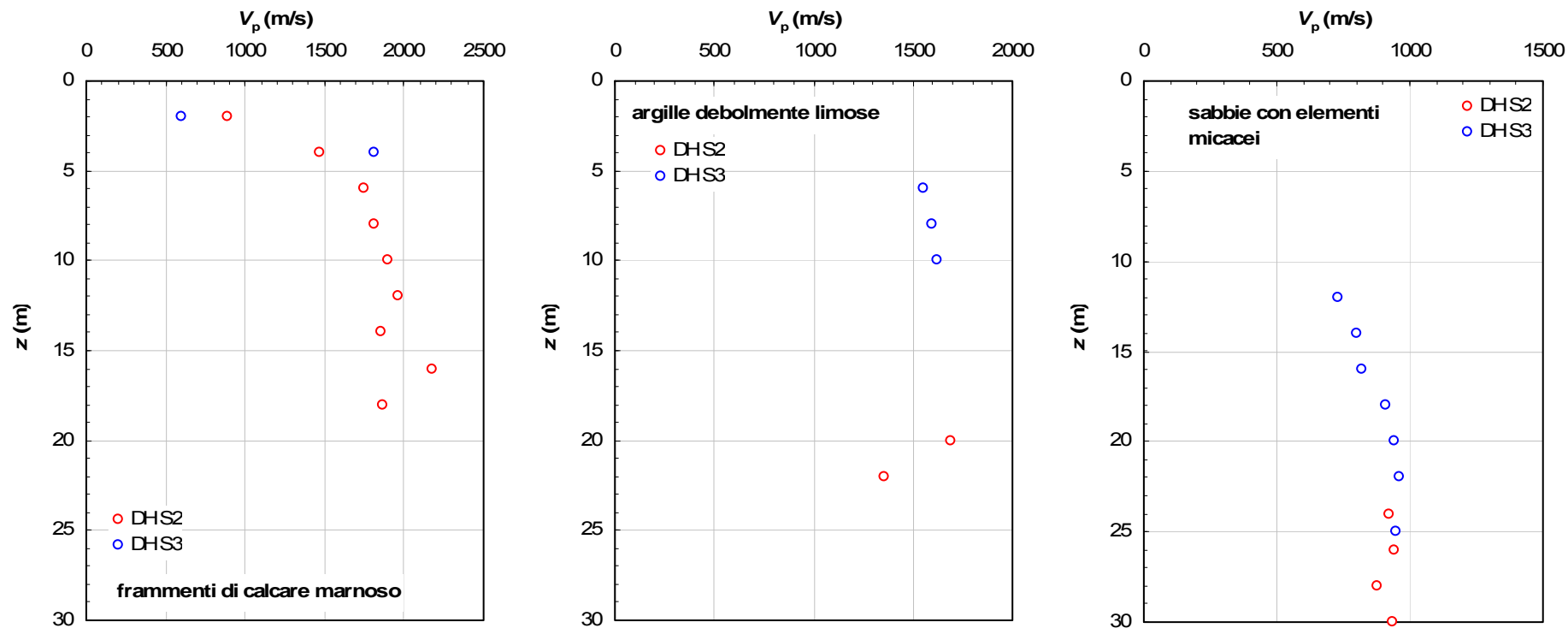


Figura 3.3 - Valori della velocità di propagazione delle onde di compressione determinati durante la campagna di indagini relativa al 'Il Lotto Residenziale Corpo C' del 'Programma Costruttivo per la realizzazione di alloggi di edilizia convenzionata in località Torrente Trapani a Messina' (dati desunti da Dolfín, 2007): valori relativi ai 'frammenti di calcare marnoso' (a), alle 'argille' (b) ed alle 'sabbie' (c).

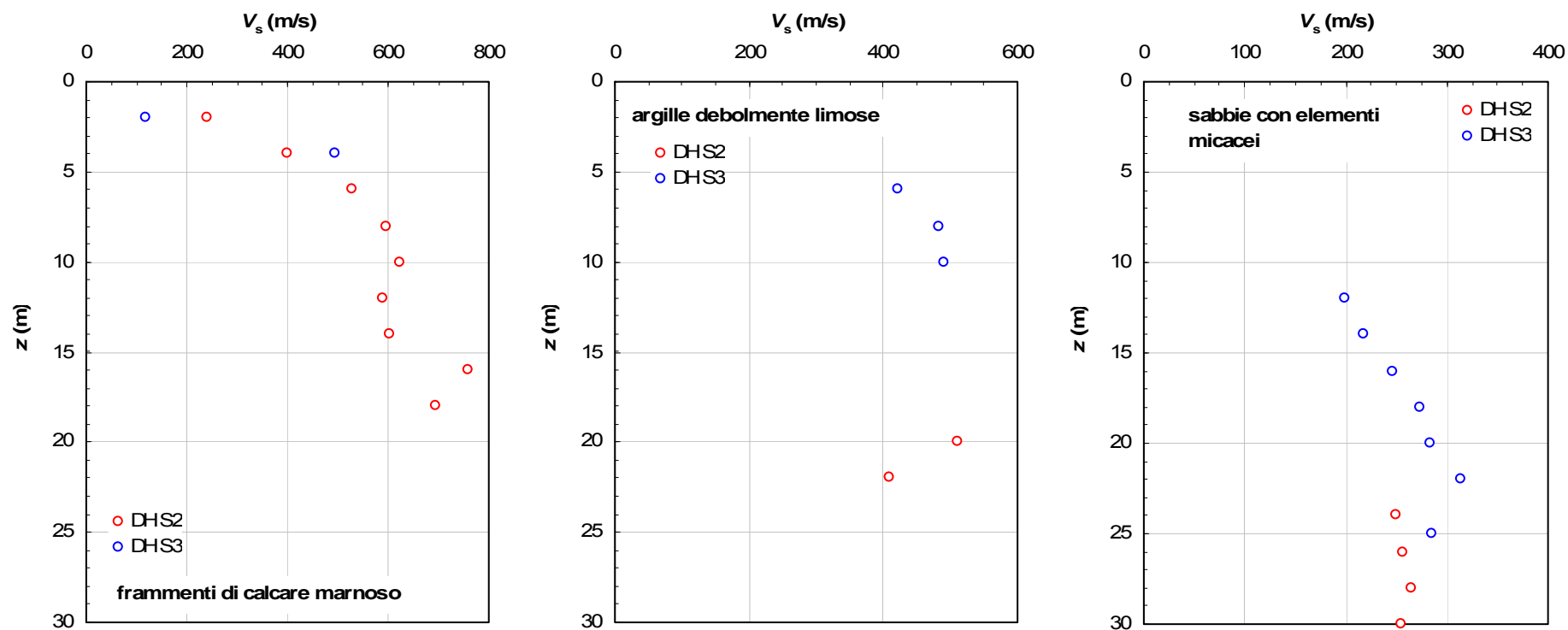


Figura 3.4 - Valori della velocità di propagazione delle onde di taglio determinati durante la campagna di indagini relativa al 'Il Lotto Residenziale Corpo C' del 'Programma Costruttivo per la realizzazione di alloggi di edilizia convenzionata in località Torrente Trapani a Messina' (dati desunti da Dolfin, 2007): valori relativi ai 'frammenti di calcare marnoso' (a), alle 'argille' (b) ed alle 'sabbie' (c).

3.3.2. Siti 2 e 3

La documentazione disponibile con riferimento al *sito 2* e al *sito 3* consta esclusivamente di studi geologici di carattere preliminare non corredati da indagini geotecniche. Pertanto, come già anticipato, l'Amministrazione Comunale e il D.I.C. hanno concordato di approfondire gli aspetti geotecnici dello studio con riferimento al solo sito 1. Tuttavia, con riferimento al *sito 2*, si ritiene utile evidenziare alcuni aspetti emersi dalla revisione della documentazione disponibile.

Il *sito 2* è stato oggetto di uno studio geologico (Andronaco, 2008), redatto in ottemperanza all'art.13 della L.64/74, sviluppato sulla base di dati di letteratura (comprensivi degli studi geologici redatti a supporto del P.R.G. della città di Messina) e di rilievi di superficie. Il sito costituisce la porzione inferiore del rilievo collinare di cui si è detto con riferimento al *sito 1* compresa tra le quote altimetriche 140 e 170 m s.l.m.. La topografia dell'area è caratterizzata da pendenze che raggiungono al più i 18°. L'inquadramento geologico dell'area evidenzia la presenza delle medesime formazioni litostratigrafiche già descritte con riferimento al *sito 1*, tuttavia, sulla base di una valutazione di tipo speditivo, lo studio di Andronaco (2008) evidenzia che i terreni presenti nelle porzioni più superficiali dei depositi potrebbero essere soggetti a fenomeni di liquefazione dinamica durante un evento sismico. Sebbene i risultati di tale valutazione non sono esposti nello studio e, sebbene lo stesso non sia supportato da risultati di indagini geotecniche che consentano di avvalorare tale conclusione, essa è in generale condivisibile. Infatti, l'ubicazione del sito e la vicinanza al Torrente Trapani fanno intravedere condizioni idrauliche del sottosuolo sostanzialmente differenti rispetto a quanto osservato per il *sito 1*; inoltre, l'estrema variabilità del grado di addensamento che, come già descritto con riferimento al *sito 1*, caratterizza i terreni granulari affioranti nell'area del Torrente Trapani, non consente di escludere la presenza di terreni granulari poco addensati o addirittura sciolti. È evidente che valutazioni più approfondite richiedono l'esecuzione di opportune campagne di indagini finalizzata alla valutazione dei parametri geotecnici direttamente correlati alle analisi di suscettibilità alla liquefazione.

3.3.3. Sito 4

Il *sito 4* è interessato dal progetto per la realizzazione di un complesso residenziale e commerciale che prevede la realizzazione di 8 corpi di fabbrica. L'area, molto

acclive, è ubicata a quote altimetriche comprese tra i 70 e i 150 m s.l.m.. L'intervento edilizio prevede importanti operazioni di sbancamento e la realizzazione di opere di sostegno delle terre di notevole altezza che comportano significative modifiche della topografia.

Gli aspetti geologici del progetto sono stati oggetto di uno studio redatto da Trainiti (2010), in ottemperanza alle prescrizioni del D.M.14.01.08, attraverso rilievi di superficie e indagini geotecniche che hanno contemplato l'esecuzione di 2 sondaggi, una prova Down-Hole, 4 prove *SPT* in foro e indagini di laboratorio su campioni prelevati in sito durante i sondaggi.

I terreni che caratterizzano l'area sono di natura sedimentaria e sono riconducibili alla formazione delle *Ghiaie e Sabbie di Messina* ed ad una formazione di calcareniti e sabbie organogene giallo-ocra. Entrambe le formazioni sono poste sulle marne e calcari marnosi della formazione dei *Trubi*, poco permeabile e con giacitura a frana poggio. Nell'area i *Trubi* costituiscono il substrato litologico e, per i primi 15 m di profondità, sono rappresentati dalla sola facies marnoso-argillosa. L'interfaccia tra i terreni granulari, più superficiali, e la formazione dei *Trubi* affiora nella porzione dell'area più a nord-est, ad una quota media di circa 90 m s.l.m.

I terreni più superficiali, caratterizzati da elevata permeabilità, drenano sia le acque meteoriche che quelle provenienti dalle porzioni del versante più a monte poste a nord-ovest. L'idrografia superficiale è, quindi, praticamente assente anche in seguito alle elevate pendenze. In base a considerazioni sulla permeabilità Trainiti assume che l'interfaccia tra la formazione di terreni granulari, più superficiali, e quella di base, possa essere assunta coincidente con la superficie libera della falda.

Le colonne stratigrafiche ricostruite per i due sondaggi effettuati evidenziano la seguente successione stratigrafica:

- ghiaie con sabbie e sabbie mediamente addensate con spessori variabili da circa 1 m a circa 6 m;
- sabbie, a volte debolmente limose, mediamente addensate, intercalate da strati di limi argillosi di spessore modesto generalmente inferiore a 50 cm;
- marne argillose debolmente sabbiose rinvenute a partire dai 10 m di profondità dal piano campagna.

I dati desunti dalle prove in sito e di laboratorio sono stati utilizzati per caratterizzare i terreni di fondazione da un punto di vista meccanico.

I risultati delle prove *SPT* sono stati utilizzati per stimare, attraverso correlazioni empiriche, la densità relativa D_r , il valore di picco φ'_{picco} dell'angolo di resistenza al taglio ed il modulo di elasticità normale E dei terreni granulari più superficiali. Per profondità variabili da 2,5 m a 10 m dal piano campagna Trainiti stima valori di φ'_{picco} decrescenti con la profondità da circa $36^\circ \div 37^\circ$ a circa $34^\circ \div 35^\circ$, valori di D_r decrescenti con la profondità dall' 87% al 54% e, infine, valori decrescenti con la profondità di E da circa 140 a 100 MPa.

Nella formazione di marne argillose, a profondità variabile da 14 a 20 m circa, mediante campionatore Shelby sono stati prelevati 2 campioni di terreno indisturbati successivamente sottoposti a prove di laboratorio per l'identificazione e la classificazione e prove per la determinazione dei parametri meccanici. I risultati delle prove di laboratorio non fanno parte della documentazione disponibile e, pertanto, non è stato possibile esaminarli. I dati riportati nello studio di Trainiti indicano terreni plastici ($I_p = 12 \div 17\%$) di consistenza semi-solida ($I_c = 1 \div 1.28$) quasi completamente saturi ($S_r = 90 \div 98\%$), normalconsolidati caratterizzati, però, da elevati valori della resistenza non drenata ($C_u/\sigma'_v > 0,5$) e parametri drenati di resistenza al taglio, variabili in un range contenuto ($c' = 10 \div 30$ kPa, $\varphi' = 24 \div 26^\circ$).

I risultati della prova down-hole, condotta in uno dei due fori di sondaggio realizzati durante la campagna di indagini, hanno condotto ai profili di velocità delle onde di volume mostrati in Figura 3.5 insieme ad una rappresentazione schematica della stratigrafia. I profili di V_p e V_s sono regolari e crescenti con la profondità. I valori di V_s sono variabili da circa 200 a circa 300 m/s per lo strato più superficiale di materiali granulari e crescono fino a circa 400 m/s nelle marne argillose.

Il valore medio della velocità delle onde di taglio nei primi 30 m dal piano campagna risulta pari a circa 300 m/s (valore stimato su una profondità massima di 25,5 m).

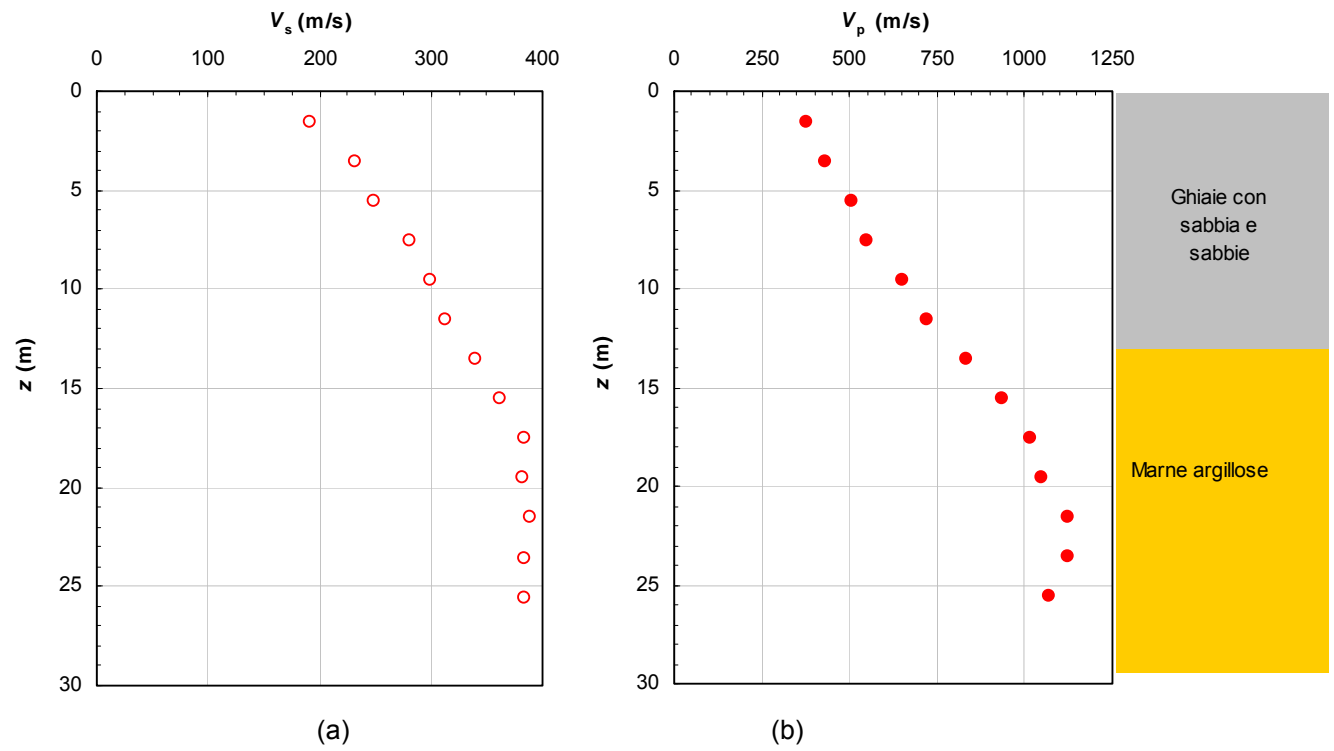


Figura 3.5 - Valori della velocità di propagazione delle onde di taglio (a) e delle onde di compressione (b) determinati durante la campagna di indagini relativa al “Progetto per la realizzazione di un complesso residenziale e commerciale da sorgere in Messina – C.da Torrente Trapani. Ditta Caruso Pasqualino, Francesca, Giacomina e Concetta & SAMM Costruzioni s.r.l. (dati desunti da Trainiti, 2010).

3.3.4. Sito 5

Il sito 5, interessato dalla realizzazione di un complesso edilizio residenziale, è stato oggetto dello studio geologico redatto da Rossi (2010), in accordo alle prescrizioni del D.M. 14.01.08, attraverso rilievi di superficie e indagini geotecniche comprendenti l'esecuzione di 4 sondaggi a carotaggio continuo e prove *SPT* in foro.

La morfologia dell'area interessata dall'intervento è degradante verso est ed è caratterizzata da scarpate con pendenze che raggiungono i 30°. Nell'area la successione stratigrafica è caratterizzata dalla presenza di depositi alluvionali recenti e della formazione delle *Sabbie e Ghiaie di Messina*. In particolare, le colonne stratigrafiche desunte dai sondaggi, eseguiti fino ad una profondità massima di 25 m, evidenziano la presenza di strati di sabbie, con dimensioni dei grani crescenti con la profondità, a volte contenenti ciottoli, sciolte o poco addensate. In uno solo dei sondaggi e seguiti, a profondità di circa 10 m dal piano campagna, è stato osservato uno strato di ghiaie poco addensate dello spessore di circa 2 m.

I risultati delle prove *SPT*, effettuate fino alla massima profondità indagata mediante i sondaggi, sono stati utilizzati per stimare, mediante correlazioni empiriche, la densità relativa D_r , il valore di picco φ'_{picco} dell'angolo di resistenza al taglio ed il modulo di elasticità normale E' . Il dettaglio delle determinazioni effettuate non è riportato nella documentazione disponibile. Limitandosi a riportare i dati sintetizzati da Rossi (2010) sono stati determinati valori di D_r variabili dal 55% al 100% e valori di E' variabili da circa 30 a circa 90 MPa. I profili di entrambi tali parametri sono risultati abbastanza irregolari. I valori di φ'_{picco} assunti nello studio sono variabili da 35° a 40°.

Durante i sondaggi non è stata rinvenuta alcuna falda. Tenendo conto della permeabilità delle formazioni più superficiali e dell'ubicazione del sito rispetto alla linea di costa, Rossi (2010) ipotizza una posizione della superficie libera della falda a circa 50 m di profondità.

3.4. Definizione dell'azione sismica di riferimento

3.4.1. Pericolosità sismica di base

Le recenti norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14.01.08, introducono approcci di progetto di carattere prestazionale nell'ambito dei quali le azioni sismiche da prendere in esame nelle analisi di progetto o di verifica delle opere dipendono dalla pericolosità sismica di base del sito e da una prefissata probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento V_R .

Il periodo di riferimento V_R per la valutazione dell'azione sismica dipende dalla vita nominale dell'opera oggetto della verifica e dalla cosiddetta classe d'uso dell'opera. In accordo con le prescrizioni del recente D.M. 14.01.08 (punto 2.4), il periodo di riferimento V_R può essere determinato mediante la relazione:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

in cui V_N è la vita nominale dell'opera oggetto della verifica e C_U è il coefficiente d'uso.

Nel caso in esame gli interventi edilizi descritti per ognuno dei cinque siti esaminati in precedenza fanno riferimento a tipologie di opere per le quali si può assumere un valore della vita nominale pari ad almeno 50 anni (tab. 2.4.1 del D.M. 14.01.08) e, in termini di classe d'uso, si può fare riferimento alla *Classe II* (punto 2.4.2 del D.M. 14.01.08). Di conseguenza il coefficiente d'uso C_U risulta unitario e il periodo di riferimento risulta pari a:

$$V_R = V_N \cdot C_U \geq 50 \text{ anni}$$

In accordo con le prescrizioni del D.M. 14.01.08, le verifiche di sicurezza delle opere devono essere eseguite con l'obiettivo di verificare il soddisfacimento dei requisiti nei confronti degli stati limite di esercizio, definiti stato limite di operatività (*SLO*) e stato limite di danno (*SLD*), e dello stato limite ultimo di salvaguardia della vita (*SLV*). Nel caso in cui il progetto strutturale delle opere preveda l'utilizzo di sistemi di isolamento alla base sarà, inoltre, necessario verificare il soddisfacimento dei requisiti nei confronti dello stato limite ultimo di prevenzione del collasso (*SLC*).

Per ognuno degli stati limite da prendere in esame, i valori della probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R , cui riferirsi per individuare l'azione

sismica di riferimento, sono mostrati nella Tabella 3.1 e sono stati desunti dalle prescrizioni fornite dal D.M. 14.01.08 (punto 3.2.1).

Tabella 3.1 – Valori di riferimento per la probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R

Stato limite		P_{VR}
Stati limite di esercizio	<i>SLO</i>	81 %
	<i>SLD</i>	63 %
Stati limite ultimi	<i>SLV</i>	10 %
	<i>SLC</i>	5 %

Assumendo che la legge di ricorrenza dell'azione sismica sia un processo Poissoniano, il periodo di riferimento V_R può essere utilizzato per valutare, fissata la probabilità di superamento P_{VR} corrispondente allo stato limite considerato, il periodo di ritorno T_R dell'azione sismica cui fare riferimento per la verifica:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

Per gli scopi del presente lavoro la pericolosità sismica di base può essere definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento roccioso con superficie topografica orizzontale per una prefissata probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R .

Tale definizione implica che la costruzione cui l'analisi si riferisce sia di dimensioni limitate o che le sue fondazioni siano sufficientemente rigide e resistenti in modo da poter assumere che il moto sia lo stesso per tutti i punti al di sotto della costruzione e, quindi, non sia necessario tenere conto della variabilità spaziale del moto sismico di riferimento. Tale ipotesi sarà utilizzata nel seguito.

Per ognuno dei cinque siti presi in esame nello studio il valore di a_g è stato determinato utilizzando le mappe interattive di pericolosità sismica redatte dall'*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia* (disponibili sul sito <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>) per un prefissato valore del periodo di riferimento V_R e per una prefissata probabilità di eccedenza P_{VR} . In corrispondenza di prefissati valori di V_R e P_{VR} le mappe

interattive di pericolosità sismica forniscono anche il valore massimo F_0 del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.

I risultati delle valutazioni di a_g sono mostrate in Tabella 3.2 per ognuno dei cinque siti presi in esame. In particolare, per ognuno dei possibili stati limite la Tabella 3.2 mostra i valori del tempo di ritorno T_R , i corrispondenti valori di a_g il valore di F_0 e, infine, il valore T_c^* del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

In considerazione delle modeste distanze che intercorrono tra i cinque siti presi in esame, i valori di riferimento dei parametri che descrivono la pericolosità sismica di base sono praticamente coincidenti.

Tabella 3.2 – Parametri di pericolosità sismica per ognuno dei cinque siti presi in esame

<i>sito 1</i>					<i>sito 2</i>				
<i>Stato Limite</i>	T_R	$a_g(g)$	F_0	T_c^*	<i>Stato Limite</i>	T_R	$a_g(g)$	F_0	T_c^*
<i>SLO</i>	30	0.060	2.371	0.278	<i>SLO</i>	30	0.060	2.370	0.278
<i>SLD</i>	50	0.080	2.324	0.295	<i>SLD</i>	50	0.080	2.323	0.295
<i>SLV</i>	475	0.243	2.410	0.359	<i>SLV</i>	475	0.244	2.410	0.359
<i>SLC</i>	975	0.331	2.444	0.384	<i>SLC</i>	975	0.331	2.444	0.384

<i>sito 3</i>					<i>sito 4</i>				
<i>Stato Limite</i>	T_R	$a_g(g)$	F_0	T_c^*	<i>Stato Limite</i>	T_R	$a_g(g)$	F_0	T_c^*
<i>SLO</i>	30	0.060	2.369	0.278	<i>SLO</i>	30	0.060	2.367	0.277
<i>SLD</i>	50	0.080	2.322	0.295	<i>SLD</i>	50	0.081	2.320	0.294
<i>SLV</i>	475	0.244	2.410	0.359	<i>SLV</i>	475	0.246	2.410	0.359
<i>SLC</i>	975	0.332	2.444	0.384	<i>SLC</i>	975	0.333	2.445	0.384

<i>sito 5</i>				
<i>Stato Limite</i>	T_R	$a_g(g)$	F_0	T_c^*
<i>SLO</i>	30	0.060	2.365	0.277
<i>SLD</i>	50	0.081	2.319	0.294
<i>SLV</i>	475	0.247	2.411	0.359
<i>SLC</i>	975	0.335	2.445	0.384

In accordo con le indicazioni della circolare esplicativa del D.M. 14.01.08, le analisi di stabilità sismica del sito oggetto dell'intervento edilizio (comprendenti le analisi di suscettibilità alla liquefazione e le analisi di stabilità dei pendii) devono

essere eseguite con l'obiettivo di verificare il soddisfacimento dei requisiti nei confronti degli stati limite ultimi di salvaguardia della vita (SLV).

