

# PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA



## PROGETTO DEFINITIVO

### EUROLINK S.C.p.A.

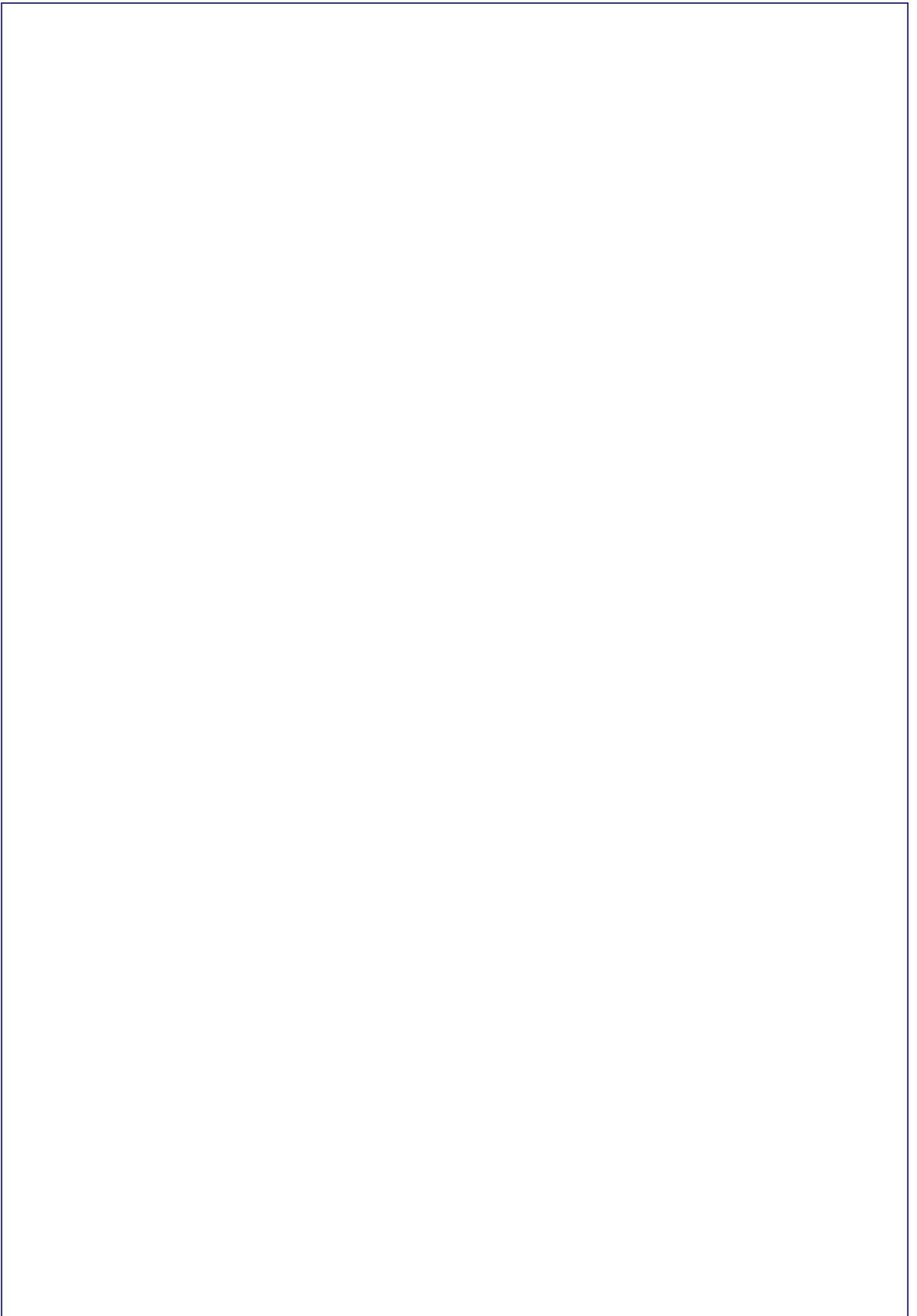
IMPREGILO S.p.A. (MANDATARIA)  
SOCIETÀ ITALIANA PER CONDOTTE D'ACQUA S.p.A. (MANDANTE)  
COOPERATIVA MURATORI E CEMENTISTI - C.M.C. DI RAVENNA SOC. COOP. A.R.L. (MANDANTE)  
SACYR S.A.U. (MANDANTE)  
ISHIKAWAJIMA - HARIMA HEAVY INDUSTRIES CO. LTD (MANDANTE)  
A.C.I. S.C.P.A. - CONSORZIO STABILE (MANDANTE)

<p><b>IL PROGETTISTA</b></p>  <p>S.p.A. CONSULENZA E ASSISTENZA TECNICA nel campo della GEINGEGNERIA</p> <p>Dott. Ing. G. Cassani Dott. Ing. E. Pagani Ordine Ingegneri Milano n°15408</p> 	<p><b>IL CONTRAENTE GENERALE</b></p> <p>Project Manager (Ing. P.P. Marcheselli)</p>	<p><b>STRETTO DI MESSINA</b> Direttore Generale e RUP Validazione (Ing. G. Fiammenghi)</p>	<p><b>STRETTO DI MESSINA</b> Amministratore Delegato (Dott. P. Ciucci)</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------

<p><i>Unità Funzionale</i></p> <p><i>Tipo di sistema</i></p> <p><i>Raggruppamento di opere/attività</i></p> <p><i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i></p> <p><i>Titolo del documento</i></p>	<p>COLLEGAMENTI CALABRIA</p> <p>INFRASTRUTTURE STRADALI – OPERE CIVILI</p> <p>ELEMENTI DI CARATTERE GENERALE</p> <p>GALLERIA NATURALE</p> <p>RELAZIONE SULLA VALUTAZIONE DELLE SUBSIDENZE INDOTTE E SUI POSSIBILI DANNI AGLI EDIFICI</p>	<p>CS0212_F0</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------

CODICE	C G 0 8 0 0	P	R X	D	C	S C	0 0	G N	0 0	0 0	0 0	0 1	F0
--------	-------------	---	-----	---	---	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
F0	20/06/2011	EMISSIONE FINALE	M.FRANDINO	A.BELLOCCHIO	G.CASSANI



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI CALABRIA – PARTE GENERALE</b> <b>STRADALE – Relazione sulla valutazione delle</b> <b>subsidenze indotte e sui possibili danni agli edifici</b>	<i>Codice documento</i> CS0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

## INDICE

INDICE .....	3
1 Premessa .....	5
2 Sintesi dei terreni e del tracciato .....	6
2.1 Censimento interferenze.....	6
3 Valutazione del rischio di danno.....	8
3.1 Valutazione del rischio di danno: Cenni teorici.....	8
3.2 Valutazione del rischio di danno: Procedura progettuale .....	10
3.2.1 Classificazione edifici sensibili .....	11
3.2.2 Considerazioni sulla sensibilità in funzione della tipologia edificio - Caratteristiche morfologiche - Stato di consistenza edifici .....	13
4 Analisi del quadro deformativo indotto dallo scavo delle gallerie.....	14
4.1 Metodo empirico: Cenni teorici .....	14
4.2 Analisi di subsidenza – Bacini trasversali “green field”.....	17
4.2.1 Galleria a doppia canna, Ramo A-B.....	19
4.2.2 Galleria a singola canna: Ramo A.....	23
4.2.3 Galleria a singola canna: Ramo B.....	27
4.2.4 Galleria a doppia canna, Ramo C-D .....	28
4.2.5 Galleria a singola canna: Ramo C .....	36
4.2.6 Galleria a singola canna: Ramo D .....	38
5 Analisi delle subsidenze e valutazione dei danni indotti sui fabbricati .....	40
5.1 Deformazioni indotte sui fabbricati: Cenni teorici .....	40
5.2 Categorie di danno: Cenni teorici.....	42
5.2.1 Spostamenti e distorsioni limite.....	43
5.3 Osservazioni.....	46
5.4 Cedimenti a lungo termine .....	47
6 Risultati delle Analisi .....	48
6.1 Stima del volume perso per le analisi di danno .....	48
6.2 Sintesi dei Risultati .....	49
6.2.1 Ramo A – Vp = 1% .....	49
6.2.2 Ramo A – Vp = 1.5% .....	54
6.2.3 Ramo B – Vp = 1% .....	57