Tenendo conto di tale precisazione e con riferimento al solo *sito 1*, i valori dei parametri che descrivono la pericolosità sismica di base per le verifiche relative allo stato limite SLV sono i seguenti:

$$\begin{array}{ll} T_R = 475 \text{ anni} & a_g = 0.247 \text{ g} \\ F_o = 2.411 & T^*_c = 0.359 \end{array}$$

Ai fini della verifica alla suscettibilità alla liquefazione è, infine, necessario individuare dei valori della magnitudo di momento che caratterizza l'evento sismico di riferimento per l'analisi.

Facendo riferimento a dati di letteratura si evince che l'evento sismico che ha colpito Messina nel 1908 rappresenta l'evento di maggiore intensità nella storia sismica dell'area. Per tale evento allo stato attuale esistono discrepanze sul valore della magnitudo per la quale in letteratura sono presenti valori variabili da 6.7 a 7.3.

Alcuni riferimenti bibliografici (e.g. Bottari *et al.*, 1982; Pino *et al.*, 2000) per tale evento indicano una magnitudo di momento $M_W = 7.1$ ed un tempo di ritorno stimato nell'intervallo 700-1000 anni circa.

3.4.2. Effetti di sito e risposta sismica locale

Le reali condizioni di un sito generalmente non coincidono con quelle del sito di riferimento. È necessario, pertanto, tenere conto delle condizioni stratigrafiche del volume di terreno interessato dalle opere ed anche delle condizioni topografiche, poiché entrambi questi fattori concorrono a modificare l'azione sismica in superficie rispetto a quella attesa su un sito rigido con superficie orizzontale. Tali modifiche, in ampiezza, durata e contenuto in frequenza, sono il risultato della risposta sismica locale.

Il moto generato da un terremoto alla superficie di un sito dipende, infatti, dalla complessa interazione tra le onde sismiche e le condizioni locali del sito costituite dall'insieme delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche del deposito di terreno e delle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che lo costituiscono.

Questa interazione determina una risposta sismica alla superficie del sito differente da quella che si avrebbe su un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

Nella valutazione delle azioni sismiche di riferimento risulta quindi indispensabile valutare gli effetti locali per i quali si distingue, generalmente, in *effetti stratigrafici*, *effetti di valle* ed *effetti topografici*.

Gli *effetti stratigrafici* rappresentano le modifiche che il moto sismico subisce nel propagarsi con direzione prevalentemente verticale verso la superficie e sono essenzialmente attribuibili a fenomeni di risonanza tra onde sismiche e terreni; essi dipendono dalle condizioni stratigrafiche del sottosuolo, dalle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni e dal contenuto in frequenza del moto sismico.

Il termine *effetti di valle* si riferisce, invece, all'influenza sul moto sismico di geometrie bi- o tri-dimensionali in cui si manifestano in genere più complessi fenomeni di propagazione delle onde sismiche rispetto al caso al caso mono-dimensionale.

Il termine *effetti topografici*, infine, è ancora adottato con riferimento a geometrie bi- o tri-dimensionali ma indica, invece, le modifiche delle caratteristiche del moto sismico causate da fenomeni di focalizzazione delle onde sismiche per effetto della particolare configurazione topografica del sito.

Alcune schematiche rappresentazioni degli effetti di sito sopra menzionati sono riportate in Figura 3.6.

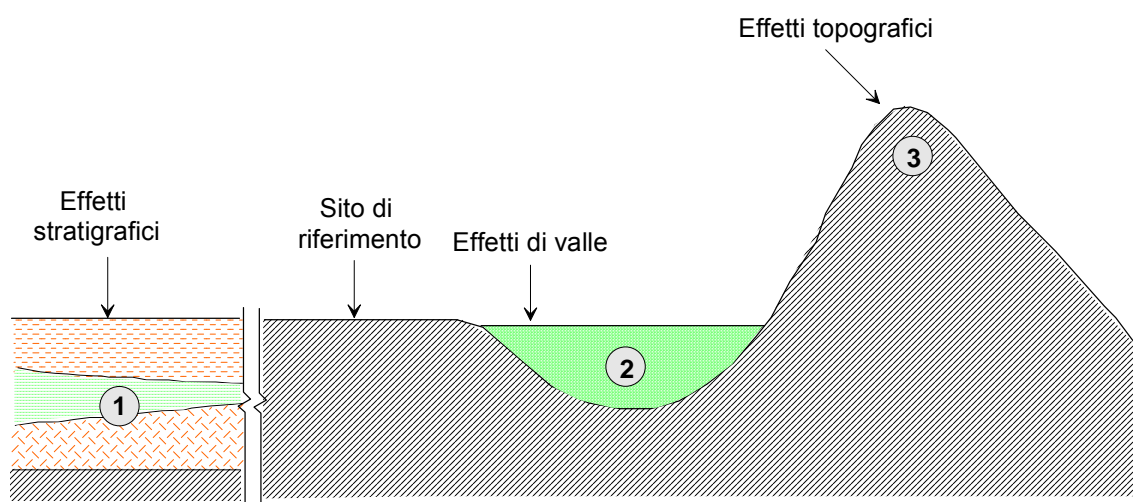


Figura 3.6 - Tipiche configurazioni responsabili degli effetti di sito.

In generale una valutazione quantitativa degli effetti di sito può essere effettuata mediante procedure caratterizzate da livelli crescenti di complessità, che vanno da metodologie di carattere empirico fino ai metodi di analisi numerica bi- o tri-dimensionale di tipo non lineare.

La scelta della procedura da utilizzare dipende dalle finalità dello studio, dalle prestazioni che l'opera deve garantire nei confronti del terremoto di riferimento e dalla qualità dei dati geotecnici disponibili.

Relativamente al *sito 1*, l'importanza e le dimensioni delle opere previste in progetto, la loro ubicazione sul rilievo collinare che caratterizza la morfologia dell'area, la pericolosità sismica del sito stesso e, infine, le peculiarità di carattere topografico e stratigrafico già descritte in precedenza (cfr. par. 3.3.1) suggeriscono la necessità di effettuare analisi di risposta sismica locale per un'accurata definizione dell'azione sismica di riferimento per le analisi di progetto e di verifica.

In particolare, tenendo conto del valore dell'accelerazione attesa al sito di riferimento ($a_g = 0.247$ g), tali analisi dovrebbero essere di tipo non lineare e, in considerazione della particolare topografia dell'area, dovrebbero essere effettuate utilizzando un approccio quanto meno bi-dimensionale.

Relativamente alla quantificazione degli effetti di sito è opportuno precisare che le valutazioni semplificate previste dal paragrafo 3.2.2. del D.M. 14.01.08, attraverso la definizione della categoria di sottosuolo e l'introduzione dei coefficienti di amplificazione stratigrafica S_S e topografica S_T non sono applicabili al caso in esame (*sito 1*) per due principali motivazioni.

Relativamente agli *effetti stratigrafici* si è già evidenziato (cfr. Fig. 3.3.1) che i risultati delle prove Down-Hole eseguite nell'ambito di una delle campagne di indagini effettuate nel *sito 1* (Dolfin, 2007), mostrano profili della velocità delle onde di taglio non regolari e non sempre crescenti con la profondità. Ciò indica proprietà meccaniche dei terreni non gradualmente crescenti con la profondità come, d'altra parte, risulta evidente dalle sezioni litostratigrafiche prodotte da Schiavone (2003) e da Dolfin (2007). Le definizioni delle categorie di sottosuolo previste dal paragrafo 3.2.2. del D.M. 14.01.08, riportate in Tabella 3.3, si riferiscono, invece, a condizioni in

cui i depositi risultano caratterizzati da un graduale miglioramento con la profondità delle proprietà meccaniche. Appare, quindi, evidente che la quantificazione degli effetti stratigrafici attraverso l'introduzione del solo fattore di amplificazione stratigrafica S_s potrebbe risultare poco affidabile.

Tabella 3.3 – Categorie di sottosuolo previste dal D.M. 14.01.08 per la valutazione semplificata degli effetti di amplificazione sismica locale di natura stratigrafica.

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
C	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
D	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).</i>

Relativamente, invece, agli effetti di natura topografica, si osserva che le sezioni litostratigrafiche disponibili nella documentazione di riferimento (Schiavone, 2003; Dolfin, 2007), evidenziano la complessità della geometria dei contatti stratigrafici tra le formazioni presenti nel rilievo collinare su cui sono ubicate le opere previste nel programma costruttivo che interessa il *sito 1*. A tale aspetto si aggiunge la complessa geometria tri-dimensionale che caratterizza lo stesso rilievo. Tali concomitanti condizioni rendono la valutazione degli effetti di amplificazione di natura topografica estremamente complessa. Per tale valutazione si ritiene di poter escludere la possibilità di una valutazione semplificata attraverso l'introduzione della categoria topografica prevista dal punto 3.2.2 del D.M. 14.01.08 riportata in Tabella 3.4.

Tabella 3.4 – Categorie topografiche previste dal D.M. 14.01.08 per la valutazione semplificata degli effetti di amplificazione sismica locale di natura topografica.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Sulla base di quanto sopra appare chiara la necessità di un'accurata analisi di risposta sismica locale per la corretta definizione della risposta del sito e, quindi, delle azioni sismiche di riferimento da utilizzare per le verifiche di stabilità geotecnica del sito stesso e per il progetto delle strutture che su di esso devono essere edificate. Tale analisi non è oggetto del presente rapporto. Essa, infatti, richiede una conoscenza approfondita delle condizioni stratigrafiche del sito e delle proprietà geotecniche dei terreni interessati (con particolare riferimento alle leggi sforzi-deformazioni in campo ciclico) e necessita della valutazione di profili di rigidità a taglio a piccole deformazioni lungo più verticali e nell'ambito di profondità maggiori dei 30 m necessari per la definizione del parametro $V_{s,30}$. Tali analisi, inoltre, richiedono la definizione di un'affidabile azione sismica di riferimento al *bedrock* in termini di storie delle accelerazioni. Tutte queste informazioni non sono al momento disponibili e, pertanto, appare evidente come la corretta definizione della risposta sismica del *sito 1* richieda uno studio supplementare basato sui risultati di opportune indagini geotecniche, di sito e di laboratorio, mirate alla definizione dei parametri necessari all'analisi della risposta sismica locale.

In questa sede, con l'obiettivo di fornire comunque indicazioni di massima sugli effetti di amplificazione di natura stratigrafica e topografica che potrebbero caratterizzare la risposta del *sito 1*, saranno mostrati i risultati di alcune valutazioni semplificate ma ritenute, comunque, compatibili con il livello di approfondimento dei dati geotecnici disponibili. Tali risultati potranno essere utilizzati anche al fine di individuare lo strumento di analisi più idoneo per i più approfonditi studi di risposta sismica locale che, necessariamente, dovranno caratterizzare le fasi più avanzate di uno studio che è auspicabile che l'Amministrazione Comunale effettui.

Per effettuare valutazioni semplificate degli effetti di amplificazione sismica locale si farà riferimento a metodologie di tipo empirico che, in virtù del limitato numero di informazioni geotecniche richieste, sebbene approssimate, risultano congeniali ad una fase preliminare dell'analisi di risposta sismica.

Relativamente alla valutazione speditiva degli *effetti stratigrafici*, i metodi empirici disponibili in letteratura si basano generalmente sull'elaborazione statistica di alcune caratteristiche del moto sismico ottenute da registrazioni strumentali relative a differenti condizioni di sottosuolo. Tali metodi consentono di stimare grossolanamente le caratteristiche della risposta in superficie, in termini di parametri di picco del moto o di parametri spettrali. Il grado di accuratezza con cui sono determinati tali parametri è strettamente connesso alla qualità delle informazioni geologiche e geotecniche disponibili per definire le condizioni del sottosuolo. Nel seguito si farà riferimento, esclusivamente, ai parametri di picco del moto al suolo più adatti all'esecuzione di studi sulle condizioni di stabilità sismica del sito piuttosto che a studi della risposta sismica delle singole opere. Nei metodi più semplici la classificazione del sottosuolo al sito di interesse è puramente qualitativa, ed è basata sulla litologia delle formazioni affioranti.

Nei metodi più sofisticati, i siti sono invece classificati sulla base di una descrizione sintetica del profilo stratigrafico, talvolta integrata con informazioni sullo spessore degli strati deformabili, o di parametri indicativi della risposta dinamica del sito quali la velocità delle onde di taglio del terreno V_s e il numero dei colpi ottenuto in una prova penetrometrica dinamica.

In questa sede, in relazione alla qualità ed alla quantità dati disponibili, si farà riferimento ad approcci di tipo empirico basati:

- a) sulla conoscenza della geologia di superficie;
- b) su correlazioni tra fattori di amplificazione e contrasti di velocità delle onde di taglio.

Gli approcci di cui al punto a) sono da considerare puramente indicativi in quanto sviluppati con riferimento a specifiche applicazioni e, quindi, di validità essenzialmente locale. La loro applicabilità a condizioni geologiche differenti da

quelle di riferimento richiede un'interpretazione soggettiva e può condurre a stime erronee della risposta locale. Nell'ambito di tali metodologie è possibile fare riferimento alla correlazione tra fattore di amplificazione (*AF*) e natura dei litotipi affioranti definita dal Comitato Tecnico n.4 (TC4) dell'Associazione Internazionale di Meccanica dei Terreni e Ingegneria delle Fondazioni (ISSMFE) e mostrata nella Tabella 3.5 (ISSMFE-TC4, 1999). In questo tipo di correlazione il fattore di amplificazione *AF* è definito come rapporto tra valore medio delle ampiezze dello spettro di Fourier calcolato, in affioramento, in un determinato campo di frequenze, e quello di una formazione di riferimento, non sempre costituito da roccia. Nel caso in esame, la presenza degli affioramenti che caratterizzano l'area dello stretto di Messina, fanno ipotizzare (Tabella 3.5) fattori di amplificazione elevati che, per frequenze comprese nell'ambito intervallo 0.4-5.0 Hz, possono superare il valore 2.

Tabella 3.5 - Correlazione tra fattori di amplificazione (*AF*) e natura dei litotipi affioranti definita dal TC4 dell'ISSMFE (ISSMFE-TC4, 1999)

Formazione / Litotipo	AF	Campo di frequenza	Formazione/Litotipo di riferimento
Depositi fangosi di baia	11.2		
Alluvioni	3.9		
Formazione di Santa Clara	2.7	0.5-2.5 Hz	granito
Sequenza della Great Valley	2.3		
Formazione Franciscana	1.6		
Granito	1.0		
Torba	1.6		
Terreno vegetale	1.4		
Argilla	1.3	0.1-10 Hz	limo
Limo	1.0		
Sabbia	0.9		
Olocene	3.0		
Pleistocene	2.1		
Rocce vulcaniche quaternarie	1.6	0.4-5 Hz	Pre-Terziario
Miocene	1.5		
Pre-Terziario	1.0		

Le metodologie di cui al punto b), più accurate, trovano giustificazione teorica nell'espressione analitica del massimo fattore di amplificazione AF_{max} che, in campo mono-dimensionale, può essere definito con riferimento ad uno schema di sottosuolo omogeneo a comportamento visco-elastico lineare. Per tale schema di riferimento, infatti, il fattore AF_{max} risulta pari al contrasto di impedenza sismica tra roccia di base e terreno costituente il deposito. Assumendo, per semplicità, che il rapporto di impedenza sismica si riduca al solo rapporto tra i valori della velocità delle onde di taglio V_r nella roccia di base e V_s nel terreno costituente il deposito, risulta $AF_{max} = V_r/V_s$. Con riferimento a schemi di sottosuolo reali, non omogenei ed a comportamento non lineare, studi di carattere teorico e numerico ed osservazioni sperimentali mostrano che AF_{max} risulta generalmente inferiore al valore teorico definito per lo schema di sottosuolo omogeneo a comportamento lineare. La Tabella 3.6 riporta alcune espressioni analitiche dei fattori di amplificazione proposti in letteratura per l'accelerazione di picco (AF_a) e per la velocità di picco (AF_v). Le correlazioni sono tutte funzioni della velocità delle onde di taglio V_r nella roccia di base e di un valore medio $V_{s,30}$ della velocità delle onde di taglio valutato nell'ambito di una profondità di 30 m dal piano campagna.

Tabella 3.6 - Correlazioni empiriche tra fattore di amplificazione e velocità delle onde di taglio

Parametro del moto sismico	Fattore di amplificazione	Fonte	Note
Accelerazione di picco	$AF_a = (V_{s,30} / V_r)^{-0.47}$	Midoriwaka <i>et al.</i> (1994)	$V_r = 750$ m/s
	$AF_a = (V_{s,30} / V_r)^{-0.37}$	Boore <i>et al.</i> (1994)	$V_r = 1400$ m/s
Velocità di picco	$AF_v = (V_{s,30} / V_r)^{-0.45}$	Joyner e Fumal (1984)	$V_r = 1190$ m/s
	$AF_v = (V_{s,30} / V_r)^{-0.37}$	Midoriwaka <i>et al.</i> (1994)	$V_r = 600$ m/s

Per il caso in esame, assumendo $V_{s,30}$ pari a 300 m/s e 400 m/s (cfr. par.. 3.3.1) si ottengono valori del fattore di amplificazione per l'accelerazione di picco AF_a variabili da circa 1.3 a circa 1.8 e valori del fattore di amplificazione per la velocità di picco AF_v variabili da circa 1.2 a circa 1.9.

Relativamente ai fattori di amplificazione per l'accelerazione, i valori ottenuti sono inferiori a quelli stimati con gli approcci basati esclusivamente sulla geologia della formazione affiorante, ma sono significativamente superiori a quelli previsti dalla

valutazione semplificata effettuata attraverso la definizione delle Categorie di sottosuolo. Per il caso in esame ($a_g = 0.247 \text{ g}$, $F_o = 2.411$) risulterebbe, infatti, $S_s = 1.16, 1.34, 1.51$ e $1,60$ rispettivamente per le categorie di sottosuolo (Tab. 3.3) *B*, *C*, *D* ed *E*.

Nonostante la valutazione di AF_a sia stata ottenuta con metodologie di carattere semplificato, i risultati cui essa ha condotto non si discostano significativamente da quelli che potrebbero essere ottenuti con procedure più sofisticate di analisi di risposta sismica. La Figura 3.7, per esempio, mostra una sintesi dei risultati di analisi di risposta sismica mono-dimensionali (1D) di tipo lineare-equivalente (EL) e di tipo non lineare (NL) effettuate da diversi autori con riferimento a registrazioni sismiche significative per il territorio italiano e con riferimento a sottosuoli di categoria *C* (Fig. 3.7 a) e *D* (Fig. 3.7 b) ipotizzando differenti legami costitutivi (definiti in funzione del valore dell'indice plastico *PI* dei terreni), differenti profili di variazione della rigidità a taglio a piccole deformazioni e differenti profondità z_b del bedrock.

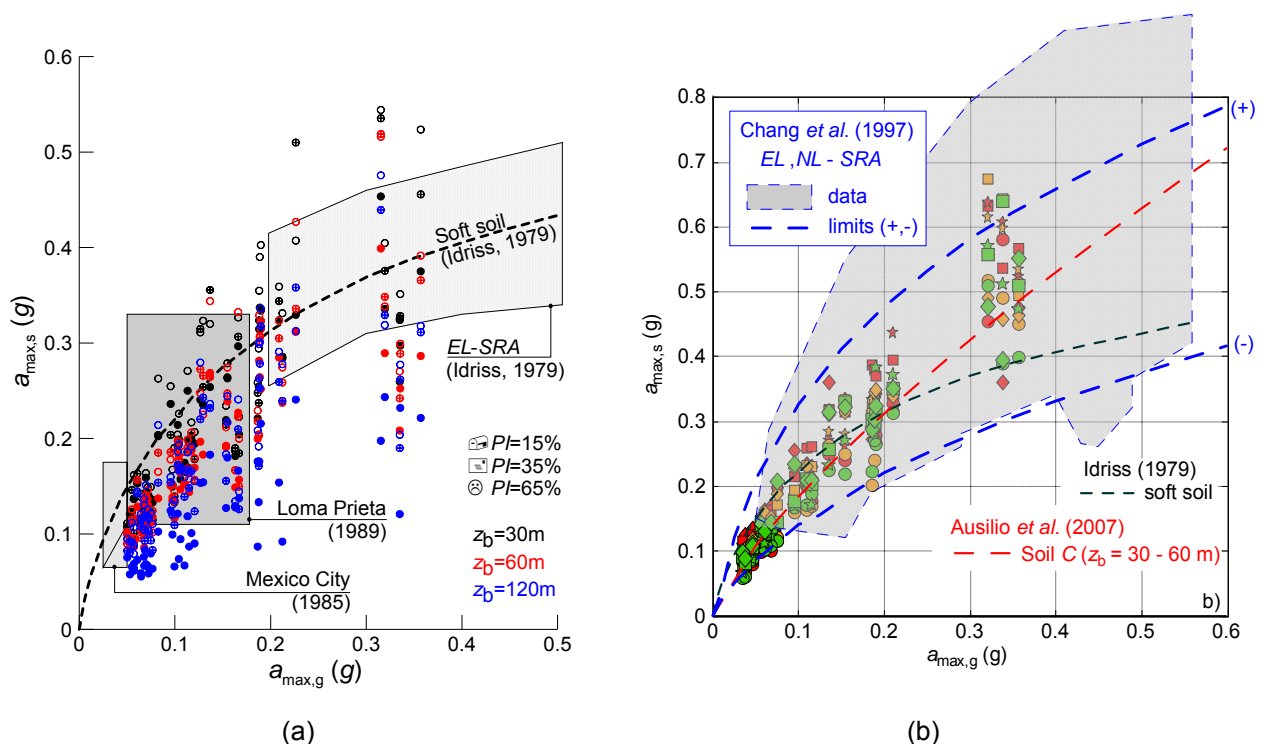


Figura 3.7 – Risultati di analisi di risposta sismica locale di tipo 1D effettuate con riferimento a:
a) sottosuoli di categoria *C* (Biondi *et al.*, 2009);
b) sottosuoli di categoria *D* (Di Filippo *et al.*, 2011).

Nella stessa figura sono riportati anche i risultati di analoghe analisi di risposta sismica effettuate con riferimento a database di registrazioni relative ad eventi verificatisi in altre parti del mondo (Idriss, 1979; Chang *et al.*, 1997) e alcuni dati relativi ai fenomeni di amplificazione sismica di tipo stratigrafica osservati in occasione dei terremoti di Mexico City del 1985, di Loma Prieta del 1989. In corrispondenza di valori di picco dell'accelerazione su affioramento roccioso pari ad $a_{\max,g} = 0.247 g$, si osservano valori del coefficiente di amplificazione stratigrafica $S_s = a_{\max,s} / a_{\max,g}$ variabili da 1 a 3 con i valori più alti per gli schemi di sottosuolo caratterizzati da un maggiore grado di eterogeneità in termini di rigidità al taglio a piccole deformazioni.

Relativamente alla valutazione speditiva degli *effetti topografici*, nel seguito si farà riferimento ai risultati di alcuni studi disponibili nella letteratura scientifica con riferimento allo schema di rilievo isolato. In particolare si farà riferimento all'ampia casistica analizzata da Pagliaroli (2006).

Per lo schema di rilievo isolato gli studi disponibili in letteratura evidenziano che l'entità degli effetti topografici è fortemente correlata all'esatta geometria del rilievo, alla costituzione del sottosuolo, al rapporto di forma del rilievo (definito dal rapporto tra l'altezza H e la semi-larghezza L misurata alla base) dalla tipologia di onde sismiche incidenti e dall'angolo di incidenza valutato rispetto alla verticale.

Nel caso in esame, in mancanza di dettagliate informazioni sulle proprietà meccaniche dei terreni e tenendo conto della complessa geometria dei contatti stratigrafici che caratterizzano il rilievo, l'attenzione sarà focalizzata esclusivamente sugli aspetti geometrici relativi alla topografia del problema in esame, ovvero sull'influenza del rapporto di forma H/L del rilievo sugli effetti di amplificazione di natura topografica.

Gli studi disponibili in letteratura quantificano l'effetto topografico attraverso l'introduzione di un fattore di amplificazione topografica A_t , definito nel dominio del tempo (di fatto coincidente con il fattore S_T introdotto dal D.M. 14.01.08), un fattore di amplificazione topografica $A_{t,s}$ definito nel dominio delle frequenze ed una frequenza adimensionale $2L/\lambda$ corrispondente al picco dell'amplificazione spettrale.

Le Figure 3.8 e 3.9 mostrano la sintesi dei dati raccolti a riguardo da Pagliaroli (2006) con riferimento a risultati di studi di carattere numerico (Fig. 3.8) e osservazioni sperimentali (Fig. 3.9).

In particolare, la Figura 3.8 riporta i valori dei fattori di amplificazione topografica A_t e $A_{t,s}$ e della frequenza adimensionale $2L/\lambda$ in funzione del rapporto di forma H/L del rilievo separando i dati in funzione del tipo di onda incidente (onde SV e SH) ed evidenziando i dati relativi ai rari studi di tipo tri-dimensionale (3D). I dati rappresentati in rosso si riferiscono a casi di amplificazione di carattere sia stratigrafico che topografico. Nella stessa figura è, inoltre, mostrata la valutazione di tipo analitico proposta da Sanchez-Sesma (1990) per il caso di onde incidenti di tipo SH.

La Figura 3.9 riporta gli stessi parametri A_t , $A_{t,s}$ e $2L/\lambda$ in funzione del rapporto di forma H/L separando i casi relativi ad osservazioni sperimentali di fenomeni di amplificazione stratigrafica e topografica da quelle relative a fenomeni di natura puramente topografica. Nella stessa figura sono riportati anche valori ottenuti utilizzando la tecnica HVSR e la tecnica Nakamura.

Nel caso in esame i valori del rapporto di forma H/L sono stati valutati utilizzando le sezioni del rilievo riportate nello studio geologico redatto da Schiavone (2003) effettuando le necessarie semplificazioni sulla geometria del problema. Le 14 sezioni esaminate risultano caratterizzate da valori rapporto di forma H/L variabili da un minimo pari a circa 0.21 ad un massimo pari a circa 0.45.

Utilizzando i dati riportati in Figura 3.8, relativamente ai soli casi di amplificazione topografica, per $H/L = 0.21 \div 0.45$ si possono stimare valori del coefficiente di amplificazione topografica nel dominio del tempo A_t variabili da circa 1 a circa 1.9 (Fig. 3.8 a), con il valore maggiore relativo ad un caso di marcati effetti tri-dimensionali. Limitandosi, invece, ai soli casi di analisi bi-dimensionali il valore massimo di A_t risulta pari a circa 1.6. I valori del coefficiente di amplificazione topografica nel dominio della frequenza $A_{t,s}$ risultano, invece, variabili da circa 1.2 a circa 2.9 (Fig. 3.8 b). Infine, la frequenza adimensionale $2L/\lambda$ risulta variabile in un ampio intervallo compreso tra 0.7 e 4 circa (Fig. 3.8 c) anche se l'insieme dei dati complessivamente mostrato in Figura 3.8 c indica che, indipendentemente dal rapporto di forma H/L che caratterizza il rilievo, la frequenza adimensionale $2L/\lambda$

risulta mediamente pari all'unità indicando che un massimo di amplificazione spettrale si verifica per lunghezze d'onda incidenti paragonabili alla dimensione trasversale del rilievo misurata alla base.

Gli studi di carattere sperimentale (Figura 3.9) mostrano, invece, valori di A_t e di $A_{t,s}$ significativamente superiori in quanto quasi tutti i dati disponibili in letteratura si riferiscono a registrazioni che risentono di effetti di natura topografica e stratigrafica. L'unico dato riportato da Pagliaroli (2006) con riferimento ad una stazione di registrazione posta su affioramento piano, per H/L pari a circa 0.28, indica un valore dell'amplificazione spettrale $A_{t,s}$ pari a circa 10.

Il significativi valori del coefficiente A_t determinato con riferimento ai dati di Figura 3.8 insieme al relativo campo di variazione ($A_t = 1 \div 1.9$) indicano che per il rilievo che caratterizza la morfologia del *sito 1* gli effetti di amplificazione di carattere topografico potrebbero essere significativi e, certamente, richiedono un più approfondito studio di risposta sismica locale. Questa deve necessariamente essere effettuata con approcci quantomeno di tipo bi-dimensionale anche se analisi di tipo tri-dimensionale, certamente compatibili con la morfologia dell'area, potrebbero evidenziare effetti di amplificazione topografica ancora maggiori. A titolo puramente indicativo si evidenzia che il valore del coefficiente di amplificazione topografica S_T che si otterrebbe mediante la valutazione semplificata prevista dal punto 3.2.2 del D.M. 14.01.08 (Tabella 3.4) porterebbe a valori al più pari a 1.4. Inoltre, l'utilizzo di tale parametro è possibile limitatamente nei casi di configurazioni geometriche prevalentemente bi-dimensionali (punto 7.11.3.3. del D.M. 14.10808).

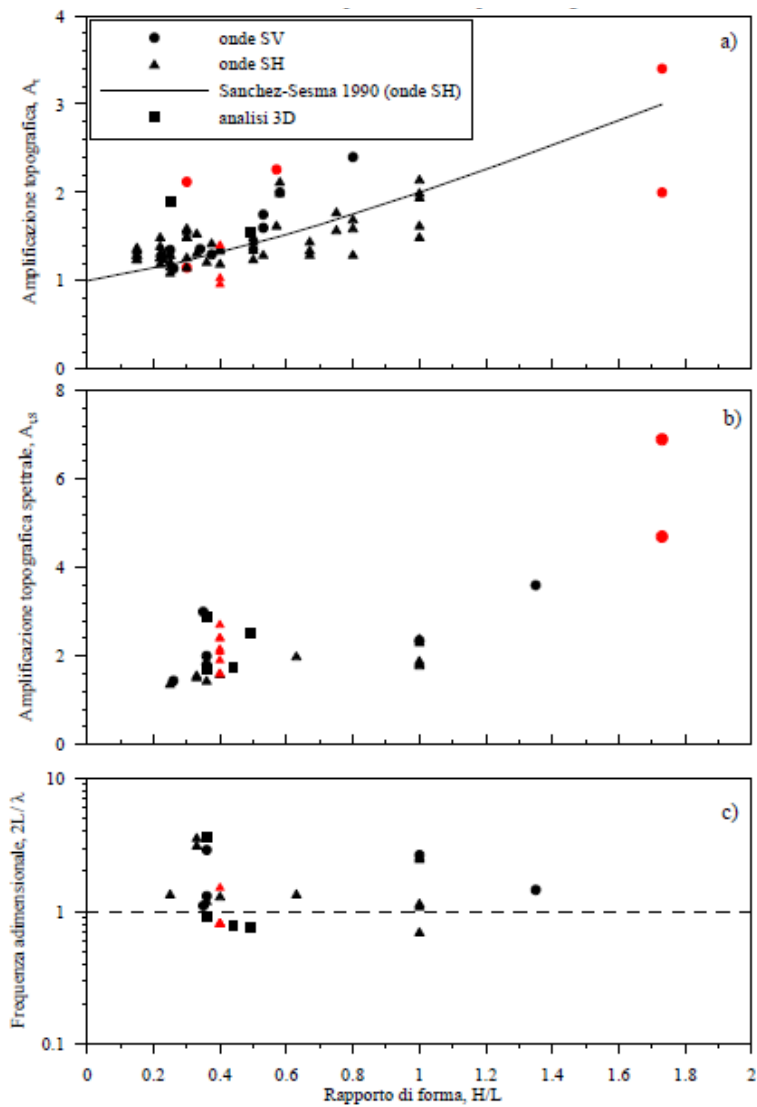


Figura 3.8 – Dati sull'amplificazione di natura topografica desunti da studi numerici di risposta sismica (modificata da Pagliaroli, 2006)

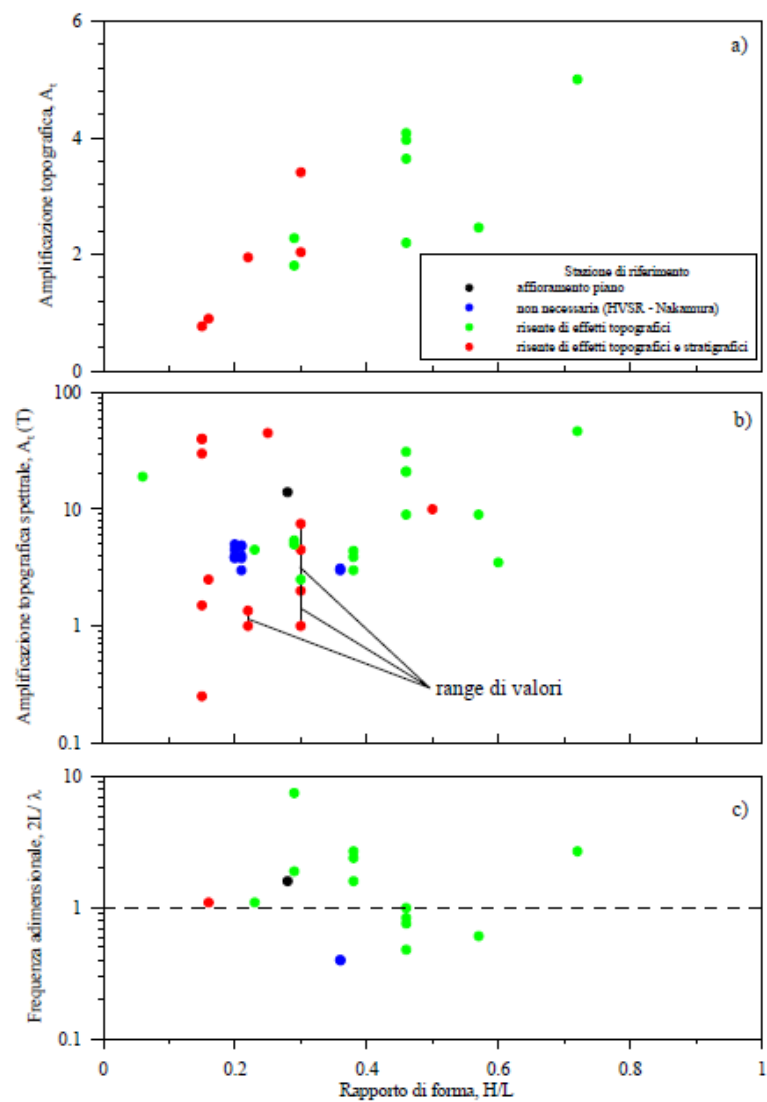


Figura 3.9 – Dati sull'amplificazione di natura topografica desunti da studi osservazioni sperimentali (modificata da Pagliaroli, 2006)

3.5. Stabilità sismica del sito

La sismicità storica dell'area dello stretto di Messina impone di effettuare analisi mirate ad un'affidabile previsione delle condizioni di stabilità sismica di un sito interessato da un intervento edilizio.

Infatti, importanti fenomeni franosi e di liquefazione dinamica dei terreni granulari indotti da eventi sismici che hanno interessato lo stretto di Messina sono documentati da Guerricchio *et al.* (2008) con riferimento al terremoto delle Calabrie del 5 e 6 Febbraio 1783 ($M_w = 6.9, 5.9, 6.6$, rispettivamente).

L'evento causò circa 30.000 vittime e perdite di beni pari a un valore stimato di 2,4 miliardi di Euro, se riportate al valore attuale. L'evento, infatti, diede luogo a deformazioni gravitative e frane a seguito delle quali interi abitati furono trascinati a valle e distrutti, corsi d'acqua furono deviati o sbarrati, con formazione di numerosi nuovi laghi, e eruzioni d'acqua dal sottosuolo avvennero dando luogo ai caratteristici "vulcanelli" di sabbia dovuti a fenomeni di liquefazione.

Tra gli effetti più vistosi del sisma vi furono deformazioni gravitative profonde e imponenti frane per le quali Guerricchio *et al.* (2008) riportano spostamenti orizzontali fino a 700 m, distacchi di strisce unitarie di terrazzi lunghe fino a 4 km, larghe fino a 1 km e spesse fino a più di 0.2 km. Altri dati di letteratura (e.g. Baratta, 1910; Billi *et al.*, 2008) riferiscono degli importanti effetti del terremoto di Messina del 1908 che produsse danni ancora più gravi del terremoto delle Calabrie del 1783.

Infine, le stime della magnitudo dell'evento del 1908, che variano in un ampio intervallo compreso tra 6.7 a 7.3, rendono l'evento stesso uno dei più forti nel catalogo italiano e il più grande terremoto italiano per il quale si disponga di sismogrammi.

Al di là delle indicazioni di carattere storico, desumibili dalla letteratura scientifica, è opportuno, comunque, evidenziare che il D.M. 14.01.08 indica chiaramente i requisiti cui devono soddisfare i siti da costruzione in presenza di azioni sismiche e prescrive l'esecuzione di verifiche della suscettibilità alla liquefazione e verifiche delle condizioni di stabilità sismica e funzionalità post-sismica dei pendii naturali e dei fronti di scavo che caratterizzano un sito nelle condizioni ante e post costruzione.

3.5.1. Suscettibilità alla liquefazione

Con il termine liquefazione si intendono quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni permanenti in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche o dinamiche che agiscono in condizioni non drenate. L'azione sismica rappresenta tipicamente un'azione dinamica per la quale, data la rapidità di applicazione, le condizioni di carico possono considerarsi non drenate anche con riferimento a terreni granulari caratterizzati da elevati valori della permeabilità. Sulla base di tale considerazione la verifica di suscettibilità alla liquefazione deve certamente far parte delle analisi da eseguire in siti caratterizzati da elevata pericolosità sismica e presenza di terreni granulari sotto falda.

Con riferimento ai cinque siti presi in esame in questo studio, si è già evidenziato come per alcuni di essi le condizioni topografiche, le permeabilità delle formazioni più superficiali e le condizioni idrauliche al contorno consentono di ipotizzare posizioni della superficie libera della falda molto profonde rispetto al piano campagna e al piano di posa delle fondazioni delle opere esistenti o di quelle in progetto. Una condizione di questo tipo è, per esempio, quella che caratterizza la porzione del *sito 1* situata a quote altimetriche maggiori (cfr. par. 3.3.1). In tal caso il problema della liquefazione dinamica dei terreni di fondazione delle opere in progetto non sussiste, ma è opportuno evidenziare che la funzionalità post-sismica delle opere dovrebbe essere valutata tenendo conto della possibile insorgenza di cedimenti del piano di posa delle fondazioni correlati a fenomeni di addensamento dei terreni granulari sopra falda da sciolti a moderatamente addensati.

Condizioni idrauliche significativamente differenti possono, invece, caratterizzare le porzioni del *sito 1* poste a quote altimetriche inferiori e, più in generale, tutte le aree prossime al letto del torrente Trapani. A tal proposito è già stato evidenziato che condizioni idrauliche per le quali il rischio di liquefazione non può essere escluso a priori sono quelle che caratterizzano il *sito 2* (cfr. par. 3.3.2). Inoltre, sebbene la documentazione disponibile non fornisca indicazioni sulle effettive condizioni idrauliche dei *siti 3* e *4*, la loro posizione rispetto al letto del torrente Trapani li pone in situazione potenzialmente analoga a quella del *sito 2*.

Anche in questo caso è, quindi, evidente che queste considerazioni di carattere generale richiedono un approfondimento di indagini finalizzato all'esatta definizione delle condizioni idrauliche dei depositi che, per la natura dei terreni presenti e per la significativa pericolosità sismica che caratterizza l'intera area oggetto dello studio (cfr. par. 3.4.1), possono essere interessati da fenomeni di liquefazione dinamica.

Sulla base di quanto sopra descritto, sebbene non si disponga dei dati necessari all'esecuzione di verifiche di suscettibilità alla liquefazione, si è ritenuto necessario evidenziare alcuni aspetti correlati all'esecuzione di tali verifiche.

In particolare l'attenzione è stata focalizzata sulla valutazione preliminare prevista dal punto 7.11.3.4.2 del D.M. 14.01.08, finalizzata ad individuare possibili motivi di esclusione dalla verifica di suscettibilità alla liquefazione.

Infatti, alcune prime indicazioni sulla necessità o meno di eseguire verifiche di suscettibilità alla liquefazione possono essere ottenute da un'analisi della sismicità di riferimento del sito in esame e da un esame delle caratteristiche geotecniche del deposito in esame.

Per tale scopo la letteratura scientifica mette a disposizione differenti metodologie di carattere speditivo che, sulla base di criteri di tipo empirico derivati dalle esperienze pregresse, consentono, in certe particolari condizioni, di escludere a priori la possibile insorgenza di un fenomeno di liquefazione.

Nelle analisi eseguite in questa sede si è fatto riferimento alle indicazioni fornite a tal proposito dall'Associazione Geotecnica Italiana nelle linee guida riguardanti gli "Aspetti geotecnici della progettazione geotecnica in zona sismica" (A.G.I., 2005).

Sulla base di tali indicazioni si può ritenere che la probabilità che si verifichi la liquefazione è estremamente bassa se si manifesta almeno una delle seguenti circostanze:

- a) l'evento sismico atteso al sito in esame è caratterizzato da una magnitudo di momento M_W inferiore a 5;
- b) le accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni *free-field* sono minori di 0.1g oppure sono minori di 0.15g e, contestualmente, i terreni potenzialmente interessati dal fenomeno della liquefazione hanno caratteristiche ricadenti in una delle tre seguenti categorie:

-
- terreni in cui la frazione di materiale fine FC , corrispondente al passante al setaccio 200 ASTM ($d=0.074$ mm), è superiore al 20% e l'indice di plasticità PI è superiore al 10%;
 - terreni in cui la frazione di materiale fine FC è superiore o pari al 35% e il valore della resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60}$ è superiore a 20;
 - terreni in cui la frazione di materiale fine FC sia inferiore o pari al 5% e il valore della resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60}$ sia superiore a 25;
- c) la curva granulometrica del terreno oggetto della verifica è esterna al fuso individuato dalle due curve granulometriche indicate con tratto in rosso in Figura 3.10a), nel caso di materiale con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$, ed in Figura 3.10b) per $U_c > 3.5$.
- d) la profondità media stagionale della falda sia superiore ai 15 m dal piano campagna.

È opportuno sottolineare che anche il D.M. 14.01.08 fornisce un criterio di esclusione dalla verifica alla liquefazione basato su condizioni che sono in accordo con quelle fornite dalle indicazioni A.G.I. (2005). Il D.M. 14.01.08 indica, infatti, che la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesta almeno una delle seguenti circostanze:

- 1) eventi sismici attesi di magnitudo inferiore a 5;
- 2) accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1g;
- 3) profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- 4) depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ e $q_{c1N} > 18$ essendo q_{c1N} la resistenza determinata in prove penetrometriche statiche CPT normalizzate ad una tensione verticale efficace di 100 kPa;
- 5) distribuzione granulometrica esterna al fuso granulometrico individuato dalle due curve in rosso in Figura 3.10a), per $U_c < 3.5$, ed in Figura 3.10b) per $U_c > 3.5$.

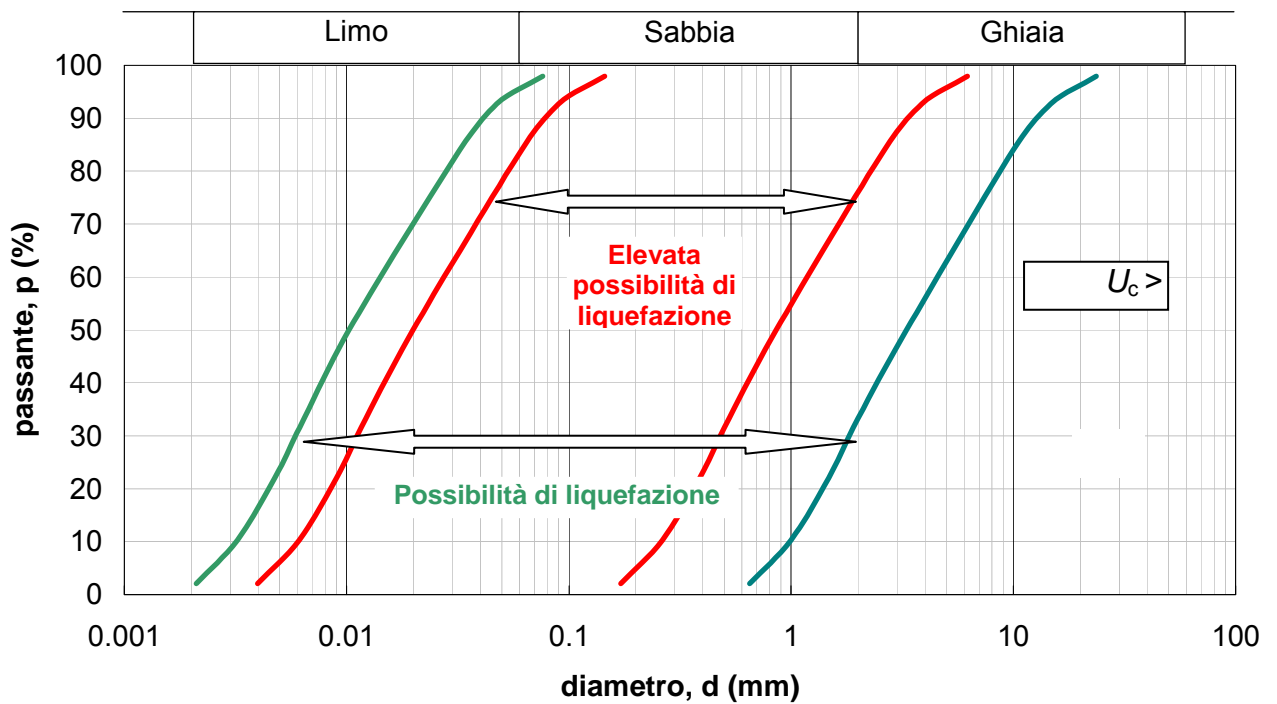
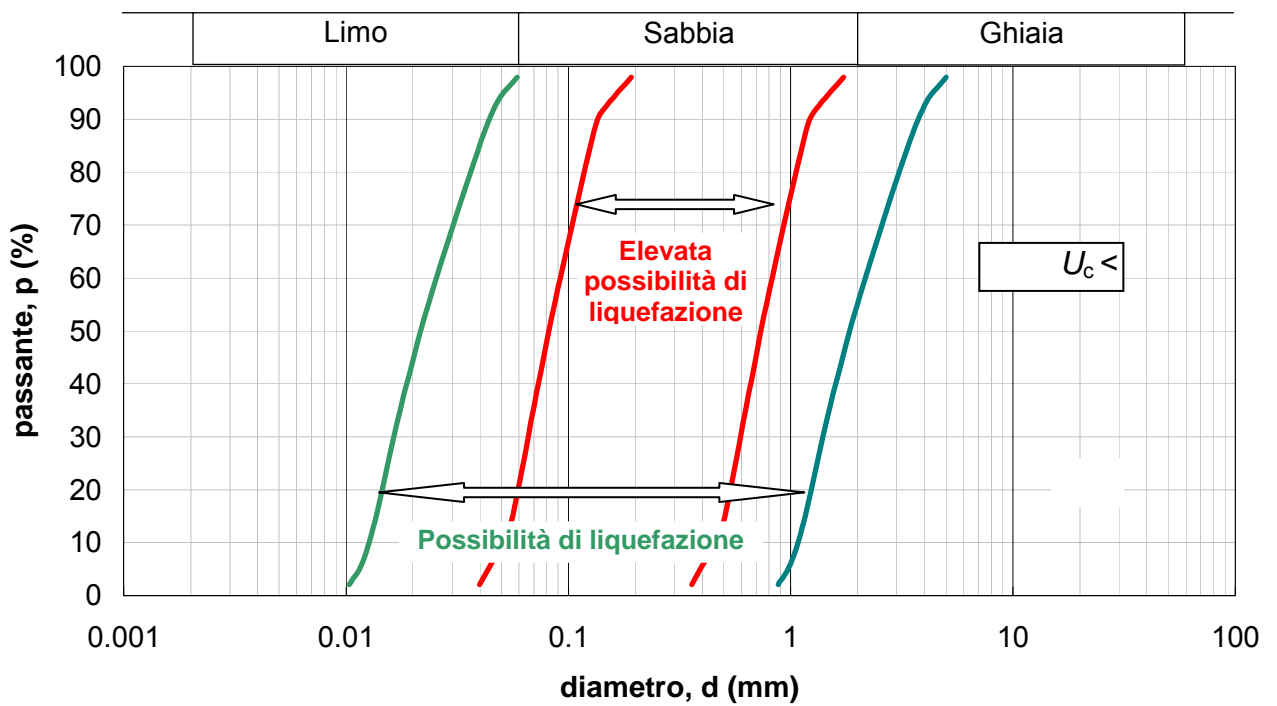


Figura 3.10 – Fusi granulometrici per la valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione (A.G.I., 2005).

Con riferimento all'area in esame, l'esiguità dei dati relativi alle prove penetrometriche statiche effettuate nell'ambito delle differenti campagne di indagini, insieme alle poche indicazioni sulla granulometria dei terreni interessati dalla verifica, implicano che le uniche valutazioni possibili in merito alle condizioni di esclusione del rischio di liquefazione sono quelle riguardanti l'entità delle azioni sismiche di riferimento e le condizioni idrauliche del sito.

Per le aree oggetto dello studio:

- a) le azioni sismiche di riferimento per le verifiche allo *SLV*, valutate sulla base delle mappe di pericolosità sismica del territorio Italiano redatte dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), sono certamente caratterizzate da valori della massima accelerazione sismica orizzontale al piano campagna superiori a 0.10 g (cfr. par. 3.4);
- b) alcune analisi dei dati sulla sismicità storica relativa alla città di Messina (cfr. par. 3.4.1) evidenziano che, per molti degli eventi sismici che hanno interessato la zona sismogenetica in cui ricade il sito in esame, i valori stimati della magnitudo sono stati spesso superiori a 5.5 e che i valori della magnitudo di riferimento per le verifiche allo *SLV* sono certamente superiori a 5.5;
- c) la profondità del pelo libero della falda rispetto al piano campagna potrebbe essere certamente inferiore a 15 m per molte delle aree poste in prossimità del letto del torrente Trapani.

Sulla base di queste considerazioni, può affermarsi che non sussistono i presupposti per escludere a priori la possibile insorgenza di un fenomeno di liquefazione nelle zone oggetto dello studio. Pertanto, si ritiene indispensabile che qualunque valutazione finalizzata alla fattibilità di interventi edilizi nell'area oggetto dello studio sia accompagnata da un'accurata valutazione del rischio di liquefazione basata su risultati di specifiche indagini geotecniche.

3.5.2. Stabilità dei pendii

Nella descrizione dei cinque siti oggetto dello studio è stato evidenziato che la topografia delle diverse aree risulta spesso caratterizzata da zone in pendio aventi pendenze non trascurabili, alcune volte superiori ai 30°.

L'analisi della documentazione disponibile ha poi messo in evidenza che alcuni degli interventi edilizi in progetto prevedono la realizzazione di importanti operazioni di sbancamento che daranno luogo a fronti di scavo di altezza considerevole e, in alcuni casi, richiederanno la realizzazione di importanti opere di sostegno delle terre.

Nonostante ciò, nessuno degli elaborati facenti parte della documentazione di riferimento per lo studio riporta risultati di analisi di stabilità dei pendii e dei fronti di scavo, né con riferimento allo stato di fatto né con riferimento allo stato di progetto.

Tuttavia, nell'ambito dello studio sulla risposta di un sito alle sollecitazioni sismiche, l'analisi delle condizioni di stabilità dei pendii naturali e degli eventuali fronti di scavo artificiali riveste un'importanza cruciale, soprattutto nei casi di pendii ubicati in area urbana e/o interessati da importanti interventi edilizi. Le esperienze maturate in campo nazionale ed internazionale mostrano, infatti, che tra gli effetti secondari indotti dai terremoti sul territorio, una porzione significativa dei danni è attribuibile ai fenomeni di instabilità che si possono verificare nei pendii durante e/o dopo il sisma.

Le condizioni di stabilità sismica dei pendii sono correlate sia alle caratteristiche del pendio che a quelle dell'evento sismico. Le caratteristiche del pendio includono le condizioni stratigrafiche e la geometria, il regime delle pressioni interstiziali, la natura granulare o coesiva dei terreni, la storia di carico pregressa e lo stato tensionale nella fase precedente il terremoto e, infine, le proprietà meccaniche di rigidità, resistenza e smorzamento. L'azione sismica è in generale caratterizzata da ampiezza, durata e contenuto in frequenza del moto che dipendono dalla magnitudo del sisma, dal meccanismo di sorgente, dalla distanza del sito dall'ipocentro, dalle caratteristiche di rigidità e smorzamento dei terreni attraversati dalle onde sismiche nella propagazione dal substrato rigido (*bedrock*) al piano di campagna e dalla geometria di quest'ultimo.

Per i siti oggetto dello studio non si dispongono di informazioni sufficienti all'esecuzione di una completa analisi di stabilità sismica, pertanto, valutazioni di questo genere si rimandano ad una fase più avanzata dello studio corredata dai risultati di opportune indagini geotecniche.

3.6. Considerazioni conclusive sugli aspetti geotecnici

Le considerazioni di maggiore rilievo che riguardano gli aspetti geotecnici dello studio effettuato sono sintetizzate nel seguito.