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI CALABRIA – PARTE GENERALE</b> <b>STRADALE – Relazione sulla valutazione delle</b> <b>subsidenze indotte e sui possibili danni agli edifici</b>	<i>Codice documento</i> CS0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

6.2.4	Ramo B – Vp = 1,5% .....	58
6.2.5	Ramo C – Vp = 1% .....	59
6.2.6	Ramo C – Vp = 1,5% .....	60
6.2.7	Ramo D – Vp = 1% .....	61
6.2.8	Ramo D – Vp = 1,5% .....	63
6.2.9	Sintesi delle classi di danno .....	64
7	Analisi degli edifici “sensibili” e scelte degli interventi di presidio .....	66
8	Allegati .....	67

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI CALABRIA – PARTE GENERALE STRADALE – Relazione sulla valutazione delle subsidenze indotte e sui possibili danni agli edifici	<i>Codice documento</i> CS0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

## 1 Premessa

La presente relazione illustra i risultati dello studio svolto allo scopo di definire gli effetti sui fabbricati e sulle infrastrutture visti in termini di cedimenti, di deformazioni e di possibili danni indotti dallo scavo meccanizzato delle Gallerie Autostradali lato Calabria nell'ambito dei lavori per la realizzazione dei collegamenti del Ponte sullo Stretto.

Il lavoro è basato essenzialmente sui dati ottenuti da:

- caratterizzazione geotecnica;
- censimento delle opere interferenti;
- planimetrie e profili altimetrici di tracciato.

Lo studio effettuato si struttura sinteticamente nel seguente modo:

- **FASE 0:** Valutazione progettuale del quadro deformativo indotto dallo scavo delle gallerie. Tale valutazione progettuale porta alla definizione del probabile bacino di subsidenza (condizione di *greenfield*) con ipotesi di variabilità del Volume perso  $V_p = 0.5/1.0/1.5/2.0\%$  e parametro  $k$ , dipendente dal tipo di terreno, variabile tra 0.3 e 0.5 (CAPITOLO 4)
- **FASE 1A:** Raccolta dei dati di input relativi agli edifici interessati dal bacino di subsidenza indotto dallo scavo ottenuti dagli elaborati grafici (sezioni e planimetrie di progetto) e dalle relative schede di censimento.
- **FASE 1B:** Analisi preliminare dei dati attraverso un procedimento sviluppato sulla base di numerose esperienze in vera grandezza (Burland, 1995; Mair, Taylor, Burland, 1996); tale procedimento permette di stimare i cedimenti indotti allo scavo delle singole gallerie, o quelli indotti dallo scavo di entrambe le gallerie sovrapponeandone gli effetti, e da questi di definire delle categorie di danno correlato. In questa fase si ipotizza una variabilità del Volume perso  $V_p=1.0-1.5\%$  e parametro  $k$  pari a 0.3. (CAPITOLO 5)
- **FASE 2:** Individuazione degli edifici aventi categoria di danno maggiore di un certo valore definito a priori e, a valle degli studi di approfondimento condotti sugli edifici, definizione di eventuali interventi di massima per il controllo e la mitigazione dei cedimenti indotti dallo scavo.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI CALABRIA – PARTE GENERALE STRADALE – Relazione sulla valutazione delle subsidenze indotte e sui possibili danni agli edifici		<i>Codice documento</i> CS0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 2 Sintesi dei terreni e del tracciato

Il tracciato analizzato, riguardante le sole gallerie naturali stradali Lato Calabria, interessa le gallerie:

- “Ramo A”, per un’estensione totale di circa 1.6km;
- “Ramo B”, per un’estensione totale di circa 0.5km;
- “Ramo C”, per un’estensione totale di circa 0.6km;
- “Ramo D”, per un’estensione totale di circa 1.1km.

L’opera prevista è costituita da quattro gallerie naturali, poste ad interassi variabili, interessate da coperture variabili da 5 a 70 m. Lo scavo è previsto a piena sezione.

I litotipi prevalentemente incontrati sono :

- Conglomerati di Pezzo
- Trubi
- Ghiaie e Sabbie di Messina
- Plutoniti

Lungo il tracciato sono previste i seguenti tipi di sezione:

- galleria a doppia canna (in tratti in cui le due canne distano meno di 50m);
- galleria a una corsia di marcia con area di scavo di circa 140m<sup>2</sup> (Ramo B e D);
- galleria a due corsie di marcia con area di scavo di circa 180m<sup>2</sup> (Ramo A e C);
- galleria allargata con area di scavo di circa 210m<sup>2</sup> (Ramo A).

Per l’analisi dei cedimenti indotti in superficie e delle conseguenti deformazioni indotte sulle strutture interferite, è stato eseguito già in fase di progettazione definitiva un censimento delle interferenze che ha fornito un elenco dettagliato dei fabbricati in oggetto, della loro collocazione rispetto all’asse delle gallerie e della posizione delle gallerie rispetto al piano campagna.

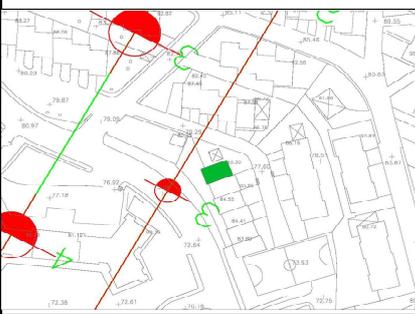
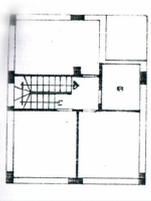
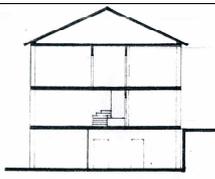
### 2.1 Censimento interferenze

Il censimento delle opere interferenti ha compreso sia gli edifici sia le altre opere preesistenti.

Le informazioni raccolte dal censimento sono le seguenti:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>COLLEGAMENTI CALABRIA – PARTE GENERALE</b> <b>STRADALE – Relazione sulla valutazione delle</b> <b>subsidenze indotte e sui possibili danni agli edifici</b>	<b>Codice documento</b> CS0212_F0	<b>Rev</b> F0

- destinazione d'uso dei fabbricati;
- tipologia di struttura (in muratura o in cls);
- dimensioni e posizione plano-altimetrica dei fabbricati rispetto all'asse delle gallerie;

<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO OPERE DI COLLEGAMENTO		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO OPERE DI COLLEGAMENTO		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO OPERE DI COLLEGAMENTO							
CENSIMENTO INTERFERENZE SCHEDA FABBRICATI	Codice documento <b>ME 911-50</b>	Rev. -	Data <b>07/07/2010</b>	CENSIMENTO INTERFERENZE SCHEDA FABBRICATI	Codice documento <b>ME 911-50</b>	Rev. -	Data <b>07/07/2010</b>	CENSIMENTO INTERFERENZE SCHEDA FABBRICATI	Codice documento <b>ME 911-50</b>	Rev. -	Data <b>07/07/2010</b>
<b>OPERE DI COLLEGAMENTO VERSANTE SICILIA</b>  INDAGINE SUI FABBRICATI  Censimento fabbricato n° <b>ME 911-50</b>  P. d. L. n° 79 IN DITTA VITALE IMMOBILIARE S.P.A.			<b>INFORMAZIONI SUL FABBRICATO n° ME 911-50</b>			<b>PLANIMETRIE E SEZIONI DEL FABBRICATO</b>					
											
RESPONSABILE DI CAMPO geom. Santo Cavalieri			RESPONSABILE DI CONTROLLO Ing. Giovanni Chiovetta								
			<b>PLANIMETRIA UBICAZIONE FABBRICATO</b>			Sezione					

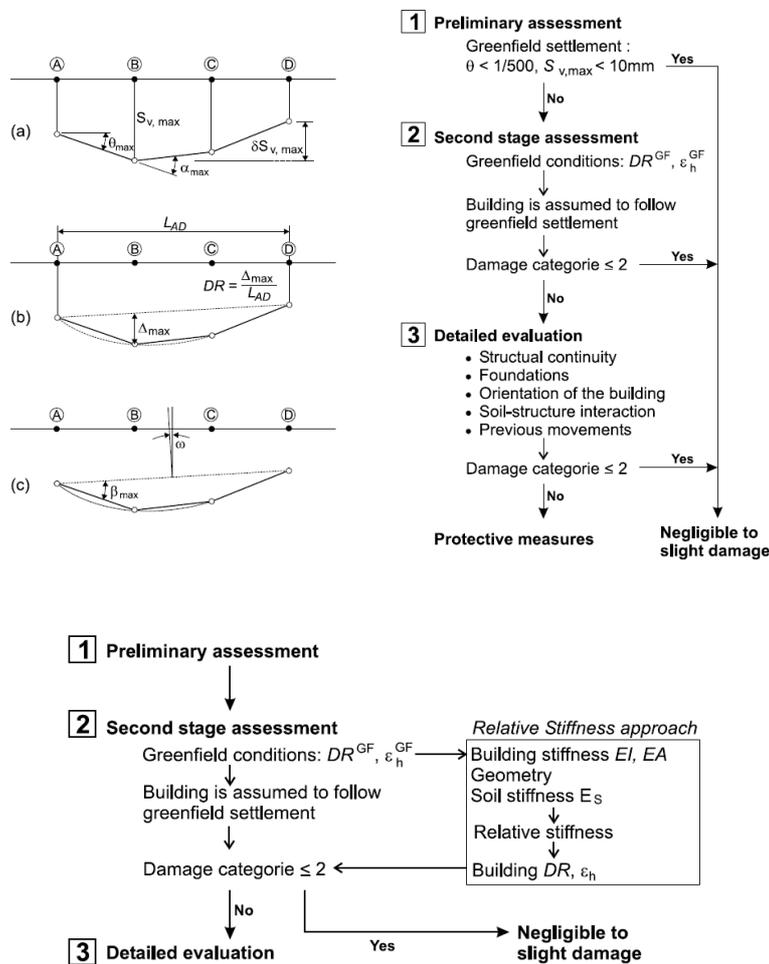
<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO OPERE DI COLLEGAMENTO		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO OPERE DI COLLEGAMENTO		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO OPERE DI COLLEGAMENTO							
CENSIMENTO INTERFERENZE SCHEDA FABBRICATI	Codice documento <b>ME 911-50</b>	Rev. -	Data <b>07/07/2010</b>	CENSIMENTO INTERFERENZE SCHEDA FABBRICATI	Codice documento <b>ME 911-50</b>	Rev. -	Data <b>07/07/2010</b>	CENSIMENTO INTERFERENZE SCHEDA FABBRICATI	Codice documento <b>ME 911-50</b>	Rev. -	Data <b>07/07/2010</b>
PROSPETTO			<b>PRINCIPALI CARATTERISTICHE STRUTTURALI</b>			<b>FONTI:</b>					
			Tipo di struttura: <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> MURATURA</li> <li><input type="checkbox"/> CEMENTO ARMATO</li> <li><input type="checkbox"/> ACCIAIO</li> <li><input type="checkbox"/> Altro</li> </ul>			(1) Progetto - Rilievo (2) Informazione fornita da tecnici/proprietà (3) Indagine visiva (4) Corporazione con edifici analoghi adiacenti (5) Informazione fornita da terzi (amministratori, condomini, ecc.) (6) Fonti bibliografiche e/o d'archivio (6) Fonti bibliografiche e/o d'archivio					
			Tipo di orizzontamento: <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Cemento armato e laterizi</li> <li><input type="checkbox"/> Acciaio e laterizi</li> <li><input type="checkbox"/> Altro</li> </ul>								
			Tipo di fondazione: <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Diretta</li> <li><input type="checkbox"/> Diretta</li> <li><input type="checkbox"/> Indiretta</li> </ul>			Travi Continue Placote / Piastra Pali					
<b>NOTIZIE GENERALI</b>			<b>PRINCIPALI CARATTERISTICHE GEOTECNICHE</b>			<b>STATO DI CONSISTENZA VISIVO</b>					
Particella fig. <b>102/A</b> part. <b>2327</b> Corpo di fabbrica <b>ME 911-50</b> Epoca di costruzione			<b>STRATIGRAFIA TERRENO DI FONDAZIONE</b>			Quadro lesionario: <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> LIEVE - LOCALIZZATO</li> <li><input type="checkbox"/> LIEVE DIFFUSO</li> <li><input type="checkbox"/> GRAVE - LOCALIZZATO</li> <li><input type="checkbox"/> GRAVE - DIFFUSO</li> </ul>					
Destinazione uso <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> Residenziale</li> <li><input type="checkbox"/> Commerciale</li> <li><input type="checkbox"/> Artigianale</li> <li><input type="checkbox"/> Industrie</li> <li><input type="checkbox"/> Scuole, Asili</li> <li><input type="checkbox"/> Ospedali, Case di riposo</li> <li><input type="checkbox"/> Altro</li> <li><input type="checkbox"/> Non abitato</li> </ul>			0.0 m-14.7m 14.7m-28.0m 28.0m-31.8m 31.8m-41.0m 41.0m-47.0m			0 - 1 mm 1 - 2 mm 2 - 5 mm altro					
Numero dei piani interrati: <b>0</b> Numero dei piani fuori terra: <b>3</b> Altezza fuori terra: <b>9.00</b> Quota di imposta delle fondazioni: <b>76.6</b>			riporto in matrice proclastica moderatamente consistente argilla da consistente a molto consistente sabbia ghiaiosa o limosa addensata ghiaia sabbiosa molto addensata argilla con intercalazioni sabbiose molto consistente			Stato conservazione finiture <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> Ottimo</li> <li><input type="checkbox"/> Buono</li> <li><input type="checkbox"/> Discreto</li> <li><input type="checkbox"/> Altro</li> </ul>					
			<b>LIVELLO DI FALDA</b>			Stato di conservazione Impianti <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Ottimo</li> <li><input type="checkbox"/> Buono</li> <li><input type="checkbox"/> Discreto</li> <li><input type="checkbox"/> Altro</li> </ul>					
			a circa - m dal piano campagna (1-2)								

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI CALABRIA – PARTE GENERALE STRADALE – Relazione sulla valutazione delle subsidenze indotte e sui possibili danni agli edifici</b>		<i>Codice documento</i> CS0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 3 Valutazione del rischio di danno

Si riporta nel seguito una sintesi della procedura progettuale adottata nell’ambito della valutazione del potenziale rischio di danno sui fabbricati.