La documentazione resa disponibile dall'Amministrazione Comunale di Messina consta di studi di carattere geologico, a volte preliminari, corredati, in alcuni casi, da risultati di campagne di indagini geotecniche. La revisione di tale documentazione ha consentito di definire un quadro unitario delle caratteristiche geotecniche dei terreni che interessano l'area denominata *sito 1* mentre i dati relativi agli altri siti esaminati non sono risultati sufficienti a tale scopo. Ciononostante, alcune conclusioni dello studio cui si è giunti possono essere estese anche agli altri siti che ricadono nell'area del Torrente Trapani.

Le problematiche di carattere geotecnico che sono emerse riguardano la pericolosità sismica di base dell'area del Torrente Trapani, per la quale le azioni sismiche su sito di riferimento sono estremamente elevate, ed i potenziali effetti di sito individuati, prevalentemente, in effetti stratigrafici ed effetti topografici.

Relativamente al *sito 1*, oggetto di maggiore approfondimento, lo studio ha evidenziato che le condizioni stratigrafiche e topografiche fanno ipotizzare importanti fenomeni di amplificazione sismica locale correlate sia alla successione stratigrafica che caratterizza il sito sia alla sua particolare morfologia.

Per entrambi tali aspetti sono state effettuate valutazioni di carattere semplificato, compatibili con il grado di approfondimento dei dati geotecnici disponibili. Le analisi hanno evidenziato che la particolare geometria del rilievo collinare che caratterizza la morfologia del *sito 1* insieme alla complessa geometria dei contatti stratigrafici evidenziata negli studi geologici resi disponibili dall'Amministrazione Comunale, possono dare luogo ad elevati valori delle accelerazioni sismiche orizzontali da tenere in debito conto sia nella verifica di stabilità sismica del pendio che caratterizza il rilievo collinare che nel progetto delle opere che sul sito si intende realizzare.

La documentazione disponibile per lo studio non ha consentito di definire in maniera esaustiva le condizioni idrauliche dei vari siti esaminati. L'esiguità dei dati disponibili con riferimento alle curve granulometriche ed al grado di addensamento dei terreni granulari che caratterizzano buona parte dell'area oggetto di studio, non hanno reso possibile l'effettuazione di approfondite analisi mirate alla valutazione

della suscettibilità alla liquefazione. Tuttavia, alcune delle indicazioni desunte dagli studi geologici esaminati, insieme ad un'analisi dei motivi di esclusione della verifica dalla liquefazione, condotta secondo le prescrizioni del D.M. 14.01.08, hanno evidenziato che non sussistono i presupposti per escludere a priori la possibile insorgenza di fenomeni di liquefazione dinamica in alcune delle aree oggetto dello studio. Per contro, le elevate azioni sismiche di riferimento per l'area in esame, insieme all'estrema eterogeneità dei depositi di terreno, che è emersa dalla revisione della documentazione disponibile per molte delle aree esaminate, fanno ipotizzare valori del potenziale di liquefazione dei depositi elevati.

In particolare, si ritiene indispensabile che la valutazione della fattibilità di interventi edilizi nell'area oggetto dello studio sia accompagnata da un'accurata caratterizzazione geotecnica dei terreni effettuata attraverso campagne di indagini geotecniche, comprendenti indagini in sito ed in laboratorio, che consentano di individuare con chiarezza le successioni stratigrafiche, le proprietà fisico-meccaniche dei terreni, le condizioni idrauliche del sito e la posizione di formazioni di base assimilabili ad un *bedrock*. Tali indagini in numero ed estensione devono essere commisurate con le dimensioni delle opere in progetto e con le dimensioni dei sistemi geotecnici che devono essere esaminati e devono fornire gli elementi necessari per la valutazione dalla risposta sismica locale e delle condizioni di stabilità sismica del sito da costruzione rispetto a potenziali fenomeni di liquefazione e a fenomeni di instabilità del pendio.

3.7. Riferimenti bibliografici

A.G.I. (2005). *Aspetti geotecnici della progettazione geotecnica in zona sismica. Linee Guida*. Edizione provvisoria Marzo 2005. Patron Bologna, Editore.

ANDRONACO S. (2008). *Relazione Geologica*. Programma costruttivo in località Torrente Trapani denominato P.C.'Violi' ai sensi dell'art. 16 della L.R. 71/78 e dell'art. 25 L.R. 22/96.

AUSILIO E., SILVESTRI F., TRONCONE A., TROPEANO G. (2007). *Seismic displacement analysis of homogeneous slopes: a review of existing simplified methods with reference to Italian seismicity*. 4th ICEGE, Thessaloniki, June 25-28, 2007, ID 1614.

BARATTA M. (1910). *La catastrofe sismica Calabro-Messinese (28 dicembre 1908)*. Società Geografica Italiana, Roma 1910.

BILLI A., FUNICIELLO F., MINELLI L., FACCENNA C., NERI G., ORECCHIO B., PRESTI D. (2008). *Lo tsunami di Messina del 1908*. In «Darwin», n. 27, 2008

BIONDI G., CACCIOLA P., CASCONI E. (2009). *Evaluation of amplification factors of soft soils through seismic response analyses*. International Conference on Performance-Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering—from case history to practice, 15-18 June, 2009

BOTTARI A., CARAPEZZA E., CARAPEZZA M., CARVENI P., CEFALI F., LO GIUDICE E., PANDOLFO C. (1986). The 1908 Messina Straits earthquake in the regional geosstructural framework. *J. Geodynamics*, 5, 275-302

CHANG, W. S., BRAY, J. D., GOOKIN, W. B., and RIEMER, M. F. (1997). *Seismic Response Of Deep Stiff Soil Deposits in the Los Angeles, California Area During The 1994 Northridge Earthquake.*, Geotechnical Research Report No. UCB/GT/97- 01, University of California, Berkeley.

D.M. 14.01.2008. Ministero delle Infrastrutture (2008). *Norme Tecniche per le Costruzioni*. S.O. n. 30 G.U. 04.02.2008, No. 29.

DI FILIPPO G. BIONDI G. MAUGERI M. (2011). 1-D non-linear seismic response analysis of category C soil deposits according to Italian Seismic code. Atti del XIV Convegno Nazionale ANIDIS, 'L'ingegneria sismica in Italia', Bari, 18-22 Settembre 2011.

DOLFIN S. (2007). *Relazione Geologico-Tecnica*. Programma Costruttivo per la realizzazione di alloggi di edilizia convenzionata in località Torrente Trapani a Messina approvato D.R. n.1048 del 19709/03 – Il Lotto Residenziale Corpo C.

GUERRICCHIO A., BIAMONTE V., MASTROMATTEI R., PONTE M. (2008). *Deformazioni gravitative di versante e frane da liquefazione indotte nel territorio di Polistena - Cinquefrondi dal terremoto delle Calabrie del 1783*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., LXXVIII (2008), pp. 127-144.

IDRISS I.M. (1990). *Response of soft soil sites during earthquakes*. Proc. H.B. Seed Memorial Symposium, BiTech Publishers, Vancouver, Vol. 2 pp. 273-289.

ISSMFE-TC4 (1999). *Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards*. The Japanese Society of Soil Mechanics and Foundations Engineering, 14 pp.

MONACO S. (2005). *Indagini geognostiche, geofisiche e prove di laboratorio. Relazione Tecnica*. Lavori di Costruzione del Centro Commerciale all'interno del complesso 'La Residenza', Torrente Trapani, Messina.

PAGLIAROLI A. (2006). Studio numerico e sperimentale dei fenomeni di amplificazione sismica locale di rilievi isolati. Tesi di dottorato in Ingegneria Geotecnica. Università La Sapienza Roma

PINO, N. A., GIARDINI, D., BOSCHI, E. (2000). The December 28, 1908, Messina Straits, southern Italy, earthquake: Waveform modelling of regional seismographs. *Journal of Geophysical Research* 105(B11):25473– 25492.

ROSSI B. (2010). *Relazione Geologica e note geotecniche*. Progetto per la costruzione di un complesso edilizio residenziale in Messina – Viale R. Margherita Torrente Trapani.

RUBINO F. (2001). *Relazione Geologica Preliminare*. Programma costruttivo in località Trapani – Messina. RUBINO F. (2001). *Relazione Geologica Preliminare. Nota esplicativa*. Programma costruttivo in località Trapani – Messina.

SANCHEZ-SESMA F. J. (1990). Elementary solutions for response of a wedge-shaped medium to incident SH and SV waves. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 80: 737-742.

SCHIAVONE V. (2001). *Relazione Geomorfologica*. Programma Costruttivo per la realizzazione di alloggi di edilizia convenzionata in località Torrente Trapani.

SCHIAVONE V. (2003). *Relazione Geologico-Tecnica ed Indagini Geognostiche*. Progetto per la realizzazione di alloggi di edilizia convenzionata, in località Torrente Trapani del Comune di Messina.

SCHIAVONE V. (2004). *Nota integrativa alla Relazione Geologico-Tecnica*. Progetto per la realizzazione di alloggi di edilizia convenzionata, in località Torrente Trapani del Comune di Messina.

TRAINITI S.M. (2010). *Studio Geologico Integrativo – Relazione Geologica*. Progetto per la realizzazione di un complesso residenziale e commerciale da sorgere in Messina – C.da Torrente Trapani.

4. ASPETTI IDRAULICI

4.1. Premessa

L'incarico affidato dal Comune di Messina al D.I.C. relativamente alla vallata del torrente Trapani ad ovest del viale Regina Margherita prevede, relativamente agli aspetti idraulici, un'analisi dei possibili rischi derivati da fenomeni "estremi" di tipo idraulico – idrologico che in una fase preliminare dello studio si pensava fossero limitati a quelli legati all'erosione superficiale. Per questi motivi gli obiettivi dello studio, come richiamato in premessa erano di:

- la localizzare i versanti più esposti ai fenomeni erosivi superficiali;
- quantificare la produzione di sedimenti da questi versanti
- definire gli interventi di controllo dell'erosione superficiale e del trasporto dei sedimenti prodotti.

Negli sviluppi dello studio suddetto si è però riconosciuto che altri problemi di carattere idraulico, potenzialmente forieri di situazioni di pericolosità e rischio, sono presenti nell'area. Per ciò si è proceduto ad uno studio più articolato sulla risposta idraulica dell'intero bacino del torrente Trapani, del suo reticolo idrografico in particolare soprattutto alla luce delle modificazioni che parti del bacino stanno in atto subendo e che potranno ancora subire in futuro.

La particolarità, difatti, di questo tipo di bacini (invero non relativo al solo torrente Trapani, ma riscontrabile in tutti i corsi d'acqua che ricadono nel territorio del comune di Messina e non solo) risiede nel fatto che essi presentano allo stesso tempo caratteristiche di bacini "naturali" e bacini "urbani", intendendo con il primo caso i bacini nei quali le aree permeabili (suoli, coperture vegetali, ecc.) sono preponderanti rispetto alle aree impermeabili (strade, zone edificate, insediamenti abitativi, ecc..) e viceversa nel secondo caso. Questo tipo di bacini (definiti nella letteratura scientifica con il termine "periurbani") mostrano una notevole fragilità e mutevolezza del loro comportamento idraulico quando i rapporti tra le aree naturali e quelle urbane si modificano (quasi sempre a vantaggio dell'estensione delle aree impermeabili). Il risultato finale di questi cambiamenti può essere quello di un incremento delle condizioni di rischio o, in generale, del verificarsi di fenomeni idraulici parossistici che richiedono approcci ingegneristici specifici.

4.2. Caratterizzazione dell'area

Il bacino del torrente Trapani ricade per intero all'interno del territorio comunale di Messina e si estende per una superficie di circa 1 km² alla sezione di chiusura alla foce localizzata lungo la costa ionica nel centro urbano di Messina.

Ai fini del presente studio, però, si è presa in considerazione soltanto una parte dell'intero bacino (*sottobacino*) ed in particolare quella con sezione di chiusura, localizzata circa 1 km a monte della foce, in corrispondenza dell'intersezione tra il tratto tombato dell'asta principale del torrente con il Viale Regina Margherita (Figura 4.1).

Questo sottobacino si estende per una superficie di 0.838 km² e presenta una forma pressoché rettangolare, quasi nastriforme e reticolo idrografico poco sviluppato con un bassi valori di ordine gerarchico Hortoniano. L'asta idrografica principale ha una lunghezza di circa 2.3 km, con una pendenza media intorno al 14%. Nella parte collinare alta si raggiunge la quota massima di 371.6 m.s.m mentre la quota della sezione di chiusura è a circa 48.0 m.s.m.

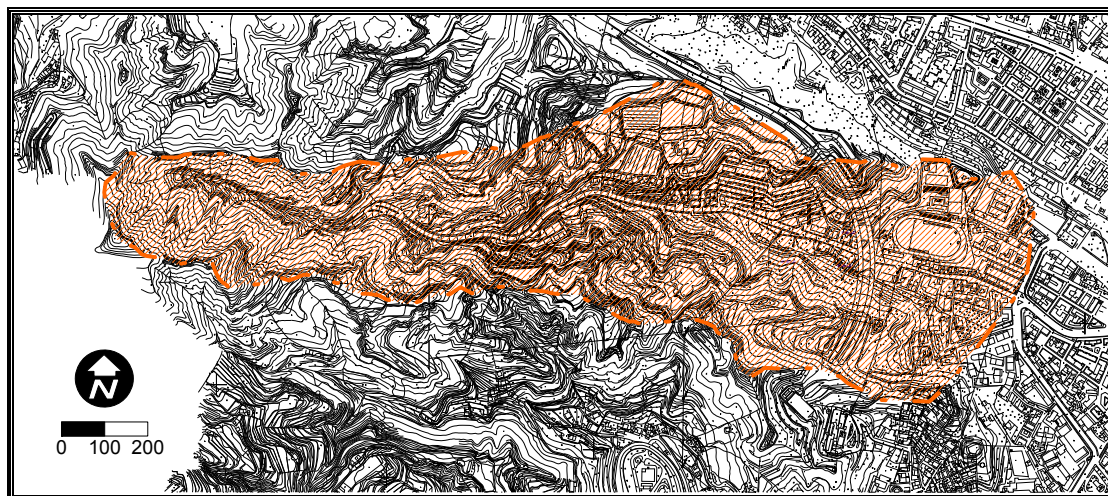


Figura 4.1 - Corografia del bacino del Torrente Trapani

Il sottobacino presenta le classiche caratteristiche di bacino periurbano riconoscendosi al suo interno parti "naturali", parti fortemente urbanizzate e/o edificate, tratti di reticolo idrografico naturali e tratti di reticolo idrografico "artificiali" (essenzialmente risagomati e tombati). Come richiamato in premessa, i fenomeni idraulici e idrologici sono sostanzialmente differenti tra l'una e l'altra tipologia e, di conseguenza, saranno differenti gli approcci tecnico-ingegneristici da implementare

per la gestione delle problematiche che possono manifestarsi in occasione del verificarsi di questi fenomeni.

Per questo motivo nel prosieguo dello studio si farà riferimento, non all'intero sottobacino chiuso a Viale Regina Margherita bensì a due suoi sottobacini con caratteristiche ben distinte: (i) un primo sottobacino "naturale", identificato come "Trapani alto" e (ii) un secondo sottobacino "urbanizzato", identificato come "Trapani basso". Nella Figura 4.2 questi due sottobacini sono riportati con diverse colorazioni ("Trapani alto" di colore ciano e "Trapani basso" di colore magenta).

Il "confine" tra le due parti così definite si può porre in corrispondenza della sezione fluviale dove si ha il passaggio dal reticolo naturale al reticolo artificiale. Questo passaggio è segnato dalla presenza dell'imbocco del tratto tombato del T. Trapani (cerchiato in rosso nella Figura 4.2 e mostrato in dettaglio nella foto 4.1).

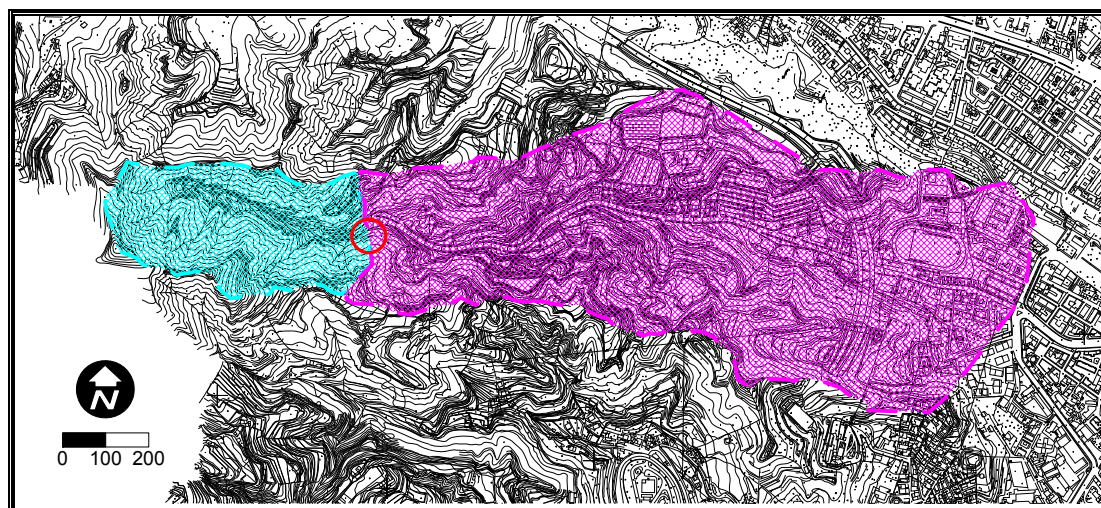


Figura 4.2 - Corografia dei sottobacini "Trapani alto" e "Trapani basso"



Foto 4.1 – Vista da monte dell'imbocco del tratto tombato

Nella tabella seguente sono riportati i principali parametri morfometrici dei due sottobacini così individuati.

Tabella 4.1 – Parametri morfometrici dei sottobacini “Trapani alto” e “Trapani basso”

	Sottobacino “Trapani alto”	Sottobacino “Trapani basso”
Area totale (km²)	0.149	0.689
Quota sez. chiusura (m.s.m.)	175.3	38.0
Quota massima (m.s.m.)	371.6	242.0
Lunghezza asta (m)	682.5	1678.8
Pendenza media (%)	28.8	12.2

4.3. Individuazione delle criticità idrauliche

Per procedere alle valutazioni di rischio e pericolosità idraulica dell'area in studio, così come richiesto dall'incarico, il primo passo è stato di procedere al riconoscimento preliminare delle criticità idrauliche operando in maniera separata per i due sottobacini viste le loro differenti peculiarità. Questo tipo di approccio si è mantenuto per lo svolgimento dell'intero studio idraulico per cui tutte le analisi successive verranno sviluppate diversamente per i due sottobacini.

Per ovvie considerazioni attinenti l'argomento dell'incarico, nell'individuazione e nel riconoscimento delle possibili criticità si è posta l'attenzione solo su quelle i cui effetti si risentono, in vario modo, sia sulla vulnerabilità fisica degli insediamenti che insistono sulla Via Torrente Trapani sia sulla sua funzionalità trasportistica come in dettaglio sarà sviluppato nelle parti dello studio dedicate agli aspetti connessi alla mobilità.

La via Torrente Trapani (Fig.3) è stata ricavata con la copertura dell'alveo omonimo che continua comunque a scorrere sotto l'attuale sede stradale in un collettore il cui imbocco è proprio quello mostrato nella Foto 1 e che è stato scelto come “punto di discontinuità” per i due sottobacini.

Il collettore, di recente progettazione, ha sezione rettangolare in calcestruzzo di 2.00 m x 2.70 m con una pendenza media del 18% ed ha il compito di raccogliere sia le acque provenienti dal sottobacino “Trapani alto” veicolate dal reticolo naturale sia le acque provenienti dal sottobacino “Trapani basso” che dai versanti e dai rami

del reticolo minore non possono più raggiungere l'alveo naturale a causa della sua copertura ma scorrono sulla sede stradale.



Figura 4.3 – Percorso della Via Torrente Trapani

Il sottobacino “Trapani alto”

Per quanto prima descritto il sottobacino “Trapani alto” l'unico punto di **criticità idraulica** è costituito **dall'imbocco del collettore** nel quale vengono convogliate le acque provenienti dal reticolo idrografico naturale di monte.

Dall'esame della Foto 1 si vede come il suddetto imbocco costituisca un restringimento della sezione fluviale naturale con inevitabile formazione di rigurgiti delle correnti idriche in arrivo da monte. L'innalzamento della corrente a tergo dell'imbocco potrebbe quindi causare una tracimazione dei volumi idrici che finirebbero per riversarsi sulla sede stradale della via Torrente Trapani percorrendola ad alta velocità (viste le elevate pendenze) trascinando nel contempo notevoli quantità di materiale solido (*correnti iperconcentrate*).

L'analisi qui condotta, viste le suddette premesse, è stata **una verifica idraulica dell'imbocco e del canale collettore per un tratto sufficientemente lungo a valle dell'imbocco stesso. La verifica ha permesso di valutare quale sia la massima portata transitabile attraverso il collettore senza che si abbiano tracimazioni di volumi (a meno di un opportuno franco di sicurezza).**

Il sottobacino “Trapani basso”

Nel caso del sottobacino “Trapani basso” il riconoscimento delle criticità idrauliche ha richiesto delle analisi più approfondite a causa della loro maggiore complessità e diversificazione.

Difatti, è proprio in questo sottobacino che sono previsti quegli interventi di urbanizzazione ed edificazione diffusa che potrebbero avere effetti sulla sua risposta idraulica e idrologica e per l'analisi dei quali è stato richiesto questo studio. In pratica, l'aumento delle superfici impermeabilizzate potrebbe portare ad un incremento delle portate al colmo come risultato sia dell'incremento dei coefficienti di afflusso sia della riduzione dei tempi di concentrazione (corrivazione). Proprio per queste considerazioni, nelle successive analisi si farà riferimento a due scenari specifici differenziati in base al rapporto tra le superfici permeabili ed impermeabili del bacino: (a) uno scenario **attuale** rappresentativo delle attuali condizioni del bacino e (b) uno scenario **futuro** rappresentativo degli interventi edilizi già realizzati, in corso di realizzazione o in progetto nell'area del "Trapani basso".

Per l'analisi di tali scenari sono stati considerati sette differenti siti nei quali sono previsti interventi edilizi a medio, breve termine o in corso, come indicato dal Committente. I sette siti sono tutti ubicati in prossimità della via Torrente Trapani. In particolare, cinque di essi (*siti 1, 2, 4a, 4b e 6*) si trovano nella porzione più a monte, ad ovest del viadotto del tracciato dell'autostrada A20 Messina-Palermo mentre due di essi (*sito 5a e 5b*) si trovano, invece, immediatamente a valle del viadotto. L'esatta ubicazione dei cinque siti oggetto di studio è mostrata in Figura 4.4 mentre in Tabella 4.2 sono riportate le loro estensioni.



Figura 4.4 – Localizzazione dei siti interessati da interventi edilizi

	Sito 1	Sito 2	Sito 4a	Sito 4b	Sito 5a	Sito 5b	Sito 6
Area (km²)	0.0126	0.0634	0.0135	0.0041	0.0158	0.0024	0.0035

Tabella 4.2 – Estensioni dei siti interessati da interventi edilizi

Le analisi condotte sono state quindi indirizzate a valutare l'incremento delle portate di picco a seguito dei nuovi interventi edilizi e a verificare il corretto convogliamento di queste portate all'interno del collettore sotto strada tramite i manufatti di collegamento idraulico con la sede stradale (caditoie, **griglie, ecc.**).

Inoltre, un altro elemento di criticità idraulica è rappresentato dall'esistenza di un'area soggetta a forte erosione idrica superficiale. La sua localizzazione all'interno del sottobacino è indicata in Figura 4.5.



Figura 4.5 – Localizzazione dell'area soggetta ad erosione



Foto 4.2 – Particolare dei versanti in erosione

L'area ha un'estensione di circa 1.4 ha, localizzata su un versante in sinistra idraulica del torrente Trapani (nel tratto coperto) e presenta condizioni di avanzata erosione idrica superficiale (foto 4.2) dovute essenzialmente ad una situazione di suolo denudato con circolazione idrica superficiale disordinata. L'elemento di criticità risiede nel fatto che i volumi solidi distaccati dal ruscellamento superficiale vengono recapitati direttamente sulla sede stradale (Foto 4.3) dove le correnti idriche provvedono a trasportarli verso valle causando accumuli localizzati ed intasamenti delle caditoie stradali (Foto 4.4). Si tratta, in pratica, di fenomeni di micro-colate detritico fangose che sotto opportune condizioni potrebbero creare dei problemi sia agli insediamenti abitativi a quota strada sia alla circolazione dei veicoli sulla via Torrente Trapani.



Foto 4.3 – Particolare punto immissione sedimenti su sede stradale



Foto 4.4 – Particolare caditoia sulla via T. Trapani occlusa dai sedimenti

Le analisi condotte sono state quindi mirate stimare i volumi solidi (produzione di sedimenti) dall'area suddetta in modo da poter definire eventuali interventi di controllo e mitigazione del rischio erosivo.

4.4. Valutazione delle forzanti idrologiche e idrauliche

La fase idrologica è consistita, essenzialmente, nella determinazione degli idrogrammi di piena per fissato tempo di ritorno da utilizzare, poi, come forzanti di calcolo per le successive analisi idrauliche. Data la mancanza di dati idrometrici nell'area in studio è stato utilizzato un metodo di calcolo di tipo indiretto basato sull'analisi statistica delle osservazioni pluviografiche (curve di probabilità pluviometriche) relative al bacino idrografico sotteso dalla sezione di interesse e sull'impiego di modelli di trasformazione afflussi-deflussi.

Analisi piogge intense

La determinazione delle curve di probabilità pluviometrica d'assegnato tempo di ritorno, che forniscono il valore del volume totale cumulato della massima pioggia probabile per fissata durata, dalle quali determinare, quindi, l'intensità di pioggia media in corrispondenza del tempo di corrivazione del bacino, si è basata sull'elaborazione statistica delle altezze di pioggia di massima intensità registrate dalle stazioni pluviografiche ricadenti nell'area in esame con un significativo numero di anni di funzionamento.

Per ricavare le curve di probabilità pluviometrica (CPP) d'assegnato tempo di ritorno, sono stati analizzati i dati storici di massime altezze per fissata durata registrati alla stazione pluviometrica di Camaro che si trova geograficamente vicina al sito in studio e che presenta un numero elevato di anni di funzionamento (N =52).