#### 3.1 Valutazione del rischio di danno: Cenni teorici



**Figura 1 - Procedura di valutazione del rischio**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI CALABRIA – PARTE GENERALE STRADALE – Relazione sulla valutazione delle subsidenze indotte e sui possibili danni agli edifici	<i>Codice documento</i> CS0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

### 1) “Preliminary Assessment”

È consuetudine adottare una soglia limite al di sotto della quale si ammette trascurabile il rischio di danni agli edifici, tale soglia è caratterizzata da:

- Cedimento max in corrispondenza dell'edificio  $\leq 10\text{mm}$
- Massima rotazione rigida o distorsione angolare  $\leq 1/500$

### 2) “Second stage Assessment”

In questa fase si possono individuare due sottofasi di approfondimento:

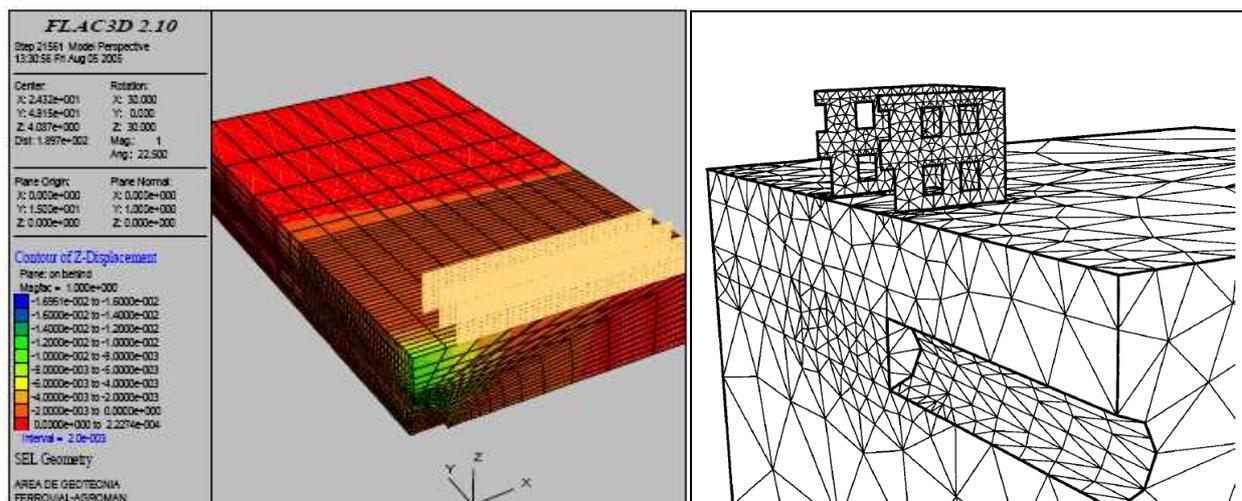
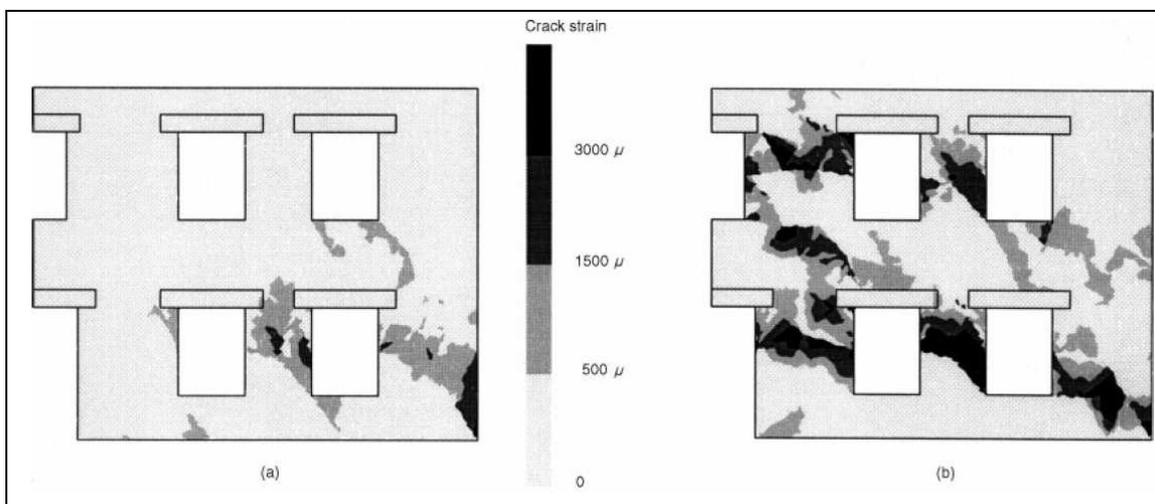
- a) Analisi di *greenfield*: si valuta il danno potenziale sugli edifici definendone le classi senza considerare l'interazione terreno-struttura. Nelle classificazioni del rischio di danno riportate in bibliografia (Burland 1977, Rankine 1988, Boscardin e Cording 1989) gli edifici che ricadono nella classe 2 e nelle classi inferiori sono ritenuti non soggetti a danni di rilievo (all'interno di tali classificazioni fino ed incluso la classe 3 ci si riferisce a danni alle finiture e non a danni strutturali, i valori delle aperture di fessure si riferiscono sempre alle murature).
- b) Metodo semplificato di Potts e Addenbrooke (1996/1997): si valuta il danno potenziale sugli edifici definendone le classi tenendo conto dell'interazione terreno struttura.

Vengono nuovamente classificati gli edifici non soddisfacenti del punto a) con lo stesso criterio  $\leq 2$ .

### 3) “Detailed evaluation”

Successivamente alle analisi condotte negli step 1) e 2) si valutano le tipologie di edificio che possono presentare diverse sensibilità rispetto alle classi di danno individuate nelle fasi precedenti e che possono condurre anche ad un criterio di accettabilità più restrittivo.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI CALABRIA – PARTE GENERALE</b> <b>STRADALE – Relazione sulla valutazione delle</b> <b>subsidenze indotte e sui possibili danni agli edifici</b>		<i>Codice documento</i> CS0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



**Figura 2 - Modelli numerici**

### 3.2 Valutazione del rischio di danno: Procedura progettuale

A differenza di quanto previsto nell'usuale pratica progettuale esposta nel Paragrafo precedente, nel progetto l'analisi dei cedimenti è stata estesa a tutti gli edifici presenti in una fascia di 50m dall'asse del tracciato, indipendentemente dai valori di cedimento e distorsione angolare evidenziati dall'analisi "green field".

Con riferimento alla valutazione del potenziale rischio di danno nell'ambito dei lavori di costruzione dei collegamenti stradali tra il Ponte sullo Stretto e la città di Messina, si riporta nel seguito la sintesi procedurale adottata:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI CALABRIA – PARTE GENERALE STRADALE – Relazione sulla valutazione delle subsidenze indotte e sui possibili danni agli edifici	<i>Codice documento</i> CS0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

- 1) **FASE 0:** Valutazione progettuale del quadro deformativo indotto dallo scavo delle gallerie. Tale analisi consente di definire il probabile bacino di subsidenza (*condizione di greenfield*) con ipotesi di variabilità del Volume perso  $V_p=0.5/1.0/1.5/2.0\%$ .  
 La previsione degli effetti deformativi si basa su relazioni empiriche ampiamente confermate da esperienze precedenti e dalla letteratura scientifica di riferimento (Peck 1969, Attewell e Fermer 1974; Attwell 1977; Attwell & Woodman 1982; O'Reilly e New 1982; Rankin 1987; Shirlaw e Doran, 1988).
  
- 2) **FASE 1:** Analisi preliminare dei dati attraverso un procedimento sviluppato sulla base di numerose esperienze in vera grandezza (Burland, 1995; Mair, Taylor, Burland, 1996); tale procedimento permette di stimare i cedimenti indotti allo scavo delle singole gallerie, o quelli indotti dallo scavo di entrambe le gallerie sovrapponeandone gli effetti, e da questi di definire delle categorie di danno correlato. In questa fase si ipotizza una variabilità del Volume perso  $V_p=1.0-1.5\%$  e parametro  $k$  pari a 0.3. (vedi Paragrafo 6.1)
  
- 3) **FASE 2:** Successivamente alle analisi condotte nella FASE 0 e nella FASE 1 si procede all'individuazione delle tipologie di edifici/interferenze che in funzione della tipologia costruttiva, della destinazione d'uso, delle finiture/arredi di pregio nonché delle condizioni dell'edificio stesso, possono presentare diversa vulnerabilità rispetto alle classi di danno definite in FASE 1. Tale ulteriore approfondimento può portare anche a criteri di classificazione più restrittivi, come meglio dettagliato nel Paragrafo successivo. In relazione alla "sensibilità" dell'edificio si definiranno in questa fase interventi tipologici mirati al ripristino delle condizioni di classe di danno ammissibile.

### 3.2.1 Classificazione edifici sensibili

Si fa riferimento alla letteratura tecnica sull'argomento, in particolare alla classificazione di Boscardin e Cording (1989) che, analizzando casi storici, giunsero alla correlazione tra la categoria di danno ed i suoi principali indicatori.

Tale correlazione sintetizza il legame tra categoria di danno e cedimenti/distorsioni. La determinazione dell'accettabilità dei cedimenti/distorsioni indotti dallo scavo si effettua attraverso il calcolo dei parametri identificativi dello stato deformativo indotto. Il cedimento in sé non è causa di danno alle strutture pertanto non può essere considerato una misura efficace del potenziale

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI CALABRIA – PARTE GENERALE</b> <b>STRADALE – Relazione sulla valutazione delle</b> <b>subsidenze indotte e sui possibili danni agli edifici</b>		<i>Codice documento</i> CS0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

danneggiamento. La determinazione della categoria di danno di previsione progettuale e la determinazione dell'accettabilità dei parametri deformativi indotti si effettua pertanto attraverso il calcolo degli indicatori  $\epsilon_{lim}$  e  $\beta$ .

Si riporta nel seguito la tabella di sintesi di Boscarding e Cording (1989)

Damage category		Description of typical damage	Approx. crack width	$\Delta$	Limiting tensile strain $\epsilon_{lim}(\%)$	$\beta = \delta/L$
0	Negligible	Hairline cracks	<0.1 mm	< 3 cm	0-0,05	< 1/300
1	Very slight	Very slight damage includes fine cracks that can be easily treated during normal decoration, perhaps an isolated slight fracture in building, and cracks in external brickwork visible on close inspection	1 mm	3-4 cm	0,05-0,075	1/300 to 1 /240
2	Slight	Slight damage includes cracks that can be easily filled and redecoration would probably be required; several slight fractures may appear showing on the inside of the building; cracks that are visible externally and some repointing may be required; doors and windows may stick	3 mm	4-5 cm	0,075-0,15	1/240 to 1/175
3	Moderate	Moderate damage includes cracks that require some opening up and can be patched by mason; recurrent cracks that can be masked by suitable linings; repointing of external brickwork and possibly a small amount of brickwork replacement may be required; doors and windows stick; service pipes may fracture; weatherightness is often impaired	5 to 15 mm or a number of cracks > 3mm	5-8 cm	0,15-0,3	1/175 to 1/120
4	Severe	Severe damage includes large cracks requiring extensive repair work involving breaking out and replacing sections of walls (especially over doors and windows); distorted windows and door frames, noticeably sloping floors; leaning or hulging walls; some loss of bearing in beams; disrupted service pipes	15 to 25 mm but also depends on number of cracks	8-13 cm	>0,3	1/120 to 1/70
5	Very severe	Very severe damage often requires a major repair job involving partial or complete rebuilding; beams lose bearing; walls lean and require shoring; windows are broken with distortion; there is danger of structural instability	Usually > 5 mm but also depends on number of cracks	> 13 cm	>0,3	> 1/70

**Figura 3 - Boscarding e Cording (1989)-Damage Category**

Tale classificazione, fino alla classe 3 esclusa, si riferisce a danni di carattere estetico/funzionale, danni alle finiture e non danni strutturali con i valori di apertura di fessure riferiti sempre alle murature.

Si deduce, quindi, che, in senso generale, gli edifici ricadenti in classe 2 e nelle classi inferiori sono

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI CALABRIA – PARTE GENERALE STRADALE – Relazione sulla valutazione delle subsidenze indotte e sui possibili danni agli edifici</b>	<i>Codice documento</i> CS0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

ritenuti non soggetti a danni di rilievo.

### 3.2.2 Considerazioni sulla sensibilità in funzione della tipologia edificio - Caratteristiche morfologiche - Stato di consistenza edifici

Nell'ambito degli studi più recenti, relativi allo scavo di gallerie in ambito urbano, si fa riferimento all'analisi di ulteriori parametri che tengono conto anche della diversa sensibilità a seconda della tipologia costruttiva, della destinazione d'uso, delle finiture/arredi di pregio nonché delle condizioni dell'edificio stesso (stato di consistenza).

Per cui nell'ambito della classificazione del potenziale danno indotto bisogna distinguere tali differenti tipologie.

Si riporta nel seguito una tabella di sintesi che, sulla base di criteri simili a quelli riportati in bibliografia e sulla scorta delle esperienze progettuali raccolte su problematiche analoghe, definisce più in dettaglio ed in modo più puntuale le classi di danno ammissibili in funzione della tipologia:

<b>CORRELAZIONE SENSIBILITA' EDIFICIO-DANNO AMMISSIBILE</b>	
<b>TIPOLOGIA EDIFICIO</b>	<b>CLASSE DI DANNO AMMISSIBILE</b>
Edifici in c.a. residenziali	$\leq 2$
Edifici in c.a. uffici	$\leq 2$
Edifici in muratura portante non di pregio	$\leq 1/2$
Edifici in muratura portante di pregio ed edifici storici	$\leq 1$
Chiese , edifici con affreschi, etc.	$\leq 0/1$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI CALABRIA – PARTE GENERALE STRADALE – Relazione sulla valutazione delle subsidenze indotte e sui possibili danni agli edifici	<i>Codice documento</i> CS0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

## 4 Analisi del quadro deformativo indotto dallo scavo delle gallerie

Allo scopo di esaminare il comportamento deformativo dei terreni, ossia l'entità dei cedimenti e delle distorsioni indotti dagli scavi, è stata condotta un'analisi del potenziale rischio di interferenze con le pre-esistenze, in termini di possibili risentimenti sui fabbricati limitrofi al tracciato indotti da cedimenti provocati a piano campagna dallo scavo della futura galleria. Quali elementi di valutazione sono state considerate la "pericolosità", intesa come la possibilità che il cedimento si manifesti, la "intensità", cioè la severità geometrica del fenomeno, e la "vulnerabilità" in quanto effetto che potrebbe essere indotto sui diversi fabbricati in relazione alle caratteristiche geometriche/strutturali ed alle loro posizioni rispetto ai bacini di subsidenza previsti. Le valutazioni in merito all'intensità dei cedimenti previsti sono state condotte con riferimento ai cosiddetti "metodi empirici".