Ai fini dell'analisi pluviometrica sono state scelte tre diverse distribuzioni di probabilità:

- la distribuzione di probabilità di Gumbel (EV1), nella sua formulazione scala invariante, molto diffusa in campo tecnico quando applicato all'analisi dei massimi annuali delle altezze di pioggia.
- la distribuzione di probabilità TCEV (Two Components Extreme Value distribution), proposta su scala nazionale dal progetto VAPI del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) per l'analisi delle

piogge estreme in Italia, e che può essere considerata una generalizzazione del modello di Gumbel.

- la distribuzione di probabilità GEV (Generalized Extreme Value distribution), introdotta da Jenkinson nel 1995, nella sua formulazione scala invariante.
- le curve di probabilità pluviometrica sono state ottenute considerando una formulazione scala invariante sulle durate. Tale formulazione permette di effettuare le analisi sulla base di un campione di dati molto più consistente consentendo, quindi, di ottenere risultati statisticamente più robusti rispetto alle formulazioni classiche.

Difatti, seguendo la formulazione scala invariante, la scelta della più opportuna distribuzione di probabilità per la caratterizzazione dei dati appartenenti ad una stazione, viene effettuata non più su un campione di piogge di consistenza N , pari al numero totale di anni di funzionamento della stazione in analisi, ma sulla base di una variabile normalizzata W a media unitaria ($E[W] = 1$) che si ottiene dal campione dei dati di pioggia massima annuale normalizzati rispetto alla relativa media per ogni durata. Essendo il numero di durate di riferimento pari a 5 (1, 3, 6, 12 e 24 ore), ne seguirà che la consistenza del nuovo campione di dati sarà pari a $5N$.

In forma generalizzata, una CPP in formulazione scala invariante può essere scritta nella seguente forma:

$$h_{t,T} = w_T \cdot a_1 \cdot t^n \quad (1)$$

in cui $h_{t,T}$ rappresenta l'altezza di pioggia di durata t e tempo di ritorno T , n rappresenta l'esponente di scala con cui la variabilità del fenomeno si trasmette dalla scala temporale di riferimento alle altre scale temporali, $a_1 = E[H(1)]$ rappresenta il coefficiente di scala della CPP, pari al valore atteso dell'altezza di pioggia massima annuale H per la durata unitaria di riferimento, w_T è, infine, il coefficiente di crescita che dipende dal tempo di ritorno T e dalla distribuzione di probabilità scelta per rappresentare la variabile normalizzata w .

Il ragguglio spaziale delle medie storiche dei massimi dei diversi campioni ha consentito di derivare i parametri a_1 ed n . I valori ottenuti sono pari a **39.3 mm per a_1** e **0.297 per n** .

Sul campione di dati così ottenuto è stata condotta un'analisi statistica utilizzando le suddette distribuzioni di probabilità in formulazione scala invariante e derivando le curve di probabilità pluviometrica riportate in Figura 4.6.

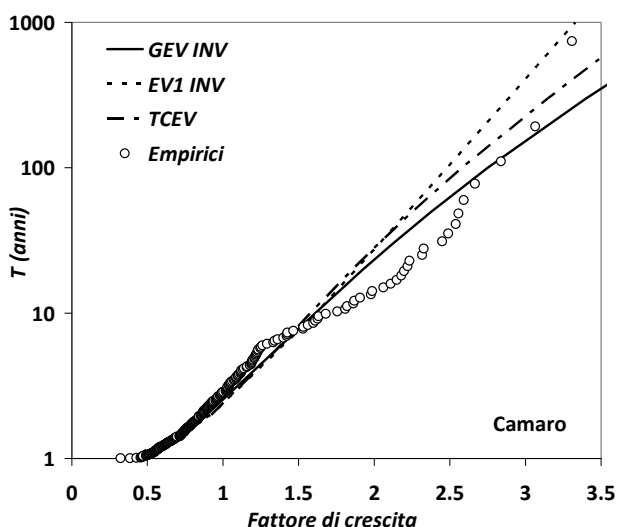


Figura 4.6 - Curve di probabilità pluviometrica in forma scala invariante

L'analisi grafica di Figura 4.6, supportata dai risultati dell'applicazione del test di Kolmogorov-Smirnov per il campione in esame con livello di significatività del test pari 0.05 (Tabella 4.3), hanno mostrato come la GEV sia la distribuzione di probabilità più appropriata per caratterizzare il campione di dati analizzato.

Distribuzione	$d = \max F(x)-P(x)$	$D_{N,\alpha}$	Test: $d \leq D_{N,\alpha}$
GEV	0.024	0.069	VERIFICATO
EV1	0.079	0.069	NON VERIFICATO
TCEV	0.103	0.069	NON VERIFICATO

Tabella 4.3 - Test di Kolmogorov-Smirnov

Per la formulazione GEV scala invariante, il fattore di crescita per fissato tempo di ritorno è dato dalla seguente espressione:

$$w_T = u + \frac{\alpha}{k} \left[1 - \left(\ln \frac{T}{T-1} \right)^k \right] \quad (2)$$

dove i valori dei parametri caratteristici α , u , e k , sono stati stimati attraverso il metodo degli L -momenti.

α	u	k
0.327	0.770	-0.115

Tabella 4.4 - Parametri della GEV scala invariante

Tali parametri consentono di definire completamente la CPP per ciascun tempo di ritorno considerato e di calcolare, in definitiva, le altezze critiche di precipitazione lorda di assegnato tempo di ritorno T per qualunque durata.

Poiché non sono disponibili serie significative di precipitazioni di massima intensità e durata inferiore ad una ora si è scelto di considerare per il calcolo delle altezze di pioggia per durate sub-orarie, la seguente relazione specifica per i piccoli bacini siciliani:

$$h_{t,T} = 0.208 \cdot h_{60,T} \cdot t^{0.386} \quad (3)$$

che presuppone che il rapporto tra l'altezza di pioggia $h_{t,T}$ con t minore di 60 minuti e l'altezza di pioggia $h_{60,T}$ di durata 60' e pari tempo di ritorno T sia dipendente solo dalla durata t espressa in minuti.

Calcolo delle portate al colmo di piena

Data la piccola estensione dei bacini oggetto di studio, per la determinazione degli idrogrammi di piena liquida, è stata utilizzata la classica formula razionale in base alla quale la portata massima $Q_{max}(t_c, T)$ si ottiene per una durata della pioggia pari al tempo di corrivazione del bacino ed è valutabile come segue:

$$Q_{max}(t_c, T) = i_e(t_c, T) \cdot A \quad (4)$$

dove t_c rappresenta il tempo di corrivazione del bacino, $i_e(t_c, T)$ rappresenta l'intensità critica effettiva di assegnato tempo di ritorno T , ovvero il volume di pioggia che produce deflusso sul bacino al netto dalle perdite per infiltrazione, per intercettazione da parte della vegetazione, per accumulo nelle depressioni superficiali e per saturazione iniziale del terreno per un evento di durata pari al tempo di corrivazione, ed A è l'area totale del bacino. L'idrogramma di piena corrispondente ha forma triangolare centrata con tempo di base pari al doppio del tempo di corrivazione.

La determinazione dell'intensità di pioggia critica, cioè dell'intensità costante di quella pioggia, supposta uniformemente distribuita sul bacino, che determina la portata massima nell'idrogramma di piena di tempo di ritorno T , è possibile previa conoscenza del tempo di corrivazione relativo alla sezione di chiusura del bacino.

I tempi di corrivazione t_c , sono stati valutati con la formula della falda piana:

$$t_c = \frac{L^{0.6}}{k_s^{0.6} \cdot s^{0.3} \cdot i(t_c, T)^{0.4}} \quad (5)$$

dove L [m] è la lunghezza dell'asta principale, k_s [$m^{1/3}/s$] la scabrezza idraulica secondo Strickler, s [m/m] la pendenza media ed i [m/s] l'intensità critica lorda della pioggia.

L (m)	k_s	s
682	30	0.288

Tabella 4.5 - Parametri utilizzati per il calcolo di t_c per il sottobacino "Trapani alto"

Per la trasformazione delle piogge lorde in piogge efficaci si sono utilizzati due metodi differenti per i due sottobacini date la loro diversa caratterizzazione idrologica.

Per il sottobacino "Trapani alto" il metodo qui adottato è quello proposto nel 1972 dal Soil Conservation Service – US Department of Agriculture, noto come metodo del Curve Number (SCS-CN). In accordo a tale metodo si ha deflusso superficiale soltanto se la precipitazione lorda cumulata dedotta dalla curva di probabilità pluviometrica $h(t, T)$ supera le perdite iniziali I_a , che rappresentano un volume specifico di pioggia sottratto a priori e che descrive in modo globale numerosi processi differenti, come l'intercettazione da parte della vegetazione, l'accumulo nelle depressioni superficiali e l'imbibimento iniziale del terreno; se ciò accade è possibile calcolare la precipitazione efficace cumulata sul bacino $h_e(t, T)$ tramite la seguente espressione:

$$h_e(t_c, T) = \frac{(h(t_c, T) - I_a)^2}{h(t_c, T) - I_a + S} \quad (6)$$

dove S rappresenta la massima ritenzione potenziale del terreno ed è un coefficiente che dipende dalla permeabilità effettiva e dall'uso del suolo; le perdite iniziali I_a sono valutabili come una quota parte della massima ritenzione potenziale.

Dalla (6) si deduce come il deflusso possa essere stimato a partire dall'afflusso utilizzando un solo parametro, ovvero la massima ritenzione potenziale S , il cui valore dipende dalla natura del terreno e dall'uso del suolo, globalmente rappresentati dal parametro CN (Curve Number), secondo la relazione:

$$S = 254 \cdot \left(\frac{100}{CN} - 1 \right) \quad (7)$$

Per la scelta del parametro Curve Number, CN, variabile tra 0 e 100 e tabulato dal SCS secondo la capacità di deflusso del terreno e l'uso del suolo, si è utilizzata la mappa regionale del CN realizzata sulla base delle informazioni fornite dal PAI della Regione Sicilia. Il parametro I_a che definisce la perdita iniziale risulta legato in maniera indiretta al solo valore di CN e ad un coefficiente a che è stato ipotizzato, come in molte delle applicazioni che riguardano il territorio italiano, pari a 0.10. Per l'intera area di studio il valore di CN considerato è stato posto pari a **86** presupponendo che gli eventi estremi di piena avvengano in condizioni di terreno pressoché saturo, per precedenti precipitazioni, e, considerando che tali condizioni siano omogenee su tutto il bacino, vista la ridotta estensione dello stesso.

Stimato il tempo di corrivazione dalla (5), attraverso le altezze di pioggia critica ricavate per una durata pari a t_c dalle curve di probabilità pluviometrica e l'applicazione della (4), è stato possibile derivare la curva di frequenza delle portate al colmo (Fig.7) che restituisce i valori dei picchi massimi di portata per ciascun tempo di ritorno.

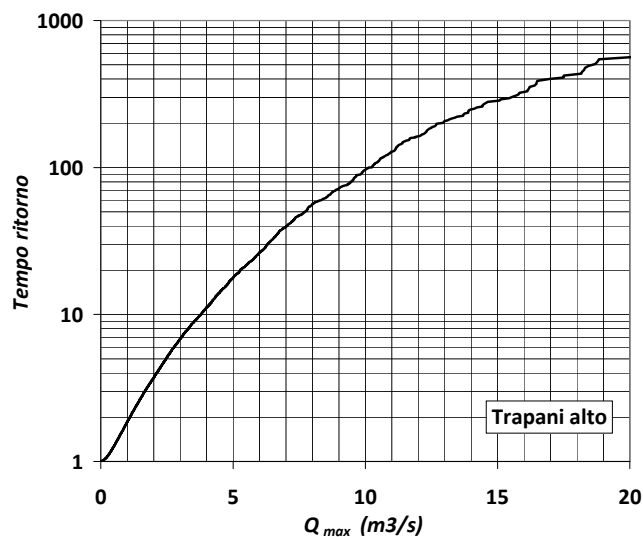


Figura 4.7 - Curve frequenza delle portate al colmo per il sottobacino "Trapani alto"

Per il sottobacino "Trapani basso" che invece presenta ampie parti urbanizzate, il calcolo delle piogge efficaci si è effettuato con il classico metodo del coefficiente di afflusso scegliendo per la sua valutazione una relazione proposta in

letteratura per i bacini periurbani tarata sulla base di misure raccolte in vari bacini italiani:

$$\varphi = \varphi_{perm} \cdot (1 - I_{imp}) + \varphi_{imp} \cdot I_{imp} \quad (8)$$

dove I_{imp} è la percentuale di area impermeabile del bacino, φ_{perm} e φ_{imp} sono rispettivamente i coefficienti di afflusso per le aree permeabili e per le aree impermeabili. La scelta di questa relazione è motivata anche dal fatto che nella sua struttura la percentuale di area impermeabile/permeabile è direttamente esplicitata e quindi la variazione di questa percentuale può essere facilmente tenuta in conto.

Nelle tabelle successive (Tab. 4.6a e 4.6b) sono riportati i parametri per all'applicazione della (8) per il calcolo finale delle portate al colmo tramite la formula razionale (4). Come più volte premesso, i risultati sono riportati per i due scenari previsti che, appunto, prevedono sia un incremento della percentuale di area impermeabile (Tab. 4.6a) sia una riduzione dei tempi di concentrazione a causa della riduzione della scabrezza idraulica da inserire nella (5) (Tab. 4.6b). Infine in Tabella 4.7 sono infine riportati i valori finali delle portate al colmo.

Tabella 4.6a - Parametri utilizzati per il calcolo dei coefficienti di afflusso per il sottobacino "Trapani basso"

Scenario	I_{imp}	φ_{perm}	φ_{imp}	φ
<i>Attuale</i>	0.178	0.2	0.9	0.38
<i>Futuro</i>	0.293	0.2	0.9	0.50

Tabella 4.6 b - Parametri utilizzati per il calcolo di t_c per il sottobacino "Trapani basso"

Scenario	L (m)	k_s	s
<i>Attuale</i>	1678.8	40	0.122
<i>Futuro</i>	1678.8	45	0.122

Tabella 4.7 - Portate massime nel sottobacino “Trapani basso” per i due scenari previsti

<i>T (anni)</i>	<i>Q_{max} (m³/s)</i>	
	<i>Attuale</i>	<i>Futuro</i>
10	10.3	14.3
20	13.1	18.2
30	14.9	20.7
50	17.3	24.1
100	21.1	29.3

Tramite la stessa procedura si sono calcolate le portate massime provenienti dai singoli siti interessati dagli interventi (considerati come bacini singoli) per i due diversi scenari. Ciò al fine di poter quantificare l'effetto idrologico della realizzazione degli interventi edilizi sul comportamento idraulico del torrente “Trapani basso”. Si vedano i valori ottenuti nella Tabelle 4.8 e 4.9.

Tabella 4.8 - Parametri utilizzati per il calcolo dei coefficienti di afflusso nei siti interessati dagli interventi.

Scenario	<i>I_{imp}</i>	<i>φ_{perm}</i>	<i>φ_{imp}</i>	<i>φ</i>
<i>Attuale</i>	0.05	0.2	0.9	0.25
<i>Futuro</i>	0.95	0.2	0.9	0.87

Tabella 4.9 - Portate massime in (m³/s) nei siti nei siti interessati dagli interventi

	Scenario	T (anni)				
		10	20	30	50	100
Sito 1	Attuale	0.156	0.187	0.206	0.231	0.267
	Futuro	0.576	0.690	0.759	0.851	0.984
Sito 2	Attuale	0.787	0.943	1.038	1.164	1.345
	Futuro	2.898	3.470	3.820	4.283	4.952
Sito 4a	Attuale	0.168	0.201	0.221	0.248	0.286
	Futuro	0.617	0.739	0.814	0.912	1.055
Sito 4b	Attuale	0.051	0.061	0.067	0.076	0.087
	Futuro	0.188	0.225	0.248	0.278	0.322
Sito 5a	Attuale	0.196	0.235	0.259	0.290	0.336
	Futuro	0.723	0.866	0.953	1.069	1.236
Sito 5b	Attuale	0.029	0.035	0.039	0.043	0.050
	Futuro	0.108	0.129	0.142	0.160	0.185
Sito 6	Attuale	0.044	0.052	0.058	0.065	0.075
	Futuro	0.161	0.193	0.213	0.238	0.276

4.5. Analisi idrauliche

Il sottobacino “Trapani alto”

Per la verifica idraulica del tratto di collettore coperto che va dalla sezione di imbocco sino alla sezione corrispondente all'intersezione con Viale Regina Margherita si è utilizzato un modello idraulico di propagazione delle correnti idriche in forma monodimensionale.

Il modello scelto è l'HEC-RAS (*River Analysis System*) sviluppato dall'*Hydrologic Engineering Center dell'US Army Corps of Engineers*. che permette di ricostruire l'andamento dei profili di rigurgito, in condizione di moto permanente gradualmente variato in alveo cilindrico (fatta eccezione per le sezioni in cui si risente della presenza di strutture, quali i ponti), valutando l'influenza di eventuali ponti o di vari ostacoli sul normale deflusso della corrente.

La base teorica di questo modello è costituita dalla classica equazione di conservazione dell'energia derivata per le correnti in moto permanente. La sua soluzione, permette di ottenere per iterazione, le altezze d'acqua in assegnate sezioni trasversali nell'ipotesi che la portata rimanga costante nel tempo.

Il modello permette di introdurre come dato d'ingresso la geometria delle sezioni trasversali anche irregolari e con zone a differente indice di scabrezza, così come la presenza di strutture in alveo. Le perdite continue si possono valutare con l'equazione di Manning, ed è possibile tenere conto di perdite localizzate dovute a restringimenti o allargamenti della sezione trasversale. La ricostruzione del profilo avviene tramite integrazione tra due sezioni successive dell'equazione dell'energia con la determinazione delle quote idriche e delle velocità. Il modello HEC-RAS si dimostra abbastanza affidabile nella ricostruzione della propagazione, grazie soprattutto alla sua possibilità di descrivere sezioni abbastanza irregolari e alla possibilità di potere considerare l'influenza delle strutture trasversali in alveo (ponti, tombini, sottopassi, etc.).

Per l'implementazione del modello monodimensionale sono state utilizzate le sezioni degli alvei, fornite dal Committente, ed alcune appositamente rilevate in occasione di questo studio. Il tratto considerato considera sia la parte naturale del torrente Trapani a monte dell'imbocco per una lunghezza di circa 15 m sia il tratto di collettore tombato per una lunghezza di circa 60 m a valle dell'imbocco. Considerate

le elevate pendenze del fondo del collettore e le sue dimensioni non è stato necessario estendere l'analisi sino all'ultima sezione di valle per ottenere informazioni sul suo comportamento idraulico.

Le simulazioni sono state condotte in condizioni di moto permanente e come condizioni idrauliche al contorno, sono stati utilizzati i valori di picco forniti dalla curva di frequenza di portate al colmo ricavata con la procedura illustrata al paragrafo precedente e mostrata in Figura 4.6.

Per tenere conto del fatto che le correnti che normalmente si muovono all'interno di questi alvei sono di tipo iperconcentrato, il coefficiente di scabrezza di Manning utilizzato nell'analisi è stato assunto pari a $0.05 \text{ s/m}^{1/3}$ per il tratto naturale e pari a $0.028 \text{ s/m}^{1/3}$ per il tratto artificiale tombato.

Nella Figura 4.6 sono riportati i profili di corrente di moto permanente unidimensionali per due diverse situazioni. Il profilo a tratto continuo è quello relativo alla **massima portata transitabile** attraverso il manufatto di imbocco con un **franco di sicurezza di 1.0 m**. Questa portata risulta di **$9.3 \text{ m}^3/\text{s}$** corrispondente ad un tempo di ritorno di **circa 75 anni**. Il profilo con simbolo triangolare è invece riferito alla **portata centennale**, pari a **$10.4 \text{ m}^3/\text{s}$** , che presenta un tirante idrico all'imbocco di **2.36 m**. Considerato il fatto che la quota di fondo alveo all'imbocco è di 175.30 m.s.m e la quota della volta è di 178.0 m.s.m, il franco residuo è di **0.34 m**. A valle dell'imbocco all'interno del collettore il tirante idrico si mantiene sempre al disotto di 1.0 m a fronte di un'altezza massima di 2.7 m variando tra un minimo di 0.62 m e un massimo di 0.86 m. Le condizioni di sicurezza sono quindi quasi sempre soddisfatte considerando anche il fatto che l'imbocco va in pressione solo per portate corrispondenti a tempi di ritorno duecentennali anche se vanno evidenziati alcuni particolari elementi di criticità permanenti:

- anche in caso di piena non estrema le velocità della corrente non scendono mai al di sotto di 6-8 m/s. Questa velocità è troppo elevata per il materiale con cui è realizzato il collettore (calcestruzzo) anche in considerazione del fatto che le correnti di piena trascinano sempre materiale solido anche grossolano. Questo fatto potrebbe portare ad una rapido usura e quindi ad un danneggiamento anche strutturale del collettore.
- le sponde del tratto naturale a monte dell'imbocco si trovano ad una quota rispetto al fondo alveo non compatibile con le portate anche di piccolo tempo di

ritorno (5-10 anni). Il rischio è di un aggiramento del manufatto di imbocco con una propagazione della piena lungo la strada arginale in frodo all'alveo (Foto 4.5).

- le condizioni di cattiva manutenzione e pulizia del tratto naturale a monte dell'imbocco (Foto 4.1) sono fattori predisponenti a possibili occlusioni dell'imbocco causate dal materiale depositato e/o scaricato in alveo. In quest'evenienza i calcoli idraulici su descritti perdono praticamente di significato.

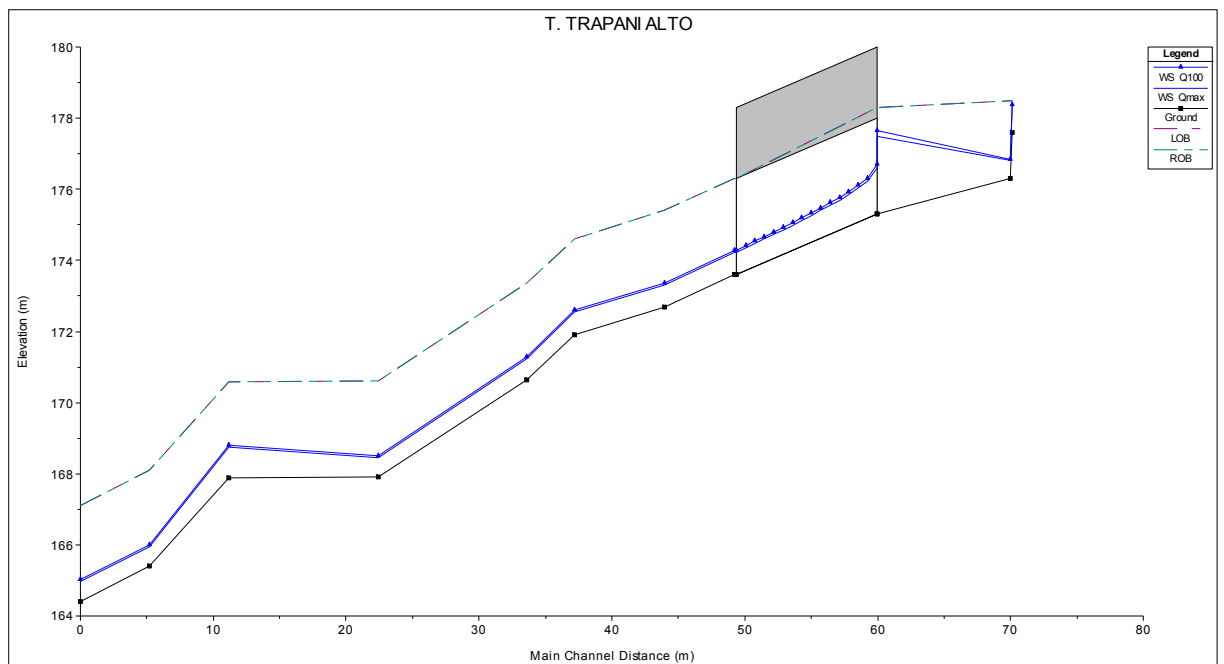


Figura 4.8 - Profili di corrente per il tratto imbocco-collettore (da HEC-RAS)



Foto 4.5 - Particolare sezione naturale monte imbocco

Il sottobacino “Trapani basso”

Nel sottobacino “Trapani Basso” gli elementi critici sono, come già anticipato, molteplici ed articolati.

Il primo passo è stato quello di verificare idraulicamente il tratto terminale del collettore per le portate relative ai due prima introdotti.

Nella Figura 4.9 sono riportati i profili di corrente di moto permanente unidimensionali per i due diversi scenari per le portate con **tempo di ritorno pari a 50 anni**. Il profilo di colore azzurro è quello relativo alla **massima portata per lo scenario attuale**. Questa portata risulta di **25.0 m³/s** e determina nella sezione terminale del collettore (Figura 4.10) un tirante idrico massimo di **1.59 m**. Il profilo di colore rosso è invece riferito alla **massima portata per lo scenario futuro**, pari a **31.8 m³/s** e determina, sempre nella sezione terminale, un tirante idrico massimo di **1.97 m**. Considerato il fatto l'altezza libera della sezione è di 2.7 m, il franco residuo è di **1.11 m per lo scenario attuale** e di **0.73 m per lo scenario futuro**.

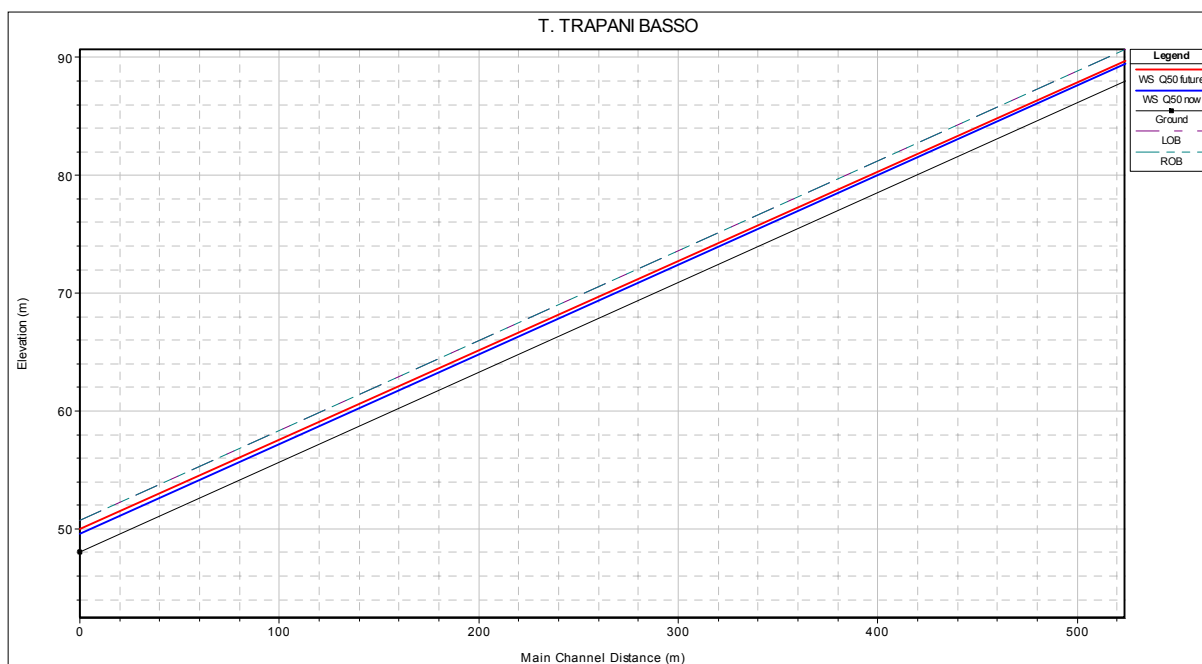


Figura 4.9 - Profili di corrente per il tratto terminale del “Trapani basso” (da HEC-RAS)

Anche se la scelta di un tempo di ritorno così basso può sembrare troppo cautelativa non va dimenticato che nelle indicazioni presente nel Piano di Assetto Idrogeologico della Regione Sicilia questo valore è quello corrispondente alle condizioni di pericolosità più elevate (e quindi di rischio) nel caso in cui si verifichi l'entrata in crisi del manufatto.