Tali metodi, estesamente discussi e descritti in letteratura (Peck 1969, Attewell e Fermer, 1974; Attwell, 1977; O'Reilly e New 1982), sono basati sull'osservazione sperimentale di opere già eseguite e si sono dimostrati sufficientemente cautelativi ed attendibili in contesti analoghi a quello in esame.

Determinato il regime di cedimenti indotto dallo scavo delle future gallerie e valutate le deformazioni associabili agli stessi, si è proceduto ad individuare l'effetto indotto sui fabbricati mediante il calcolo delle categorie di danno secondo quanto riportato in letteratura (Mair e Taylor e Burland, 1996). Secondo tali approcci, la categoria di danno è correlata con la deformazione unitaria massima di allungamento  $\varepsilon_{max}$ . Per i singoli edifici analizzati, sulla base della deformazione massima di trazione  $\varepsilon_{max}$  e del relativo bacino di subsidenza, è stato possibile associare ad un valore di volume perso  $V_p$  (definito sulla base di contesti analoghi e tarato in relazione alle analisi numeriche) un determinato valore del parametro "categoria di danno" secondo quanto esposto nelle tabelle di sintesi riportate in letteratura (Boscardin e Cording, 1989), ottenendo così una prima valutazione delle situazioni di rischio.

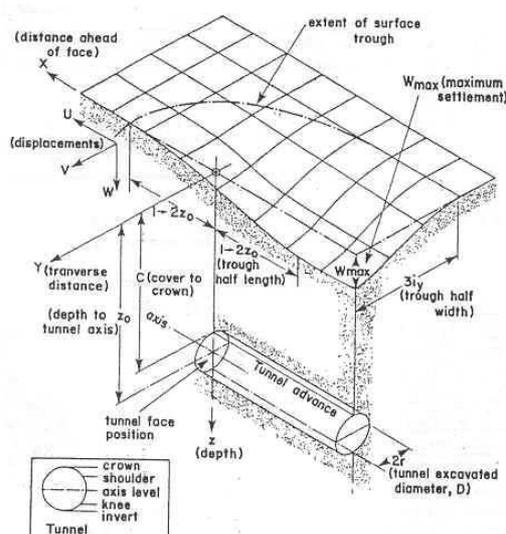
### 4.1 Metodo empirico: Cenni teorici

I metodi empirici si basano sull'osservazione sperimentale dei bacini di subsidenza di opere già eseguite ed aventi una notevolissima bibliografia in merito (Peck 1969, Attewell e Fermer 1974; Attwell 1977; Attwell & Woodman 1982; O'Reilly e New 1982; Rankin 1987; Shirlaw e Doran, 1988). Le correlazioni che sono state dedotte consentono di valutare la distribuzione spaziale, l'ampiezza

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI CALABRIA – PARTE GENERALE STRADALE – Relazione sulla valutazione delle subsidenze indotte e sui possibili danni agli edifici		<i>Codice documento</i> CS0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

e l'evoluzione delle subsidenze sulla base di parametri di semplice determinazione.

Definiti quindi i parametri geometrici della galleria e le caratteristiche del terreno attraversato è possibile individuare i profili di subsidenza trasversale.



**Fig. 4 - Curva di subsidenza**

L'involuppo della zona interessata dalle deformazioni è quindi funzione della distanza dall'asse verticale della galleria e dipende dalle dimensioni della galleria stessa, dalla sua quota, dal volume perso, dai parametri di resistenza-deformabilità del terreno attraversato.

Gli andamenti della curva di subsidenza in direzione trasversale rispetto all'asse di una galleria sono ben rappresentabili da una funzione normale di probabilità di tipo gaussiano, caratterizzata da due parametri: il cedimento massimo  $S_{max}$  (in corrispondenza dell'asse della galleria) e la distanza  $i$  tra l'asse della galleria ed il punto di flesso della curva, da cui dipende la larghezza della conca.

La funzione di subsidenza può quindi essere espressa dalla relazione:

$$S(x) = S_{max} \cdot e^{-\left(\frac{y^2}{2i^2}\right)} \quad (1)$$

dove  $S(x)$  è il generico spostamento verticale a distanza  $y$  dall'asse della galleria,  $S_{max}$  è lo spostamento massimo (ad  $y = 0$ ) ed  $i$  rappresenta la deviazione standard della curva.

Il volume totale della conca di subsidenza per unità di lunghezza della galleria  $V_s$  può essere

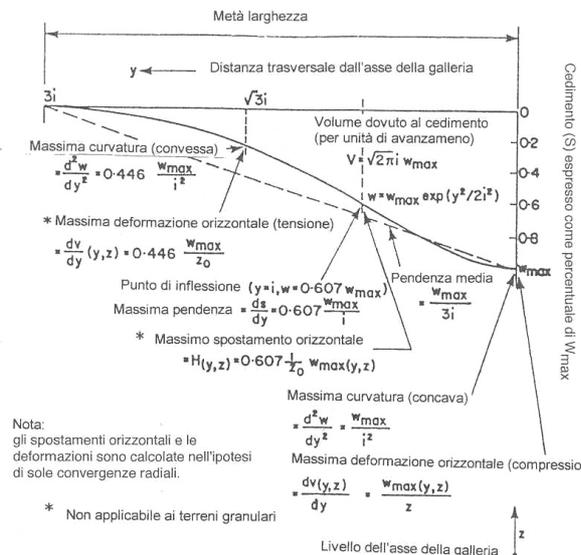
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI CALABRIA – PARTE GENERALE STRADALE – Relazione sulla valutazione delle subsidenze indotte e sui possibili danni agli edifici	<i>Codice documento</i> CS0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

ottenuto dall'integrazione della (1) e risulta essere pari a:

$$V_s = \sqrt{2\pi} \cdot i \cdot S_{\max} \cong 2.5 \cdot i \cdot S_{\max} \quad (2)$$

La grandezza  $S_{\max}$  può essere quindi ricavata stabilendo a priori il valore di  $V_s$  atteso:

$$S_{\max} = \frac{V_s}{2.5 \cdot i} \quad (3)$$



**Fig. 5 - Profilo trasversale di subsidenza**

Il valore del volume della conca  $V_s$  viene assunto pari al volume perduto allo scavo, ovvero come una percentuale del volume scavato  $V_{exc}$ .