In questo caso i risultati della verifica mostrano una sostanziale assenza di criticità nelle condizioni attuali mentre in quelle future pur non avendosi una palese fallanza del sistema tuttavia i franchi di sicurezza scendono al di sotto del metro che, in situazioni di questo genere, rappresentano una soglia di sicurezza generalmente accettata.

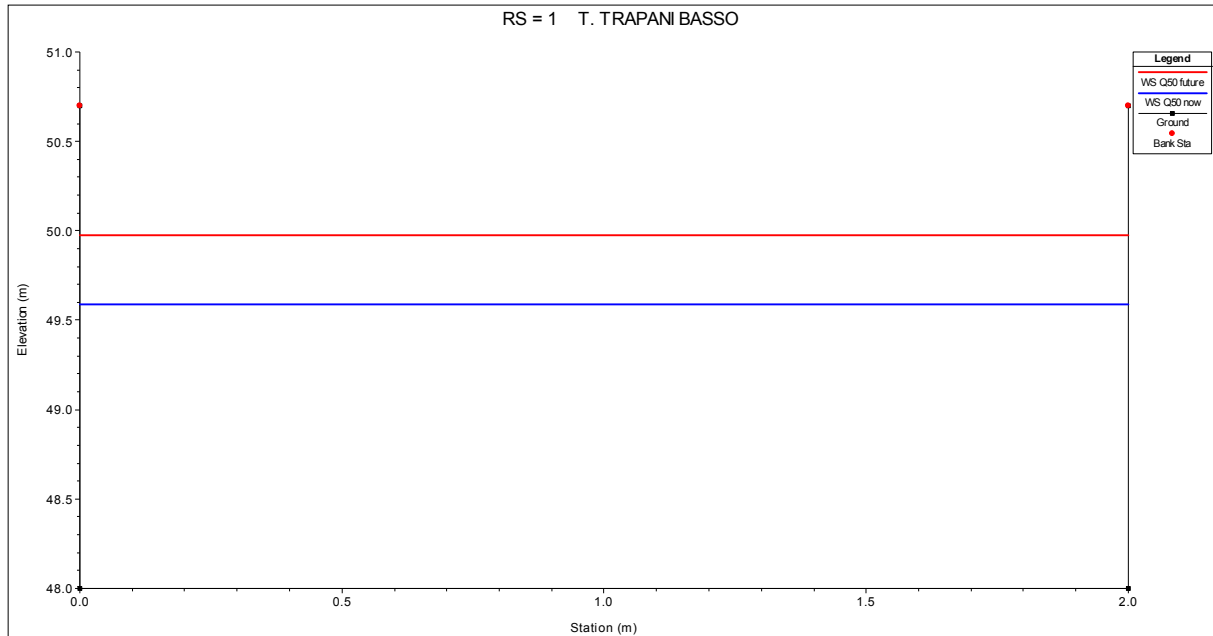


Figura 4.10 - Sezione trasversale terminale del collettore “Trapani basso” (da HEC-RAS)

Ma, in questo caso, tale analisi potrebbe addirittura rivelarsi poco significativa ai fini della verifica idraulica del collettore. Difatti, la modellazione effettuata ha presupposto la presenza di un sistema di convogliamento superficiale che permetta il recapito in collettore delle acque meteoriche che dai versanti e dai rami del reticolo raggiungono la sede stradale. In realtà, è palese la inadeguatezza del sistema complessivo di convogliamento e di smaltimento delle acque nella via Torrente Trapani (caditoie, griglie, ecc.) come mostrato nelle immagini successive (Foto 4.9).



Foto 4.9 - Stato delle caditoie stradali e delle griglie nella via Torrente Trapani

In queste condizioni si potrebbe di fatto avere una situazione paradossale quale quella per cui i volumi di piena scorrono interamente sulla pavimentazione stradale e, nel contempo, il collettore sottostante è praticamente vuoto convogliando, di fatto, solo la portata che proviene dal sottobacino “Trapani alto”.

Volumi così cospicui si propagherebbero quindi in forma di una lama d’acqua, anche di rilevante altezza (parecchi cm) con caratteristiche di elevate velocità e spinte idrodinamiche. Il risultato sarebbe quello di un notevole peggioramento della funzionalità trasportistica della via Torrente Trapani e di un serio pericolo per l’incolumità dei passanti.

Questi fenomeni si svolgerebbero in realtà in maniera ancora più parossistica considerando il fatto che l’immissione di questi volumi non sarebbe “distribuita” ma in molti casi “puntuale” cioè concentrata in corrispondenza dei collegamenti di superficie tra i siti soggetti ad interventi edilizi e la via Torrente Trapani soprattutto se in questi collegamenti mancano del tutto o sono presenti in maniera insufficiente i manufatti idraulici di collegamento verticale (Foto 4.10.)



Foto 4.10 - Stato delle caditoie stradali e delle griglie nella via Torrente Trapani

Dall'analisi della Tabella 4.9 è quindi chiaro quale sia l'influenza degli interventi edilizi in termini di incrementi della portata convogliata al collettore, o addirittura alla strada nel caso in cui siano assenti le caditoie e le griglie di collegamento.

L'ultima analisi condotta ha riguardato invece la valutazione dei volumi solidi che si originano con l'erosione dei versanti dell'area mostrata in Figura 4.5.

La mancanza di dati specifici sull'area e l'impossibilità di procedere ad analisi in situ ha imposto di procedere con la valutazione dei volumi erodibili utilizzando delle relazioni empiriche proposte in letteratura. La relazione utilizzata è la seguente:

$$V_e = 29100 \cdot A^{0.67} \quad (8)$$

che per un area A del bacino pari 0.014 km^2 ha restituito il valore di **1700 m^3** che corrispondono circa ad una perdita di suolo di 12 cm o di circa **3.2 t/ha** .

Questo valore di perdita di suolo non è compatibile con i valori massimi consigliati dalla letteratura internazionale (dell'ordine di circa 2 t/ha anno) anche perché si riferisce ad un singolo evento pluviometrico e non all'intero anno (invero per le nostre realtà si hanno pochi eventi in un anno che sono responsabili dell'intera perdita di suolo).

Fortunatamente solo una parte (nell'ordine del 40%) di questo volume raggiunge la via Torrente Trapani ma il suo valore è ancora sufficiente a creare fenomeni di micro-colate che rappresentano un significativo elemento di pericolosità e rischio idraulico.

4.6. Considerazioni conclusive sugli aspetti idraulici

In estrema sintesi, nel rimandare a quanto illustrato nelle pagine precedenti, si possono trarre le seguenti conclusioni.

Il bacino del torrente Trapani presenta le classiche caratteristiche di bacino periurbano riconoscendosi al suo interno parti “naturali”, parti fortemente urbanizzate e/o edificate, tratti di reticolo idrografico naturali e tratti di reticolo idrografico “artificiali” (essenzialmente risagomati e tombati). In questo tipo di bacini, i fenomeni idraulici e idrologici sono sostanzialmente differenti e, di conseguenza, devono essere differenti gli approcci tecnico-ingegneristici da implementare per la gestione delle criticità idrauliche.

Per questi motivi lo studio è stato condotto non sul sottobacino chiuso in corrispondenza del Viale Regina Margherita considerato come *un unicum* bensì su due suoi sottobacini con caratteristiche ben distinte: (i) un primo sottobacino “naturale”, identificato come “Trapani alto” e (ii) un secondo sottobacino “urbanizzato”, identificato come “Trapani basso”. Il “confine” tra le due parti così definite si può porre in corrispondenza della sezione fluviale dove si ha il passaggio dal reticolo naturale al reticolo artificiale. Questo passaggio è segnato dalla presenza dell’imbocco del tratto tombato del T. Trapani.

Per quanto riguarda il sottobacino “Trapani alto” l’unico punto di **criticità idraulica** è costituito **dall’imbocco del collettore** nel quale vengono convogliate le acque provenienti dal reticolo idrografico naturale di monte. Il suddetto imbocco costituisce di fatto un restringimento della sezione fluviale naturale con inevitabile formazione di rigurgiti delle correnti idriche in arrivo da monte. L’innalzamento della corrente a tergo dell’imbocco potrebbe quindi causare una tracimazione dei volumi idrici che finirebbero per riversarsi sulla sede stradale della via Torrente Trapani percorrendola ad alta velocità (viste le elevate pendenze) trascinando nel contempo notevoli quantità di materiale solido (*correnti iperconcentrate*).

Le verifiche condotte hanno dimostrato come, la **massima portata transitabile** attraverso il manufatto di imbocco, con un **franco di sicurezza di 1.0 m**, risulta essere di **9.3 m³/s** corrispondente ad un tempo di ritorno di **circa 75 anni** e che la portata centennale transita con un franco di 0.34 m. Le condizioni di sicurezza sono quindi quasi sempre soddisfatte considerando anche il fatto che l’imbocco va in pressione solo per portate corrispondenti a tempi di ritorno duecentennali anche se

vanno evidenziati alcuni particolari elementi di criticità residui da affrontare specificatamente:

1. anche nel caso di piena non estrema le velocità della corrente non scendono mai al di sotto di 6-8 m/s. Questa velocità è troppo elevata per il materiale con cui è realizzato il collettore (calcestruzzo) anche in considerazione del fatto che le correnti di piena trascinano sempre materiale solido anche grossolano. Questo fatto potrebbe portare ad una rapida usura del fondo del collettore con ripercussioni anche sulla sua stabilità strutturale.
2. le sponde del tratto naturale a monte dell'imbocco si trovano ad una quota rispetto al fondo alveo non compatibile con le portate di piccolo tempo di ritorno (5-10 anni). Il rischio è di un aggiramento del manufatto di imbocco con una propagazione della piena lungo la strada arginale in frodo all'alveo.
3. le condizioni di cattiva manutenzione e pulizia del tratto naturale a monte dell'imbocco sono fattori predisponenti a possibili occlusioni dell'imbocco a causa dal materiale depositato e/o scaricato in alveo.

Nel caso del sottobacino "Trapani basso" le criticità idrauliche individuate sono dovute essenzialmente all'incremento dei picchi di piena causato dall'impermeabilizzazione dei versanti per degli interventi edilizi previsti a breve e medio termine o addirittura in corso (*impatto idraulico dell'urbanizzazione o non invarianza idraulica*).

Con questo scenario futuro i risultati della verifica idraulica non hanno mostrato palesi fallanze del sistema ma tuttavia i franchi di sicurezza all'interno del collettore risultano inferiori al metro, valore che rappresenta tuttavia una soglia di sicurezza generalmente accettata.

Ma, per assurdo, questi risultati potrebbero addirittura rivelarsi poco esplicativi del corretto funzionamento del collettore in quanto è palese la inadeguatezza del sistema complessivo di convogliamento e recapito nel collettore "Trapani basso". In queste condizioni si potrebbe di fatto avere una situazione per cui i volumi di piena scorrono interamente sulla pavimentazione stradale e, nel contempo, il collettore sottostante è praticamente vuoto convogliando, di fatto, solo la portata che proviene dal sottobacino "Trapani alto". Volumi idrici così cospicui si propagherebbero quindi in forma di una lama d'acqua, anche di rilevante altezza (parecchi cm) con caratteristiche di elevate velocità e spinte idrodinamiche.

La presenza poi di parti del bacino nelle quali si hanno fenomeni significativi di erosione idrica superficiale aggraverebbe la situazione in quanto i volumi solidi distaccati dal ruscellamento superficiale vengono recapitati direttamente sulla sede stradale dove le correnti idriche li trasporterebbero verso valle causando accumuli localizzati ed intasamenti delle caditoie stradali. Il risultato sarebbe quello di creare problemi sia agli insediamenti abitativi a quota strada sia alla circolazione dei veicoli sulla via Torrente Trapani con notevole peggioramento della funzionalità trasportistica della stessa via e con un serio pericolo per l'incolumità degli eventuali passanti.

Tali fenomeni si svolgerebbero in realtà in maniera ancora più parossistica considerando il fatto che l'immissione di questi volumi idrici non sarebbe "distribuita" ma in molti casi "puntuale" cioè concentrata in corrispondenza dei collegamenti di superficie tra i siti soggetti ad interventi edilizi e la via Torrente Trapani soprattutto se in questi collegamenti mancano del tutto o sono presenti in maniera insufficiente i manufatti idraulici di collegamento verticale.

4.7. Riferimenti bibliografici

AA. VV., Sistemi di fognature: manuale di progettazione, HOEPLI

Cannarozzo M., D'Asaro F. & Ferro V., 1995. *Regional rainfall and flood frequency analysis for Sicily using the two component extreme value distribution*. Journal of Hydrological Sciences, 40(1): 23–34.

Chow, V. T., Maidment, D. R. & Mays, L. W., 1988. *Applied Hydrology*, McGraw-Hill International Editions.

Ferro V. , 2002., *La sistemazione dei bacini idrografici*, McGraw-Hill, Milano.

Kottegoda N.T., and Rosso R., 1997. *Statistics, Probability and Reliability for Civil and Environmental Engineers*, McGraw-Hill.

US Army Corps of Hydraulic Engineers, HEC-RAS. <http://www.hec.usace.army.mil>

US Army Corps of Hydraulic Engineers, 2001. HEC-2 User's Manual. http://www.hec.usace.army.mil/publications/pubs_distrib/hec-2/hec2.html

5. ASPETTI CONNESSI ALLA MOBILITÀ

5.1. Premessa

L'incarico affidato dal Comune di Messina al D.I.C. relativamente alla vallata del torrente Trapani ad ovest del viale Regina Margherita prevede una fase di verifica degli "aspetti connessi alla mobilità" definendo "e attuali condizioni di rischio connesse alle attuali caratteristiche della rete stradale in particolare condizioni di emergenza".

Le condizioni di rischio che, per un assegnato scenario assunto per l'analisi, possono determinarsi su una rete stradale dipendono essenzialmente dalla consistenza e dalle caratteristiche degli assi viari e dall'esposizione intesa come entità delle persone e delle attrezzature territoriali servite dalla rete viaria.

La qualità della rete determina i presupposti positivi o negativi per il livello di funzionalità mentre l'esposizione determina l'entità del carico veicolare.

Altra caratteristica da valutare è quella riconducibile al grado di accessibilità e alla presenza o meno di percorsi alternativi a servizio dell'area e alla presenza o meno di infrastrutture della Protezione Civile (aree attrezzate per la gestione delle emergenze).

Per evidenti motivi non saranno trattati gli aspetti connessi alla "vulnerabilità fisica" delle opere stradali e di quelle potenzialmente interferenti (edifici, sovrappassi, ecc.).

Ciò premesso un passo essenziale dell'analisi consiste nella valutazione della "funzionalità trasportistica" sia nello stato attuale del carico antropico presente, sia negli scenari futuri ipotizzabili per l'area nel breve/medio termine e nel lungo termine.

Per la definizione degli scenari si farà riferimento ai dati sui carichi urbanistici attuali e previsti comunicati dall'Amministrazione Comunale con le note n. 79849 dell'11.03.2011 e del 10.05.2011.

5.2. Le caratteristiche dell'area e della rete viaria

Per una descrizione esaustiva delle caratteristiche dell'area si rimanda ai precedenti paragrafi.



Figura 5.1 - L'area di interesse (foto aerea)

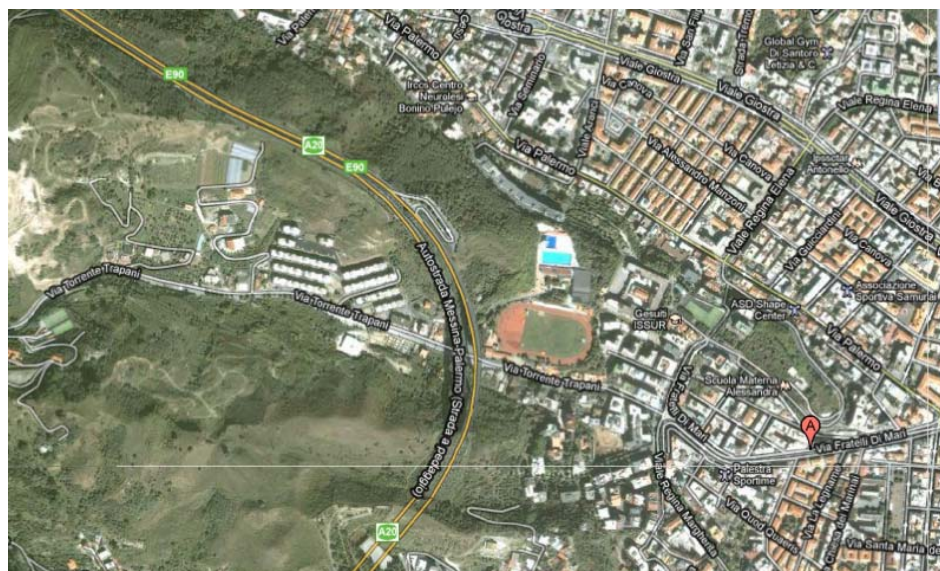


Figura 5.2 - La rete viaria

Per gli aspetti di tipo viabilistico, è sufficiente evidenziare che nell'area della vallata a monte del viale Regina Margherita sono presenti edifici residenziali e, in parte, anche di tipo commerciale con una consistenza di circa 230.000 mc e quindi con un carico abitativo di circa 2.300 ab. Sono inoltre presenti complessivi sportivi per una superficie di circa 46.000 mq.

L'accesso all'area e, di conseguenza, agli edifici e alle attrezzature sportive, è reso possibile in "modo esclusivo" dalla via Torrente Trapani che si diparte dall'intersezione a raso semaforizzata con il viale Regina Margherita che costituisce l'unico nodo di connessione con la rete viaria cittadina. In atto, infatti, per l'accesso all'area non è disponibile alcun percorso alternativo.

5.3. Le caratteristiche degli assi viari e dell'intersezione

La via Torrente Trapani

La via Torrente Trapani è una strada a carreggiata unica con 2 corsie (una corsia per senso di marcia) e marciapiedi laterali non sempre, però, di larghezza adeguata alla circolazione sicura dei pedoni.

In relazione alle funzioni svolte (accesso, spostamenti di breve distanza, interna a un quartiere, presenza di tutte le componenti di traffico) può essere assimilata alla tipologia "F locale-urbana" di cui al D.M. 5.11.2001, decreto che, in realtà, esplica effetti per le strade di nuova realizzazione ma a cui si farà comunque riferimento in questa sede per gli aspetti utili per le analisi.

L'asse viario in oggetto ha una lunghezza di circa 1.500 m misurata fra l'intersezione con la via R. Margherita e la sezione terminale del tratto pavimentato. L'andamento planimetrico è abbastanza lineare con lunghi rettifili e ampi angoli di deviazione; la pendenza longitudinale è assai modesta e comunque è tale da non determinare alcuna difficoltà per l'avanzamento dei veicoli e per la visibilità.

La strada ha larghezza variabile ed il minor valore pari a 9,20 m è presente in un tratto posto a circa 250 m a monte dell'intersezione con il viale R. Margherita (tratto n. 2) mentre, in prossimità di tale intersezione, la larghezza è pari a 12,70 m (tratto n. 1). Infine, nella parte più a monte (circa a 800 m dall'intersezione) la sede stradale è più ampia presentando una larghezza di 14,10 m e in tale tratto sono presenti aree laterali pavimentate esterne alla carreggiata per la sosta dei veicoli (tratto n. 3).

Sono presenti marciapiedi di larghezza variabile ma, in alcuni tratti, insufficienti per il regolare transito dei pedoni.



Figura 5.3 - Via Torrente Trapani

In sintesi le dimensioni significative dei tre tratti sono e seguenti:

Tabella 5.1 - Dimensioni trasversali significative della via Torrente Trapani

<i>TRONCO</i>	<i>LARGHEZZA COMPLESSIVA</i>	<i>LARGHEZZA CORSIA</i>	<i>LARGHEZZA MARCIAPIEDE</i>		<i>UBICAZIONE</i>
			<i>sx</i>	<i>dx</i>	
1	12,70 m	5,30 m	0,58 m	1,52 m	In prossimità dell'intersezione
2	9,20 m	4,00 m	0,60 m	0,60 m	A 250 m ca. dall'intersezione
3	14,10 m	5,30 m	2,00 m	1,50 m	A 800 m ca. dall'intersezione

Dal punto di vista delle caratteristiche costruttive, la pavimentazione si presenta in cattive condizioni presentando ammaloramenti di vario tipo; anche le attrezzature di margine (marciapiedi, caditoie, ecc.) si presentano in non buone condizioni. La segnaletica orizzontale è presente solamente in brevi tratti.

Si segnala, in particolare, l'inadeguatezza del sistema complessivo di convogliamento e di smaltimento delle acque che viene trattato in dettaglio nel precedente capitolo dedicato agli aspetti idraulici.

Nelle aree laterali alla strada insistono complessi edilizi e singoli edifici a più elevazioni più vicini alla sede stradale nella parte prossima all'intersezione con il

viale R. Margherita. Inoltre, in atto, sono in fase di realizzazione alcuni complessi residenziali.

I complessi edilizi già abitati e a quelli in fase di realizzazione sono accessibili a mezzo di apposite strade che si diramano dalla via Torrente Trapani. Con modalità analoga è configurato l'accesso all'importante complesso sportivo "Cappuccini". Nel tratto più a valle la strada è sovrappassata da un alto viadotto del tracciato dell'autostrada A20 Messina-Palermo.

Per quanto riguarda le condizioni d'uso la strada serve i flussi da e per gli insediamenti edilizi presenti nella vallata ed a volte la qualità della circolazione è negativamente condizionata dal disordine causato dagli utenti soprattutto in relazione al diffuso ricorso alla sosta illegale anche in doppia fila. Questa pessima abitudine, presente anche nel tratto immediatamente prossimo all'intersezione con la via R. Margherita, determina un aggravamento dei parametri della circolazione nell'intorno del nodo soprattutto nelle ore di punta.

Il viale Regina Margherita e l'intersezione con la via Torrente Trapani

La via Torrente Trapani si connette alla rete viaria urbana mediante una intersezione a raso semaforizzata che configura il nodo di connessione con il Viale Regina Margherita, essenziale segmento della circonvallazione cittadina che si snoda da Sud a Nord permettendo agli assi trasversali di penetrare verso l'area urbana.

Il viale R. Margherita, nella sostanza, svolge funzioni che possono essere assimilate a quelle delle strade tipo "E - urbana di quartiere" (D.M. 5.11.2001) e si compone di una carreggiata unica a due corsie complessivamente.

Nell'intersezione sono parzialmente presenti piccole isole di canalizzazione per la separazione dei flussi; in corrispondenza della via Torrente Trapani, però, nessun dispositivo geometrico è presente e pertanto i cigli delle due strade si innestano sostanzialmente ad angolo retto è ciò determina una certa complessità per le manovre di svolta soprattutto per la confluenza da via Torrente Trapani con il viale R. Margherita in direzione Sud.

L'impianto semaforico installato nell'intersezione è di tipo fisso e cioè con durata costante del ciclo pari a circa 70 secondi. La durata del verde è di circa 20 s per le correnti veicolari in circolazione nella via Torrente Trapani e di circa 40 s per quelli nella via R. Margherita.

In prossimità dell'intersezione sono presenti due strade che consentono la svolta autonoma a destra: la prima (via P. Calapso) per i veicoli in transito nel verso Sud Nord nella via R. Margherita che devono svoltare verso la direzione Est; la seconda (via Fratelli di Mari) realizza la svolta a destra sul viale R. Margherita per i veicoli provenienti da Est.



Figura 5.4 - Viale Regina Margherita



Figura 5.5 – L'intersezione Via R. Margherita-Via Torrente Trapani (foto aerea)

La viabilità prevista

L'area oggetto dello studio è interessata dalla viabilità di previsione dello strumento urbanistico detta "Sistema collinare" che fa parte del cosiddetto "Sistema Viario Integrato" (S.V.I.); esso prevede un collegamento da Sud a Nord e, nell'ambito di interesse, fra il nodo Scoppo-Bocchetta e il nodo Giostra.

Non è possibile, in questo studio, tener conto di tale previsione, non essendo ipotizzabile l'epoca dell'effettiva realizzazione.

Un beneficio più concreto, invece, potrà verificarsi a breve non appena sarà aperto al traffico lo svincolo autostradale di Giostra.

5.4. Il carico urbanistico

Nella vallata del torrente Trapani, a monte del viale Regina Margherita, sono presenti una molteplicità di edifici con funzioni soprattutto residenziale ma anche commerciali e artigianali ed alcuni impianti sportivi. Inoltre sono in fase di realizzazione o lo saranno presumibilmente a breve/medio termine altri edifici ed altre aree classificate edificabili dallo strumento urbanistico potrebbero essere oggetto di piani edificatori in tempi più lunghi.

Tutte queste strutture sono, o saranno, connesse alla viabilità urbana mediante la via Torrente Trapani.

Facendo riferimento ai dati comunicati dall' A.C. la consistenza attuale e futura del carico urbanistico è quella rappresentata nella Tabella 5.2.