Per la valutazione del parametro  $i$ , questo dipende dalla tipologia del terreno e dalla profondità della galleria; in accordo con quanto proposto da O'Reilly e New (1991), per valori della copertura maggiori del diametro della galleria, si ha una relazione lineare tra larghezza della conca e profondità della galleria, con coefficiente diverso a seconda del tipo di terreno:

$$i = k \cdot Z \quad (4)$$

dove  $Z$  è la profondità della galleria e  $k$  è un coefficiente che dipende dal tipo di terreno.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI CALABRIA – PARTE GENERALE STRADALE – Relazione sulla valutazione delle subsidenze indotte e sui possibili danni agli edifici		<i>Codice documento</i> CS0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 4.2 Analisi di subsidenza – Bacini trasversali “green field”

Per la caratterizzazione delle distribuzioni dei cedimenti superficiali necessita la definizione di due parametri che sono il volume perso  $V_p(\%)$  ed il coefficiente  $k(-)$ . I valori impiegati nelle analisi svolte sono riportati nella Tabella 1. Come si legge in tabella sono stati considerati diversi valori di  $k$ , 0.2-0.3 riferito a terreni granulari e 0.4-0.6 riferito a terreni più coesivi, al fine di tener conto della stratigrafia complessa dei terreni interessati dagli effetti indotti dallo scavo. I valori proposti comprendono tutte le situazioni intermedie.

**Tabella 1: Parametri utilizzati nelle analisi**

<b>Vp (%)</b>	<b>Condizione</b>
0.5	Condizione di limite inferiore rappresentativa del comportamento in zone di scavo interessate da ammassi lapidei.
1.0	Condizione di lavoro (limite inferiore). I risultati permettono di avere un quadro dei possibili effetti indotti dallo scavo nel caso di condizioni di lavoro in linea con le attese progettuali.
1.5	Condizione di lavoro (limite superiore). I risultati permettono di avere un quadro dei possibili effetti indotti dallo scavo nel caso di condizioni di lavoro in linea con le attese progettuali.
2	Condizione di soglia. I risultati permettono di avere un quadro dei possibili effetti indotti dallo scavo nel caso di condizioni di lavoro non ottimali o anomalie localizzate (fronti parzializzati, zone fortemente tettonizzate, presenza di acqua etc.)
<b>k (-)</b>	<b>Terreno</b>
0.2 – 0.3	Terreni prevalentemente granulari.
0.4 - 0.6	Terreni prevalentemente coesivi.

L'influenza di  $V_p$  e  $k$  sull'andamento della curva dei cedimenti è schematicamente riassunta nella Tabella 2.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI CALABRIA – PARTE GENERALE STRADALE – Relazione sulla valutazione delle subsidenze indotte e sui possibili danni agli edifici		<i>Codice documento</i> CS0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

**Tabella 2: Influenza di  $V_p$  e  $k$  sulla distribuzione dei cedimenti**

Parametro	Condizione	Influenza
$V_p$	crescente	Aumento proporzionale dei cedimenti.
$k$	crescente	Graduale abbassamento ed allargamento della distribuzione dei cedimenti: a valori di $k$ elevati corrispondono distribuzioni più ampie e con cedimenti massimi di minore entità.

Si riporta nel seguito un quadro di sintesi dei bacini di subsidenza trasversali per i quali sono stati assunti i seguenti parametri di previsione progettuale:

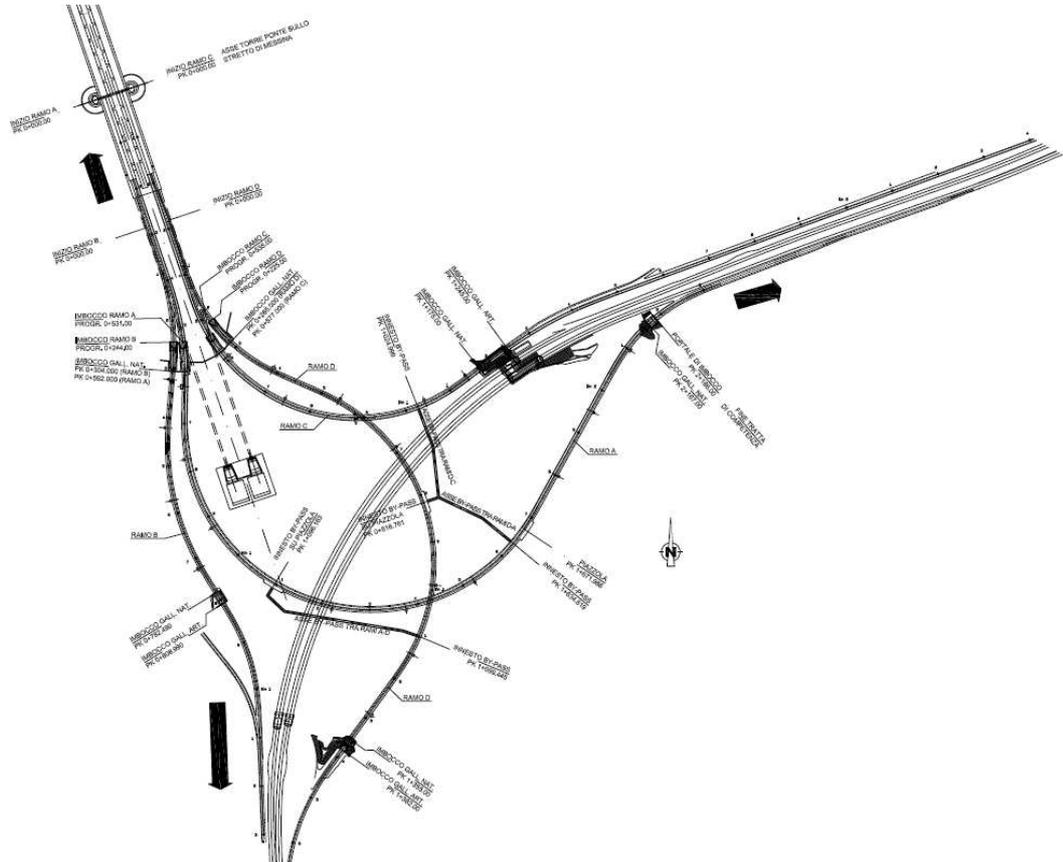
2. $k = 0.3$ ,	$V_p = 0.5\%$	6. $k = 0.5$ ,	$V_p = 0.5\%$
3. $k = 0.3$ ,	$V_p = 1.0\%$	7. $k = 0.5$ ,	$V_p = 1.0\%$
4. $k = 0.3$ ,	$V_p = 1.5\%$	8. $k = 0.5$ ,	$V_p = 1.5\%$
5. $k = 0.3$ ,	$V_p = 2.0\%$	9. $k = 0.5$ ,	$V_p = 2.0\%$

Le analisi sono state svolte per tutte le geometrie di scavo previste:

- galleria a doppia canna (in tratti in cui le due canne distano meno di 50m);
- galleria a una corsia di marcia con area di scavo di circa  $140\text{m}^2$  (Ramo B e D);
- galleria a due corsie di marcia con area di scavo di circa  $180\text{m}^2$  (Ramo A e C);
- galleria allargata con area di scavo di circa  $210\text{m}^2$  (Ramo A).

In Allegato si riportano le schede di dettaglio relative ai bacini trasversali di subsidenza analizzati. I bacini di subsidenza riportati sono relativi a valori di copertura dalla chiave di calotta rispetto al piano campagna. Si rimanda al paragrafo successivo per l'analisi di interazione terreno-struttura in cui sono analizzati gli effetti dei cedimenti indotti dallo scavo delle future gallerie sulle preesistenze interferenti, con riferimento ai valori di copertura tra piano di imposta fondazione e chiave calotta.