Tabella 5.2 – Carico urbanistico attuale e previsto

	Volumi esistenti	Volumi previsti (breve/medio T.).	Volumi previsti (lungo T.).	Sup. comm.le prev. a breve T.	Attrezz. sport./ricreat. esist.	Attrezz. sport./ric prev, ampliam.	
	mc	mc	mq	mq	mq	mq	
(1)	230.530,83						
		156.097,00					
			93.476,75				
					35.187,00		compl. Cappuccini
					10.659,00		compl. sport. privato
					10.003,00	previsione ampliam.	
(2)		81.047,65		1900,00			program. costr. Costa C. e C.O.C costr.
		71.461,91					Program. costr. S.C.E. Esperienza (+ max. 5%)
			5.998,00				Program. costr andromeda 2
totali	230.530,83	308.606,56	99.474,75	1.900,00	45.846,00		

(1) NOTA dell' A.C. 131591 del 10.05.2011 - (2) Nota dell' A.C. 79849 del 11.03.2011

La suddivisione in fasi temporali (attuale, breve/medio termine, lungo termine) consente di definire gli scenari di traffico commisurati alla variazione del carico antropico nelle diverse fasi temporali di realizzazione.

Più sinteticamente è possibile considerare come base per le analisi i dati di cui alla Tabella 5.3 avendo assunto la corrispondenza di 1 abitante a 100 mc.

Tabella 5.3 – Carico urbanistico attuale e previsto - Sintesi

Scenario	Volume (mc)	Abitanti
attuale	230.530	2.305
breve/medio termine	539.136	5.391
Lungo termine	638.610	6.386

5.5. Funzionalità della rete viaria nell'area

Di seguito sarà svolta l'analisi dell'attitudine della via Torrente Trapani a sostenere in modo adeguato la mobilità per gli abitanti e i fruitori dell'area.

Per quanto prima illustrato tale analisi sarà svolta sia nello stato attuale del carico antropico presente, sia negli scenari futuri ipotizzabili per l'area nel breve/medio termine e nel lungo termine.

A tale scopo si utilizzerà il parametro di funzionalità **Livello di Servizio (L. di S.)** usualmente adoperato per quantificare le condizioni operative di una strada, parametro di riferimento anche della normativa italiana in tema di progettazione e costruzione delle strade (D.M. 5.11.2001).

Il L. di S. rappresenta, infatti, una misura della qualità della circolazione, intesa come livello degli oneri sopportati dagli utenti di una strada in corrispondenza di un flusso assegnato. Esso viene valutato sulla base di specifiche metodologie elaborate negli Stati Uniti dal Transportation Research Board e pubblicate nel Highway Capacity Manual (HCM).

Per tutte le tipologie stradali vengono definiti 6 Livelli di Servizio, individuati con le lettere da A a "F". Al L. di S. "A" corrispondono le migliori condizioni di circolazione (flusso libero con assenza di condizionamenti tra i veicoli); all'estremo opposto, il L. di S. "F" riflette le peggiori condizioni di circolazione (flusso forzato con veicoli in coda in condizioni di *stop and go*).

La normativa italiana, per ciascun tipo di strada, indica i seguenti livelli di servizio minimi da garantire.

Tabella 5.4 - Livelli di servizio minimi (D.M. 5.112.001)

Tipo di Strada	L.d.S. minimo	
Autostrade	Extraurbane	B
	Urbane	C
Extraurbane principali		B
Extraurbane secondarie		C
Urbane di scorrimento		E
Urbane di quartiere		E
Locali	Extraurbane	C
	Urbane	E

E' utile inoltre un breve riferimento anche ai seguenti operatori anch'essi indicati dalla normativa italiana:

- **capacità:** massima portata oraria veicolare (o tasso di flusso) che, ragionevolmente, ci si può attendere possa passare attraverso una sezione di una corsia o di una carreggiata in un dato periodo di tempo, nelle prevalenti condizioni della strada e del traffico, con tempo sereno, visibilità diurna, buono stato della pavimentazione ed assenza di incidenti.
- **portata di servizio:** valore massimo del flusso di traffico smaltibile dalla strada in corrispondenza al livello di servizio assegnato.

Inoltre, per le strade urbane di quartiere e locali la normativa italiana sottolinea che "il livello di servizio non dipende solo dagli elementi geometrici, ma anche dalla regolazione delle intersezioni (ad esempio durata di un ciclo semaforico, tempo di verde)". I dati per un'analisi approfondita in tale direzione in atto non sono disponibili ma, tuttavia, nelle pagine seguenti sarà fatta una valutazione semplificata sulla scorta degli elementi che è stato possibile acquisire con i rilievi diretti.

Il L. di S. viene definito in relazione ad alcune misure di efficacia e dipende da alcuni fattori, quali:

- caratteristiche geometriche della strada;
- condizioni ambientali;

- caratteristiche della corrente veicolare;
- tipologia di utenti.

Per le strade extraurbane secondarie e locali le misure di efficacia per determinare il L. di S. sono:

- la percentuale di tempo in coda ad altri veicoli;
- la velocità media di viaggio.

Nel caso delle strade extraurbane locali "F", aventi principalmente la funzione d'accesso, il livello di servizio è definito solo in relazione al tempo in coda.

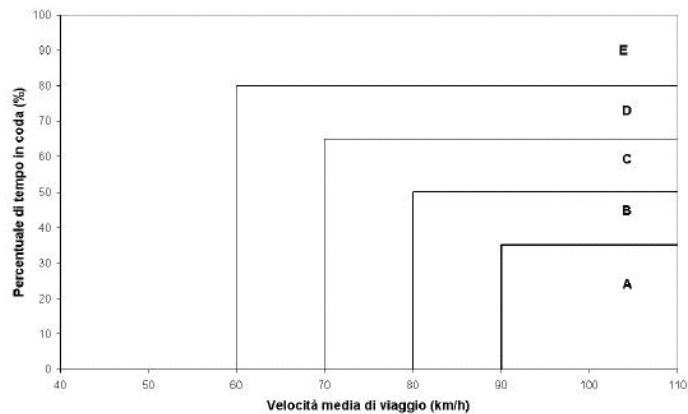


Figura 5.6 - Relazione tra le misure di efficacia e il L. di S.

Tabella 5.5 - Valori limite delle misure di efficacia

Livello di servizio	Strade extraurbane secondarie		Strade locali
	Percentuale di tempo in coda	Velocità media di viaggio (km/h)	Percentuale di tempo speso in coda
A	<35	>90	<40
B	>35 e <50	>80 e <90	>40 e <55
C	>50 e <65	>70 e <80	>55 e <70
D	>65 e <80	>60 e <70	>70 e <85
E	>80	<60	>85
F	Il tasso di flusso supera la capacità		

I fattori relativi alle caratteristiche della sede stradale cui è connesso il calcolo della capacità e del L. di S. sono:

- il numero delle corsie;
- la tipologia della strada ed i caratteri dell'ambiente circostante;
- la larghezza delle corsie;
- la larghezza delle banchine e le distanze dagli ostacoli laterali;
- la velocità di progetto;
- l'andamento plano-altimetrico del tracciato.

La capacità della strada ed il livello di Servizio dipendono, inoltre, dalle caratteristiche del traffico, quali:

- la composizione del traffico, in termini di veicoli leggeri e pesanti;
- la distribuzione dei flussi.

La diseguale distribuzione dei flussi nei due sensi di marcia lungo strade ad una corsia per senso di marcia è fattore di riduzione del L. di S..

Per la determinazione del L. di S. la procedura dell'HCM definisce le seguenti **condizioni base** che costituiscono il riferimento iniziale per le successive valutazioni:

- larghezza delle corsie di marcia non inferiore a 3,60 m;
- larghezza delle banchine non inferiore a 1,80 m;
- sorpasso consentito lungo tutto lo sviluppo del tracciato;
- correnti di traffico costituite da sole autovetture;
- nessun impedimento al traffico in transito (assenza di punti d'accesso);
- terreno pianeggiante;
- flusso egualmente ripartito nelle due direzioni.

La procedura di calcolo richiede una serie di determinazioni sinteticamente riassunte nel diagramma a blocchi seguente:

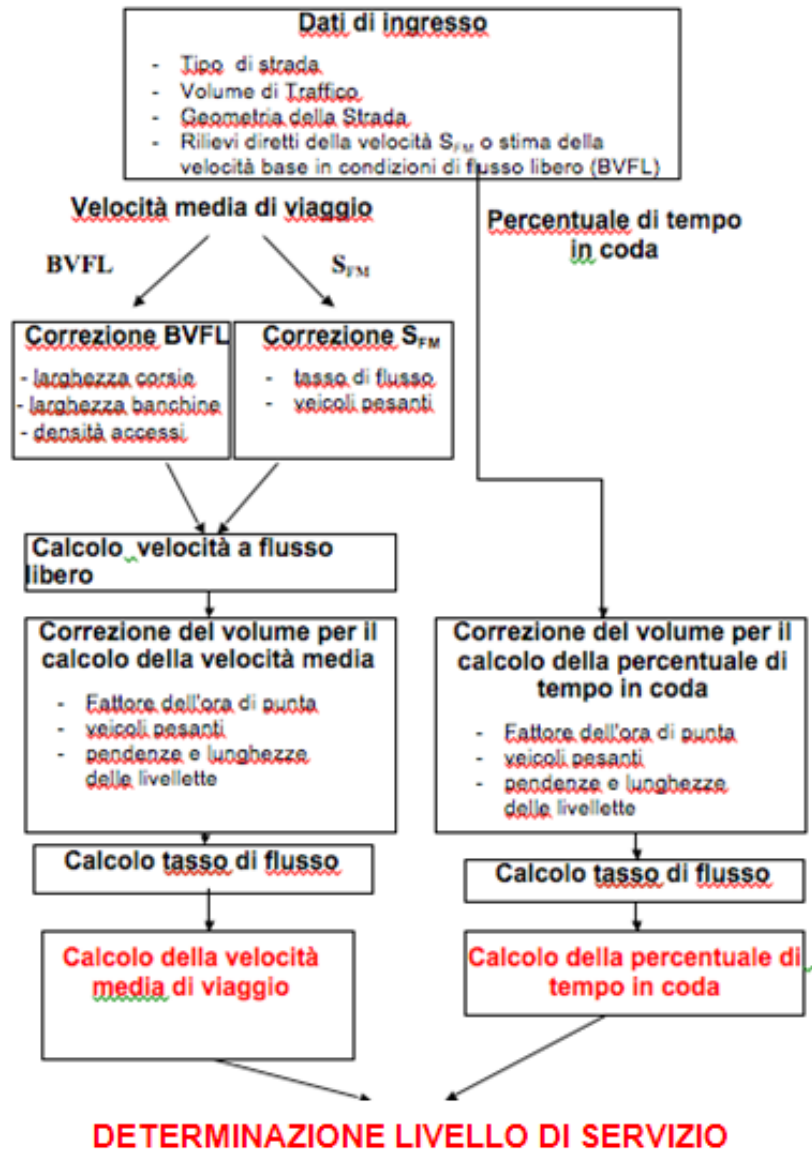


Figura 5.7 – La procedura di calcolo

Il manuale dell’HCM fornisce le relazioni e le tabelle che consentono di eseguire i calcoli riassunti nel diagramma a blocchi precedente..

5.6. La quantificazione dei flussi veicolari

La valutazione del livello di funzionalità della strada richiede di acquisire i dati relativi alla consistenza e alle caratteristiche dei flussi veicolari al fine di definire gli scenari attuali e nelle fasi temporali successive da assumere per la valutazione.

I flussi veicolari attuali

E' opportuno premettere che il Piano Urbano della Mobilità (PUM) acquisito dall'A.C. nel 2006 fornisce valori di flussi veicolari relativi al Viale R. Margherita (vedi tab. seguenti).

Viale R. Margherita -Traffico giornaliero		
	autov. equiv./g.	mezzi pes. %
Direzione centro città	11.314	5,15
Direzione periferia	7.208	2.45

Tabella 6a – Traffico giornaliero nel viale Regina Margherita (fonte P.U.M. 2006)

Viale Regina Margherita- Volume orario				
	(7:00/8:00)		(13:00/14:00)	
	autov. equiv./h	mezzi pes. %	autov. equiv./h	mezzi pes.%
Direzione centro città	875	3,45	722	12,11
Direzione periferia	333	5,28	654	2,67

Tabella 6b – Flussi orari nel viale Regina Margherita (fonte P.U.M. 2006)

Non è possibile, per le analisi in oggetto, far riferimento esclusivo ai valori suddetti per i seguenti motivi:

- non sono direttamente riconducibili allo scenario di traffico su via torrente Trapani;
- non risulta indicata con la necessaria precisione la sezione di rilevamento sul viale R. Margherita;
- i valori si riferiscono a non meno di 6 anni fa.

Si è reso pertanto necessario procedere ad un rilievo diretto dei dati dei flussi di traffico con le modalità di cui si dirà appresso.

Nel caso degli insediamenti ubicati nell'area oggetto dello studio, essendo di gran lunga prevalente la tipologia residenziale, gli spostamenti significativi sono quelli tipici casa-lavoro e pertanto sono state eseguite rilevazioni dei flussi in periodi di apertura delle scuole, escludendo le giornate non lavorative e quelle estreme del normale ciclo settimanale (il lunedì ed il venerdì) nelle fasce orarie mattutine (7:45-8:45) e di rientro all'ora di pranzo (12:45-13:45) e serale (19:45-20:45).

Più in dettaglio i rilievi sono stati eseguiti nei giorni di martedì e mercoledì di due settimane consecutive così come indicato di seguito:

- Martedì 31.05.2011
- Mercoledì 01.06.2011
- Martedì 07.06.2011
- Mercoledì 08.06.2011

I dati sono stati acquisiti mediante rilevamento con videocamera ubicata in prossimità dell'intersezione via Torrente Trapani/viale R. Margherita in posizione tale da avere la visione complessiva dei flussi al nodo ma soprattutto al fine di acquisire il valore del volume di traffico da utilizzare per la verifica funzionale della via Torrente Trapani.

La modalità di rilevamento adottata ha consentito di acquisire, oltre ai dati relativi alla via Torrente Trapani, anche elementi di valutazione di tipo generale sul funzionamento dell'intersezione semaforizzata sul viale R. Margherita dovendo, però, precisare che prescinde dall'obiettivo dello studio la verifica di dettaglio del nodo stesso che, fra l'altro, richiederebbe indagini e analisi di maggiore respiro temporale e spaziale che potrebbero essere svolte in futuro dall'A.C. con un'analisi della mobilità applicata ad un'area sufficientemente estesa.

Ciò premesso, l'elaborazione dei dati dedotti dal rilievo ha consentito di definire il volume del flusso veicolare e la sua composizione per tipologia di utenti per ciascuno dei 4 intervalli di 15' della fascia orarie di rilevamento.

L'analisi dei dati ha evidenziato che il maggior apporto di traffico all'intersezione è fornito dal viale Regina Margherita.

La presenza di mezzi pesanti (merci+bus) è risultata assai modesta ed infatti la loro incidenza sui flussi all'intersezione non supera qualche punto percentuale ed è del tutto trascurabile nel caso della via Torrente Trapani. Analoga considerazione può farsi per i pedoni mentre significativa è l'incidenza dei motocicli che costituiscono circa il 20% del flusso.

In relazione alle condizioni di funzionalità della via Torrente Trapani, in tutti i periodi di rilievo, non sono emerse significative situazioni di congestione. Infatti nel tratto della suddetta via adiacente all'intersezione nella fase di "rosso" non si sono verificate quasi mai code non smaltite successivamente nel tempo di "verde".

Nel viale Regina Margherita e nella via Fratelli di Mare, interessati da flussi verso l'intersezione ben più elevati, nei momenti più critici dell'ora di punta si sono verificate code ma non di entità tale da determinare situazioni di congestione per estesi intervalli di tempo.

In relazione a ciò, va anche doverosamente evidenziato che, come è noto, analoghe e più gravi condizioni di congestione si osservano in molti altri nodi stradali urbani della rete cittadina.

Ciò premesso, nelle Tabelle 5.7a, 5.7b, 5.7c seguenti si riassumono i valori dei flussi nei rami dell'intersezione così come schematizzati in Figura 5.7 relativi alla fascia oraria mattutina del giorno 08.06.2011 in corrispondenza della quale si è registrato il massimo valore del flusso orario nel nodo.

Nella Tabella 8 per completezza si riportano anche i valori finali relativi ai flussi della fascia oraria serale del giorno 07.06.2011 in corrispondenza della quale si sono registrati i valori massimi in un singolo quarto d'ora nella via Torrente Trapani, valori che saranno utilizzati per il calcolo del tasso di flusso relativo alla suddetta via.

I dati vengono forniti suddivisi per tipologie di veicoli e nei quattro intervalli di 15' dell'ora di rilevamento ed anche in termini di autovetture equivalenti per l'intera ora avendo adottato per il processo di omogeneizzazione i coefficienti seguenti:

- 1 nel caso di autovetture;
- 0,5 per i motocicli;
- 1,5 nel caso di autocarri;
- 2 per autobus.

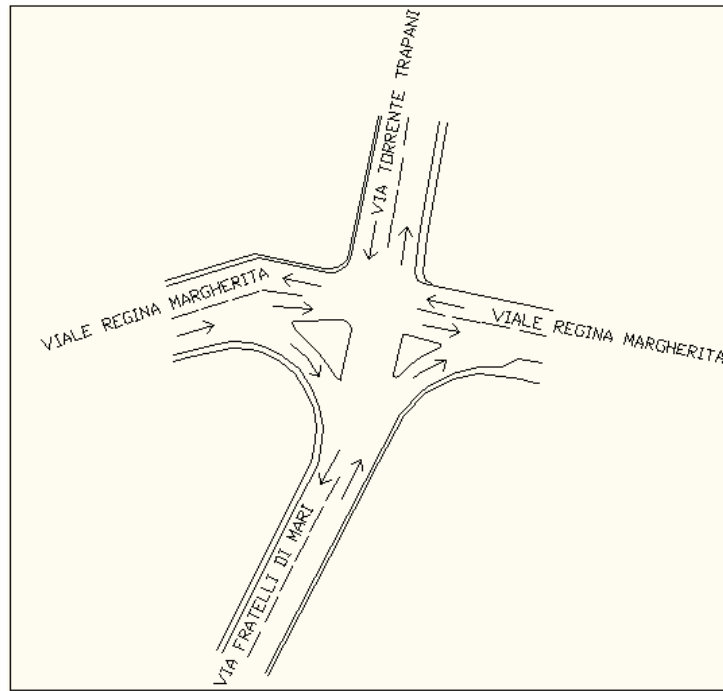


Figura 5.8 - schema dell'intersezione

Flussi nell'ora di punta mattutina –(08/06/2011 - h 07:45-08:45)

Tabella 7a - Flussi orari per corsia -tutte le tipologie veicolari- (08/06/2011 - h 07:45-08:45)								
	SEZIONE 1 (via Torr. Trapani) (Torr. Trapani ramo ovest)		SEZIONE 2 (via R. Margherita ramo sud)		SEZIONE 3 (Via F. di Mari) (Torr. Trapani ramo est)		SEZIONE 4 (via R. Margherita ramo nord)	
	E-O	O-E	N-S	S-N	0-E	E-O	S-N	N-S
AUTOVETTURE	114	181	895	400	206	294	302	642
MOTOCICLI	29	30	112	46	36	33	34	102
AUTOCARRI	8	2	23	16	3	13	15	18
AUTOBUS	0	0	2	2	2	0	2	4
TOT [veic/h]	151	213	1032	464	247	340	353	766

Tabella 7b - Flussi orari per corsia autov. equiv./tutte le tipologie veicolari (08/06/2011 H 07:45-08:45)								
	SEZIONE 1 (via Torr. Trapani) (Torr. Trapani ramo ovest)		SEZIONE 2 (via R. Margherita ramo sud)		SEZIONE 3 (Via F. di Mari) (Torr. Trapani ramo est)		SEZIONE 4 (via R. Margherita ramo nord)	
	E-O	O-E	N-S	S-N	0-E	E-O	S-N	N-S
AUTOVETTURE	114	181	895	400	206	294	302	642
MOTOCICLI	14,5	15	56	23	18	16,5	17	51
AUTOCARRI	12	3	34,5	24	4,5	19,5	22,5	27
AUTOBUS	0	0	4	4	4	0	4	8
TOT [autov. equiv/h]	140,5	199	989,5	451	232,5	330	345,5	728

Tabella 7c - Flussi per corsia – autov. eq. Totali (08/06/2011 H 07:45-08:45)									
	SEZIONE 1 (via Torr. Trapani) (Torr. Trapani ramo ovest)		SEZIONE 2 (via R. Margherita ramo sud)		SEZIONE 3 (Via F. di Mari) (Torr. Trapani ramo est)		SEZIONE 4 (via R. Margherita ramo nord)		MAX flusso veicolare
	E-O	O-E	N-S	S-N	0-E	E-O	S-N	N-S	
07:45-08:00	39,5	55,5	290	111	50	84,5	84	211	290
08:00-08:15	25	50,5	229,5	120	67	72,5	101,5	179,5	229,5
08:15-08:30	33	45,5	258	111	60	104	79	171	258
08:30-08:45	43,5	47,5	212	109	55,5	69	81	166,5	212
07:45-08:45	141	199	989,5	451	232,5	330	345,5	728	

Flussi nell'ora di punta serale per la via Torrente Trapani – (07/06/2011 - h 19:45/20:45)

Tabella 8 - Flussi orari per corsia –autov. eq. totali (07/06/2011 19:45-20:45)									
INTERVALLO	SEZIONE 1 (via Torr. Trapani) (Torr. Trapani ramo ovest)		SEZIONE 2 (via R. Margherita ramo sud)		SEZIONE 3 (Via F. di Mari) (Torr. Trapani ramo est)		SEZIONE 4 (via R. Margherita ramo nord)		MASSIMO FLUSSO VEICOLARE
	E-O	O-E	N-S	S-N	O-E	E-O	S-N	N-S	
19:45-20:00	72	40	161	162	46	75	140	142	162
20:00-20:15	64	33	174	136	42	81	109	140	174
20:15-20:30	64	35	131	152	41	70	131	110	152
20:30-20:45	61	25	136	123	23	52	103	123	136
19:45-20:45	261	132	601	572	151	277	483	514	

Come si può notare dai dati riportati nelle tabelle, i rami ove si registrano i maggiori valori dei flussi nell'intersezione sono quelli del viale R. Margherita con un valore massimo di 990 autov.eq./h nella corsia di marcia da Nord a Sud nella fascia oraria mattutina che, come era prevedibile, rappresenta l'ora di punta per il nodo viario concentrandosi in tale intervallo temporale il maggior movimento casa-lavoro.

Nella via Torrente Trapani, servendo essa un bacino di utenti limitato rispetto a quello ben più ampio di via R. Margherita e della via Fratelli di Mare, si sono registrati i minori valori dei flussi che sono risultati anche abbastanza simili nei diversi periodi temporali di rilevamento.

Con i valori della Tabella 8 è possibile calcolare il "tasso di flusso" da assumere come dato per la verifica della funzionalità della via Torrente Trapani utilizzando la relazione:

$$Q = 4 \times V_{15}$$

essendo V_{15} il volume relativo a quarto d'ora più caricato.

Per il traffico bidirezionale, risulta così:

$$Q = 448 \text{ aut. eq./h}$$

Per il senso di marcia O→E si ha:

$$Q = 290 \text{ aut. eq./h}$$

Il Fattore dell'Ora di Punta (**PHF**), ovvero il rapporto tra il volume dell'ora di punta veic/h e la massima portata che si prevede si potrebbe verificare durante la stessa ora vale:

$PHF = \frac{VHP}{4 * VLS}$

Nel caso in esame si ha:

$$PHF = 393/448 = 0,88$$

Il valore del tasso di flusso così valutato, in realtà, è rappresentativo delle condizioni d'uso del tratto della via Torrente Trapani immediatamente vicino all'intersezione. Poiché il flusso è alimentato dalle vie trasversali di accesso ai complessi presenti nella vallata, è evidente che esso assume valori minori nelle sezioni più a monte.

Tuttavia, al fine di pervenire ad una valutazione prudentiale, si assumerà il dato precedente per l'analisi della strada nella sua interezza. In ogni caso è utile osservare che il dato così assunto è notevolmente inferiore al valore della portata di servizio per corsia (800 autov. eq. /ora per corsia) riportato nella Tabella 3.4.a della normativa italiana (D.M. 5.11.2001) per le strade tipo E valore indicato dalla norma in rapporto alla composizione della carreggiata così come prevista per le strade di nuova realizzazione nel decreto ministeriale stesso.

5.7. Calcolo del livello di Servizio della via Torrente Trapani

Il calcolo verrà svolto nei tre scenari già illustrati:

- scenario attuale
- scenario a breve/medio termine
- scenario a lungo termine

facendo riferimento ai carichi urbanistici attuali e a quelli ipotizzabili in rapporto ai volumi edilizi che sarà possibile insediare nell'area così come comunicato dall'A. C.

Per le valutazioni relative agli scenari futuri non si terrà conto del traffico indotto dalle attrezzature sportive future in quanto le attività significative di questi impianti di norma si verificano in periodi temporali non di punta. Per lo scenario attuale, ovviamente, questa considerazione non è di alcun interesse in quanto il flusso veicolare che è stato direttamente rilevato riproduce di per sé le condizioni di mobilità reali per tutte le attività presenti nell'area.

Infine, per i due scenari futuri, per semplicità e ai fini delle valutazioni oggetto di questo studio, si è ritenuto sufficiente estrapolare il valore del flusso in proporzione ai maggiori volumi ipotizzabili.

Tabella 9 - Via Torrente Trapani -Flussi attuali e futuri (stimati)

scenario	Volume (mc)	abitanti	Q (autov. eq./h)
Attuale (rilievo diretto)	230.530	2.305	448
Breve/medio termine	539.136	5.391	1.048
Lungo termine	638.610	6.386	1.241

Nel richiamare i concetti di carattere generale illustrati nelle pagine precedenti, si riassumono di seguito i passi operativi essenziali.

Percentuale di tempo speso in coda:

$$PTC = BPTC \cdot f_{d/np}$$

nella quale:

- **BPTC** rappresenta la percentuale di tempo in speso in coda in condizioni base;
- $f_{d/np}$ indica il fattore correttivo che tiene conto dell' effetto combinato della distribuzione del traffico e del sorpasso impedito.

La percentuale di tempo in speso in coda in condizioni base:

$$BPTC = 100 \cdot \left(1 - e^{-\frac{Q_p}{VHF}} \right)$$

nella quale:

- Q_p è il tasso di flusso espresso in veic/h, stimato con l' espressione:

$$Q_p = \frac{VHF}{(PHF \cdot f_G \cdot f_{HV})}$$

- f_G rappresenta il fattore correttivo per la pendenza longitudinale;
- f_{HV} indica il fattore correttivo per la presenza di veicoli pesanti e si ricava dalla seguente espressione:

$$f_{HV} = 1 / [1 + P_T (E_T - 1) + P_R (E_R - 1)]$$

nella quale:

- P_T rappresenta la percentuale autocarri;
- P_R è percentuale veicoli turistici;
- E_T indica il coefficiente di equivalenza dei veicoli commerciali;
- E_R rappresenta il coefficiente di equivalenza dei veicoli ricreativi;

Per la quantificazione dei coefficienti di cui sopra, il manuale dell'HCM fornisce le tabelle seguenti.

Tasso di flusso bidirezionale (autovetture/h)	Incremento della percentuale di tempo in coda (%)					
	Percentuale di tracciato con sorpasso impedito (%)					
	0	20	40	60	80	100
Distribuzione direzionale del traffico = 50/50						
≤ 200	0,0	10,1	17,2	20,2	21,0	21,8
400	0,0	12,4	19,0	22,7	23,8	24,8
600	0,0	11,2	16,0	18,7	19,7	20,5
800	0,0	9,0	12,3	14,1	14,5	15,4
1400	0,0	3,6	5,5	6,7	7,3	7,9
2000	0,0	1,8	2,9	3,7	4,1	4,4
2600	0,0	1,1	1,6	2,0	2,3	2,4
3200	0,0	0,7	0,9	1,1	1,2	1,4
Distribuzione direzionale del traffico = 60/40						
≤ 200	1,6	11,8	17,2	22,5	23,1	23,7
400	0,5	11,7	16,2	20,7	21,5	22,2
600	0,0	11,5	15,2	18,9	19,8	20,7
800	0,0	7,6	10,3	13,0	13,7	14,4
1400	0,0	3,7	5,4	7,1	7,6	8,1
2000	0,0	2,3	3,4	3,6	4,0	4,3
≥ 2600	0,0	0,9	1,4	1,9	2,1	2,2
Distribuzione direzionale del traffico = 70/30						
≤ 200	2,8	13,4	19,1	24,8	25,2	25,5
400	1,1	12,5	17,3	22,0	22,6	23,2
600	0,0	11,6	15,4	19,1	20,0	20,9
800	0,0	7,7	10,5	13,3	14,0	14,6
1400	0,0	3,8	5,6	7,4	7,9	8,3
≥ 2000	0,0	1,4	4,9	3,5	3,9	4,2
Distribuzione direzionale del traffico = 80/20						
≤ 200	5,1	17,5	24,3	31,0	31,3	31,6
400	2,5	15,8	21,5	27,1	27,6	28,0
600	0,0	14,0	18,6	23,5	23,9	24,5
800	0,0	9,3	12,7	16,0	16,5	17,0
1400	0,0	4,6	6,7	8,7	9,1	9,5
≥ 2000	0,0	2,4	3,4	4,5	4,7	4,9
Distribuzione direzionale del traffico = 90/10						
≤ 200	5,6	21,6	29,4	37,2	37,4	37,6
400	2,4	19,0	25,6	32,5	32,5	32,8
600	0,0	16,3	21,8	27,2	27,6	28,0
800	0,0	10,9	14,8	18,6	19,0	19,4
≥ 1400	0,0	5,5	7,8	10,0	10,4	10,7

Tabella 10 - Fattore correttivo f_{dnp}

Tabella 11 - Coefficienti di equivalenza ET, ER

Tipo di veicolo	Intervallo di tassi di flusso bidirezionali (veic/h)	Intervallo di tassi di flusso direzionali (veic/h)	Tipo di terreno	
			Pianeggiante	Ondulato
Commerciale ET	0-600	0-300	1.1	1.8
	>600 e <1200	>300 e <600	1.1	1.5
	>1200	>600	1.0	1.0
Ricreativo ER	0-600	0-300	1.0	1.0
	>600 e <1200	>300 e <600	1.0	1.0
	>1200	>600	1.0	1.0

Tabella 12 - Fattore correttivo f_g

Intervallo di tassi di flusso bidirezionali (veic/h)	Intervallo di tassi di flusso direzionali (veic/h)	Tipo di terreno	
		Pianeggiante	Ondulato
0-600	0-300	1.00	0.77
>600 e <1200	>300 e <600	1.00	0.94
>1200	>600	1.00	1.00

Si osserva che, nel caso della via Torrente Trapani, la presenza di mezzi pesanti è trascurabile e il tipo di terreno (in rapporto alle caratteristiche della strada) è “pianeggiante”.

Inoltre, in relazione alle caratteristiche di viabilità urbana della via Torrente Trapani, che comporta una velocità e percorrenze ridotte, si può assumere il valore 100 per la percentuale di tracciato con sorpasso impedito. Tuttavia, per maggiore completezza, si è svolto il calcolo anche per il valore 60%.

Tabella 13 - Valori limite delle misure di efficacia			
Livello di servizio	Strade extraurbane secondarie		Strade locali
	Percentuale di tempo in coda	Velocità media di viaggio (km/h)	Percentuale di tempo speso in coda
A	<35	>90	<40
B	>35 e <50	>80 e <90	>40 e <55
C	>50 e <65	>70 e <80	>55 e <70
D	>65 e <80	>60 e <70	>70 e <85
E	>80	<60	>85
F	Il tasso di flusso supera la capacità		

Calcolo del Livello di Servizio nello scenario attuale

$$Q_p = 448 \text{ aut. eq./h}$$

Svolgendo la procedura, si ottiene:

$$\text{BTPC} = 32,55$$

$$\text{PTC} = 55,65 \text{ (100 \% sorpasso impedito)}$$

$$\text{PTC} = 54,55 \text{ (60 \% sorpasso impedito)}$$

Per lo scenario attuale si ottiene, nel secondo caso un **L. di S. “B”** mentre nel primo caso si ottiene un **L. di S. “C”** ma va sottolineato che quest’ultimo è quasi indicativo del L. di S. migliore B.

Calcolo del Livello di Servizio nello scenario a breve/medio termine

$$Q_p = 1.048 \text{ aut. eq./h}$$

Con procedura analoga si ottiene:

$$\text{PTC} = 72,18 \text{ (100 \% sorpasso impedito)}$$

$$\text{PTC} = 70,59 \text{ (60 \% sorpasso impedito)}$$

In entrambi i casi si ottiene per lo scenario attuale un **L. di S. "D"** ma, va sottolineato che i due valori sono quasi indicativi del L. di S. migliore "C".

Calcolo del Livello di Servizio nello scenario lungo termine

$$Q_p = 1.241 \text{ aut. eq./h}$$

Risulta:

PTC = 76,38 (100 % sorpasso impedito)

PTC = 74,65 (60 % sorpasso impedito)

A cui corrisponde il L. di S. "**D**"

In sintesi per i tre scenari si è ottenuto:

SCENARIO	L. di S.	
attuale	C	(→B)
breve/medio termine	D	(→C)
lungo termine	D	

Tabella 14 – Livelli di Servizio della via Torrente Trapani

I risultati dei calcoli evidenziano livelli di servizio accettabili nei tre scenari attuali e futuri.

Va ricordato che il calcolo del livello di servizio è stato svolto con il dato di flusso accertato in prossimità dell'intersezione e che, pertanto, nei tratti più a monte della via Torrente Trapani il L. di S. deve essere ancora migliore. A ciò si aggiunga che, per lo scenario attuale e di breve medio termine, il valore PTC era di per sé prossimo a quello caratterizzante un L. di S. migliore.

Tuttavia, come sottolineato dalla stessa normativa italiana, la funzionalità dei rami urbani concorrenti in una intersezione è assai condizionata dalla qualità della circolazione nel nodo. A tal proposito occorre precisare che dai rilievi non sono emerse significative situazioni di congestione e solamente in alcuni limitati casi sono stati osservati ritardi nelle code al semaforo che hanno coinvolto, però, pochi veicoli.

Per gli scenari futuri la volumetria prevista nel breve medio termine è oltre il doppio dell'attuale e un po' di più nel lungo termine; di conseguenza anche i flussi sulla via Torrente Trapani sono destinati ad incrementarsi.

Con un approccio approssimato, ma comunque accettabile per le finalità dello studio, si può ritenere che tali flussi aumenteranno in proporzioni ai carichi urbanistici

rendendo l'apporto di veicoli della via Torrente Trapani verso l'intersezione meno dissimile rispetto agli altri rami.

Per gli aspetti quantitativi del problema basta osservare che nell'ora di punta mattutina (ora di maggior carico veicolare nel nodo) sono stati rilevati i seguenti flussi:

Tabella 15 - Flussi orari per corsia –autov. eq. totali (08/06/2011 H 07:45-08:45)

	SEZIONE 1 (via Torr. Trapani) (Torr. Trapani ramo ovest)		SEZIONE 2 (via R. Margherita ramo sud)		SEZIONE 3 (Via F. di Mari) (Torr. Trapani ramo est)		SEZIONE 4 (via R. Margherita ramo nord)		MAX flusso veicolare
	E-O	O-E	N-S	S-N	O-E	E-O	S-N	N-S	
07:45-08:45	141	199	989,5	451	232,5	330	345,5	728	

In tale fascia oraria la corsia più caricata è risultata, come era fra l'altro prevedibile, quella di marcia da Nord a Sud (in uscita dal nodo) con un volume pari a 990 autov. eq/h mentre nella stessa corsia ma in entrata si è registrato un flusso di 728 autov. eq/h. Nella stessa fascia oraria per la corsia di marcia in entrata al nodo (O →E) è stato registrato un volume di approccio al nodo pari a 199 autov. eq/h.

Negli scenari futuri tale flusso è destinato a incrementarsi sino ai seguenti valori stimati in proporzione ai maggiori carichi antropici previsti:

Tabella 16 - Via Torrente Trapani -Flussi attuali e futuri (stimati) in approccio all'intersezione

Scenario attuale	199 autov. eq/h
Scenario a breve/medio termine	466 autov. eq/h
Scenario a lungo termine	551 autov. eq/h

Si osserva che i flussi in ingresso al nodo provenienti dalla via Torrente Trapani in atto rappresentano circa il 12% dei flussi entranti attuali, percentuale che è destinata a incrementarsi sino a valori fra il 24 e il 27% circa negli scenari futuri.

Esaminando il fenomeno solamente nella fase semaforica di verde a favore dei veicoli che percorrono la via Torrente Trapani e la via Fratelli di Mari, per il complesso di flussi in ingresso al nodo da Ovest e da Est (in atto 529 autov, eq/h), la via Torrente Trapani incide oggi all'incirca per il 38% e per il 58÷ 62% negli scenari futuri.

Per gli scenari futuri, pertanto, si può prevedere un certo livello di congestione nell'intersezione cui si potrà far fronte con provvedimenti che potranno riguardare la

regolazione semaforica, la gestione della circolazione nell'incrocio e nella rete di pertinenza ed, eventualmente, le caratteristiche del nodo.

Va però anche sottolineato che la prevista apertura del nuovo svincolo di Giostra è destinata a ridurre il flusso in circolazione nel viale Regina Margherita.

Ulteriori vantaggi potrebbero essere indotti nel caso della realizzazione della viabilità prevista dal PR.G. anche se per essa i tempi non potranno essere verosimilmente né brevi né, allo stato, ipotizzabili.

In ogni caso la verifica di dettaglio della funzionalità dell'intersezione negli scenari futuri, in presenza o meno di modifiche alla rete e/o alla circolazione, richiede attività e analisi che riguardano ambiti territoriali ben più estesi e che prescindono dalle finalità di questo studio.

5.8. Le problematiche connesse alla gestione delle emergenze

Ferme restando le superiori valutazioni sugli aspetti di "funzionalità trasportistica", queste ulteriori problematiche attengono soprattutto all'esclusività del collegamento stradale; infatti, gli insediamenti presenti e quelli in fase di realizzazione nella vallata del torrente Trapani sono accessibili esclusivamente dalla via omonima.

Questa criticità è quella più grave per la sicurezza delle persone che, al verificarsi dell'evento calamitoso, si trovano in ambiti territoriali privi di percorsi alternativi di accesso.

Si deve osservare, altresì, che l'interruzione del collegamento può verificarsi non necessariamente in occasioni di eventi calamitosi di carattere eccezionale ma anche in altre casi pur con minori periodi temporali di interruzione della mobilità.

Nel primo caso è a rischio l'incolumità delle persone in quanto viene compromesso il tempestivo arrivo dei soccorsi, nel secondo si determinano quantomeno disagi alla popolazione.

La presenza di percorsi alternativi è quindi il presupposto essenziale per la sicurezza e la vivibilità di un'area urbana.

Il superamento della criticità della funzione "accessibilità" può essere perseguito con la realizzazione di percorsi alternativi, anche di caratteristiche geometriche non elevate, ma comunque sufficienti a consentire le attività emergenziali (vie di evacuazione, transito delle colonne di soccorso ...).

In tale direzione sono possibili tante soluzioni di cui sarebbe opportuno verificare la fattibilità sotto il profilo, tecnico, amministrativo, economico e giuridico, fra cui:

- realizzazione della viabilità prevista dallo strumento urbanistico o di altri percorsi alternativi;.
- recupero e adeguamento di sentieri esistenti poco o non più utilizzati; in tal senso, si ha notizia di un antico tracciato di collegamento della vallata del torrente Trapani con la vallata contigua e potrebbe essere utile verificarne lo stato e le concrete possibilità di recupero;
- collegamento alla via Torrente Trapani del cosiddetto “Violetto dei Ligustri” esistente in prossimità dell’intersezione con il viale Regina Margherita ed in atto “cieco”.

Altro fondamentale elemento per sicurezza strettamente connesso al precedente è quello rappresentato dalla dotazione delle “Aree di Emergenza”.

In atto nella vallata del torrente Trapani a monte del viale regina Margherita il Piano Comunale di Protezione Civile, recentemente adottato dall’A.C., assegna al complesso sportivo “Cappuccini”, accessibile dalla via Torrente Trapani, il ruolo di “Area di Ricovero o di Accoglienza” e cioè una *“struttura in cui potrà essere sistemata la popolazione costretta ad abbandonare la propri casa per periodi più o meno lunghi”*.

Non sono invece previste “Aree di Attesa” e cioè luoghi in cui la popolazione possa raccogliersi e permanere in sicurezza sino all’arrivo dei soccorsi anche se l’area Cappuccini, nelle fasi iniziali di gestione dell’emergenza, può svolgere anche quella di Attesa.

Tuttavia, considerata la criticità della funzione *“accessibilità”*, per una più efficace mitigazione delle condizioni di rischio, si ritiene utile una maggiore diffusione delle Aree di Attesa in ambiti adeguati.

A tal fine, ferma restando l’opportunità di una più specifica e esaustiva iniziativa dell’A.C., si suggerisce di valutare l’ipotesi di prevedere che gli spazi liberi dei complessi edilizi in fase di realizzazione e in quelli eventualmente programmati siano configurati e attrezzati per svolgere anche le funzioni di “Area di Attesa”. Tutto ciò, ovviamente, fermo restando il possesso di tali aree dei requisiti di “luogo sicuro” e, per altro verso, ove non ostino motivazioni di tipo giuridico e amministrativo.

5.9. Considerazioni conclusive sugli aspetti connessi alla mobilità

In estrema sintesi, nel rimandare a quanto illustrato nelle pagine precedenti, si possono trarre le seguenti conclusioni.

Per le **problematiche di funzionalità trasportistica** la via Torrente Trapani consente il deflusso dei veicoli con livelli di servizio adeguati e ciò anche per gli scenari futuri di carico urbanistico; vanno segnalate, però, le cattive condizioni dei marciapiedi e, in qualche tratto, la loro inadeguatezza per la circolazione pedonale.

Va segnalato anche che limitate criticità per la mobilità veicolare, che si manifestano nelle ore di punta, sono presenti nell'intersezione semaforizzata con il viale Regina Margherita ma che, in atto, non sono da imputare alla via Torrente Trapani interessata da flussi di intensità minore degli altri rami concorrenti. Si deve anche precisare che criticità funzionali e quindi momenti di congestione della circolazione, anche di gravità maggiore di quella osservata, sono presenti nelle ore di punta in molti altri nodi della rete viaria urbana cittadina.

Tuttavia, negli scenari futuri, in conseguenza dei maggiori carichi urbanistici e quindi dei maggiori flussi nella via Torrente Trapani che risulteranno meno dissimili rispetto a quelli degli altri rami concorrenti nel nodo, si può prevedere un certo livello di congestione nell'intersezione cui si potrà far fronte con provvedimenti che potranno riguardare la regolazione semaforica, la gestione della circolazione nell'incrocio e nella rete di pertinenza ed, eventualmente, le caratteristiche del nodo.

Di contro va però anche sottolineato che la prevista apertura del nuovo svincolo di Giostra è destinata a ridurre il flusso in circolazione nel viale Regina Margherita.

Ulteriori vantaggi potrebbero essere indotti nel caso della realizzazione della viabilità prevista dal PR.G. anche se per essa i tempi non potranno essere verosimilmente né brevi né, allo stato, ipotizzabili.

In ogni caso la verifica di dettaglio della funzionalità dell'intersezione negli scenari futuri, in presenza o meno di modifiche alla rete e/o alla circolazione, richiede attività e analisi che riguarderebbero ambiti territoriali ben più estesi e che prescindono dalle finalità di questo studio.

Relativamente agli aspetti connessi alla **gestione delle emergenze**, rinviando alla lettura degli altri capitoli dedicati alle problematiche geotecniche e idrauliche,

l'area in oggetto presenta una grave criticità nella funzione "accessibilità" essendo la via Torrente Trapani l'unico itinerario possibile.

Il superamento della criticità della funzione accessibilità può essere perseguito con la realizzazione di percorsi alternativi anche di caratteristiche geometriche non elevate ma comunque sufficienti a consentire le attività emergenziali (vie di evacuazione, transito delle colonne di soccorso ...) così come suggerito nelle pagine precedenti.

Si ritiene inoltre opportuna, in presenza della precedente criticità della funzione "accessibilità", una maggiore diffusione delle **Aree di Attesa** in ambiti adeguati per il rafforzamento della dotazione prevista dal Piano Comunale di Protezione Civile, e cioè dell'"Area di Ricovero Cappuccini", anche valutando l'ipotesi di prevedere che gli spazi liberi dei complessi edilizi in fase di realizzazione e in quelli eventualmente programmati siano configurati e attrezzati per svolgere anche le funzioni di "Area di Attesa".

6. CONCLUSIONI DELLO STUDIO

Nel presente rapporto sono descritti i risultati delle attività svolte dal Dipartimento di Ingegneria Civile (D.I.C.) dell'Università degli Studi di Messina nell'ambito dell'incarico ricevuto dal Comune di Messina in merito ad uno "*Studio di pericolosità e di rischio nella vallata del Torrente Trapani, ad ovest del viale Regina Margherita, con riferimento alle problematiche geomorfologiche, idrauliche, di suscettibilità all'edificazione e di idoneità delle opere di urbanizzazione primaria e di mobilità urbana*".

Per tale area della città il Consiglio Comunale ha dato mandato all'Amministrazione Comunale di Messina di predisporre uno studio relativo alle aree edificabili aventi accesso o poste nelle vicinanze della via Torrente Trapani. Tra le varie problematiche per le quali l'Amministrazione Comunale ha avuto mandato, le attività svolte dal D.I.C. hanno riguardato gli aspetti geotecnici, gli aspetti idraulici e quelli connessi alla mobilità dell'area in esame.

Le **valutazioni di carattere geotecnico** hanno previsto innanzitutto un riesame di tutta la documentazione resa disponibile dall'Amministrazione Comunale con riferimento a studi di carattere geologico e geotecnico effettuati a corredo di progetti di interventi edilizi già realizzati, in corso di realizzazione o in progetto nell'area del Torrente Trapani. Per uno dei siti esaminati (*sito 1*), sul quale è stata poi focalizzata l'attenzione, tale fase dello studio ha consentito di definire un quadro unitario delle problematiche correlate alla stabilità sismica. Alcune delle conclusioni cui si è pervenuti sono poi state estese ai rimanenti siti in esame, per i quali, invece, la documentazione disponibile non è sufficiente alla redazione di uno studio di dettaglio.

Le problematiche che lo studio ha evidenziato sono correlate sia alla pericolosità geotecnica sismica di base dell'intera area del Torrente Trapani sia alle condizioni locali per le quali lo studio ha evidenziato possibili importanti effetti di amplificazione sismica di carattere stratigrafico e topografico. Le analisi condotte hanno mostrato che la particolare topografia e la complessa geometria dei contatti stratigrafici che caratterizzano il *sito 1* possono dare luogo ad importanti amplificazioni delle accelerazioni sismiche la cui corretta valutazione richiede una

approfondita analisi di risposta sismica locale che tenga conto del comportamento non lineare dei terreni e degli aspetti bi- e tri-dimensionali del problema.

Un'analisi dei motivi di esclusione della verifica alla liquefazione ha, poi, evidenziato la necessità di dettagliate verifiche in merito alla possibile insorgenza di tale fenomeno in alcune delle aree oggetto dello studio.

Infine, è stata evidenziata la necessità di approfondire la caratterizzazione geotecnica dei depositi di terreno oggetto delle valutazioni con particolare riferimento ai parametri necessari per la definizione del comportamento sismico. Tale supplemento di indagini si ritiene necessario per successive più approfondite valutazioni della risposta sismica locale e delle verifiche di stabilità sismica rispetto a potenziali fenomeni di liquefazione e di instabilità dei pendii.

Per ciò che riguarda gli **aspetti idraulici** lo studio ha evidenziato che per quanto riguarda il sottobacino "Trapani alto" si è riconosciuto un unico punto di **criticità idraulica** costituito **dall'imbocco del collettore** nel quale vengono convogliate le acque provenienti dal reticolo idrografico naturale di monte, che costituisce di fatto un restringimento della sezione fluviale naturale con inevitabile formazione di rigurgiti delle correnti idriche in arrivo da monte. L'innalzamento della corrente a tergo dell'imbocco potrebbe quindi causare una tracimazione dei volumi idrici che finirebbero per riversarsi sulla sede stradale della via Torrente Trapani percorrendola ad alta velocità (viste le elevate pendenze) trascinando nel contempo notevoli quantità di materiale solido (*correnti iperconcentrate*).

Dalle verifiche condotte risulta che la **massima portata transitabile** attraverso il manufatto di imbocco, con un **franco di sicurezza di 1.0 m**, è pari a **9.3 m³/s** corrispondente ad un tempo di ritorno di **circa 75 anni**, e che la portata centennale transita con un franco di 0.34 m. Le condizioni di sicurezza sono quasi sempre soddisfatte considerando anche il fatto che l'imbocco va in pressione solo per portate corrispondenti a tempi di ritorno duecentennali. Si sono tuttavia evidenziati alcuni particolari elementi di criticità residui da affrontare specificatamente relativamente agli elevati valori della velocità della corrente, le condizioni di cattiva manutenzione dell'alveo naturale ed alle possibili insufficienze idrauliche delle sezioni trasversali dello stesso alveo naturale.

Nel caso del sottobacino “Trapani basso” le criticità idrauliche individuate sono dovute essenzialmente all’incremento dei picchi di piena causato dall’impermeabilizzazione dei versanti per degli interventi edilizi previsti a breve e medio termine o addirittura in corso.

Con questo scenario futuro i risultati della verifica idraulica non hanno mostrato palesi fallanze del sistema ma tuttavia i franchi di sicurezza all’interno del collettore risultano inferiori al metro, valore che rappresenta tuttavia una soglia di sicurezza generalmente accettata.

Ma, per assurdo, questi risultati potrebbero addirittura rivelarsi poco esplicitivi del corretto funzionamento del collettore in quanto è palese la inadeguatezza del sistema complessivo di convogliamento e recapito nel collettore “Trapani basso”. In queste condizioni si potrebbe di fatto avere una situazione per cui i volumi di piena scorrono interamente sulla pavimentazione stradale e, nel contempo, il collettore sottostante è praticamente vuoto convogliando, di fatto, solo la portata che proviene dal sottobacino “Trapani alto”. Volumi idrici così cospicui si propagherebbero quindi in forma di una lama d’acqua, anche di rilevante altezza (parecchi cm) con caratteristiche di elevate velocità e spinte idrodinamiche.

La presenza poi di parti del bacino nelle quali si hanno fenomeni significativi di erosione idrica superficiale aggraverebbe la situazione in quanto i volumi solidi distaccati dal ruscellamento superficiale vengono recapitati direttamente sulla sede stradale dove le correnti idriche li trasporterebbero verso valle causando accumuli localizzati ed intasamenti delle caditoie stradali. Il risultato sarebbe quello di creare problemi sia agli insediamenti abitativi a quota strada sia alla circolazione dei veicoli sulla via Torrente Trapani con notevole peggioramento della funzionalità trasportistica della stessa via e con un serio pericolo per l’incolumità degli eventuali passanti.

Tali fenomeni si svolgerebbero in realtà in maniera ancora più parossistica considerando il fatto che l’immissione di questi volumi idrici non sarebbe “distribuita” ma in molti casi “puntuale” cioè concentrata in corrispondenza dei collegamenti di superficie tra i siti soggetti ad interventi edilizi e la via Torrente Trapani soprattutto se in questi collegamenti mancano del tutto o sono presenti in maniera insufficiente i manufatti idraulici di collegamento verticale.

Relativamente alle **problematiche di funzionalità trasportistica** lo studio ha evidenziato che, anche per gli scenari futuri di carico urbanistico, la via Torrente Trapani consente il deflusso dei veicoli con livelli di servizio adeguati. Limitate criticità per la mobilità veicolare, comunque emerse nello studio, non sono imputabili alla via Torrente Trapani e caratterizzano anche molti altri nodi della rete viaria urbana cittadina.

Negli scenari futuri si può prevedere un certo livello di congestione dell'intersezione con il viale Regina Margherita cui si potrà far fronte, mediante la regolazione semaforica, la gestione della circolazione nell'incrocio e nella rete di pertinenza ed, eventualmente, intervenendo anche sulle caratteristiche del nodo. Di contro, un contributo positivo per la mobilità nell'area potrà scaturire dall'apertura del nuovo svincolo di Giostra.

In ogni caso la verifica di dettaglio della funzionalità dell'intersezione negli scenari futuri, in presenza o meno di modifiche alla rete e/o alla circolazione, richiede attività e analisi estese sia come orizzonte temporale sia con riferimento alla rete viaria.

Relativamente alla gestione delle emergenze l'area in oggetto presenta una grave criticità nella "funzione accessibilità" che può essere superata con la realizzazione di percorsi alternativi, anche di caratteristiche geometriche non elevate, ma sufficienti a consentire le attività emergenziali. Al superamento di tale criticità può, inoltre, concorrere una maggiore diffusione delle Aree di Attesa di Protezione Civile che può essere ottenuta anche prevedendo spazi liberi all'interno dei complessi edilizi in fase di realizzazione e in quelli eventualmente programmati purché tali spazi siano configurati e attrezzati per svolgere anche le funzioni di "Area di Attesa".