#### 4.2.1 Galleria a doppia canna, Ramo A-B



#### ANALISI k=0.3

D <sub>RC</sub>	D <sub>ME</sub>	V <sub>p</sub>	k	Δ <sub>c</sub>	Z <sub>RC</sub>	Z <sub>ME</sub>	S <sub>1,max</sub>	S <sub>2,max</sub>	S <sub>max</sub>	S <sub>0</sub>	3i
[m]	[m]	[%]	[-]	[m]	[m]	[m]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[m]
15	13.5	0.5	0.3	25	12	10	-6.03	-5.68	-6.03	-0.87	32.63
15	13.5	0.5	0.3	28	16	14	-5.00	-4.59	-5.00	-1.06	39.83
15	13.5	0.5	0.3	33	20	18	-4.27	-3.85	-4.27	-0.90	47.03
16.5	13.5	0.5	0.3	33	22	18	-4.70	-3.85	-4.70	-1.23	49.50
16.5	13.5	0.5	0.3	40	30	26	-3.72	-2.91	-3.72	-1.18	63.90
16.5	13.5	0.5	0.3	52	35	27	-3.29	-2.82	-3.29	-0.55	69.30
16.5	13.5	0.5	0.3	45	37	34	-3.14	-2.35	-3.14	-1.22	77.40

Dove:

$D_{RC}$  e  $D_{ME}$  = diametro delle due canne;  $V_p$  = Volume perso;  $k$  = parametro dipendente dal terreno;  $\Delta C$  = distanza tra le canne;  $Z_{RC}$  e  $Z_{ME}$  = copertura delle due canne;  $S_{1,max}$  e  $S_{2,max}$  = cedimento massimo in asse carreggiata;  $S_{max}$  = cedimento massimo;  $S_0$  = cedimento in asse bacino;  $3i$  = estensione max bacino.

**COLLEGAMENTI CALABRIA – PARTE GENERALE**  
**STRADALE – Relazione sulla valutazione delle**  
**subsidenze indotte e sui possibili danni agli edifici**

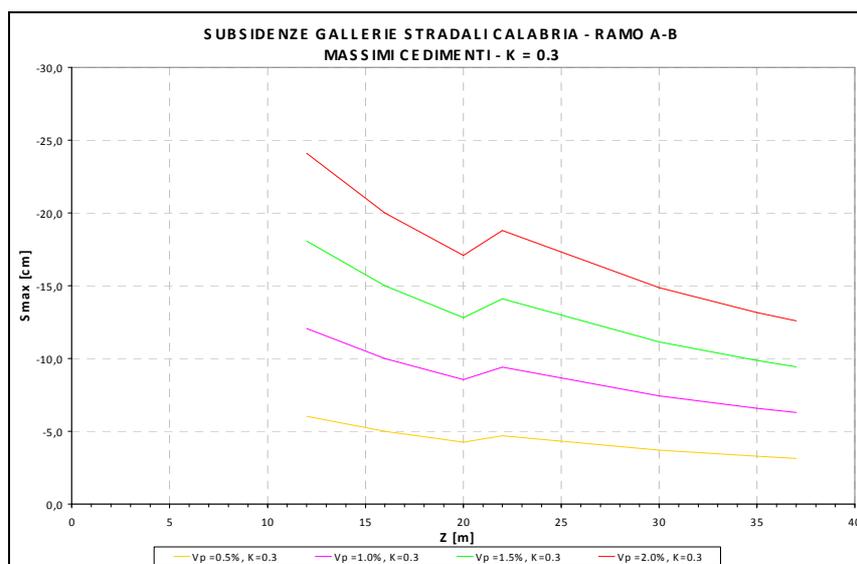
*Codice documento*  
CS0212\_F0

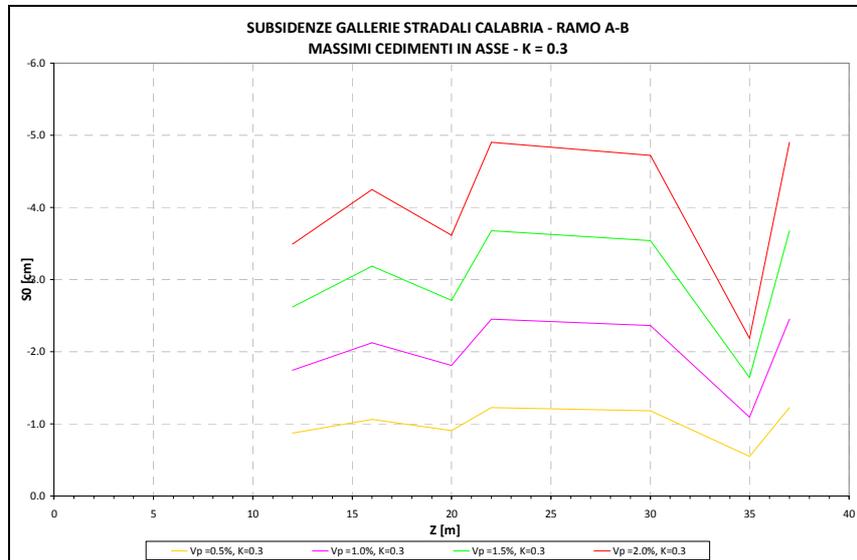
<i>Rev</i>	<i>Data</i>
F0	20/06/2011

DRC	DME	Vp	k	$\Delta_c$	ZRC	ZME	S1,max	S2,max	Smax	S0	3i
[m]	[m]	[%]	[-]	[m]	[m]	[m]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[m]
15	13.5	1	0.3	25	12	10	-12.05	-11.37	-12.05	-1.74	32.63
15	13.5	1	0.3	28	16	14	-10.00	-9.18	-10.00	-2.12	39.83
15	13.5	1	0.3	33	20	18	-8.55	-7.69	-8.55	-1.81	47.03
16.5	13.5	1	0.3	33	22	18	-9.40	-7.70	-9.40	-2.45	49.50
16.5	13.5	1	0.3	40	30	26	-7.44	-5.83	-7.44	-2.36	63.90
16.5	13.5	1	0.3	52	35	27	-6.57	-5.64	-6.57	-1.09	69.30
16.5	13.5	1	0.3	45	37	34	-6.29	-4.70	-6.29	-2.45	77.40

DRC	DME	Vp	k	$\Delta_c$	ZRC	ZME	S1,max	S2,max	Smax	S0	3i
[m]	[m]	[%]	[-]	[m]	[m]	[m]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[m]
15	13.5	1.5	0.3	25	12	10	-18.08	-17.05	-18.08	-2.62	32.63
15	13.5	1.5	0.3	28	16	14	-15.00	-13.77	-15.00	-3.19	39.83
15	13.5	1.5	0.3	33	20	18	-12.82	-11.54	-12.82	-2.71	47.03
16.5	13.5	1.5	0.3	33	22	18	-14.10	-11.56	-14.10	-3.68	49.50
16.5	13.5	1.5	0.3	40	30	26	-11.15	-8.74	-11.15	-3.54	63.90
16.5	13.5	1.5	0.3	52	35	27	-9.86	-8.46	-9.86	-1.64	69.30
16.5	13.5	1.5	0.3	45	37	34	-9.43	-7.05	-9.43	-3.67	77.40

DRC	DME	Vp	k	$\Delta_c$	ZRC	ZME	S1,max	S2,max	Smax	S0	3i
[m]	[m]	[%]	[-]	[m]	[m]	[m]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[m]
15	13.5	2	0.3	25	12	10	-24.10	-22.73	-24.10	-3.49	32.63
15	13.5	2	0.3	28	16	14	-20.00	-18.35	-20.00	-4.25	39.83
15	13.5	2	0.3	33	20	18	-17.09	-15.39	-17.09	-3.62	47.03
16.5	13.5	2	0.3	33	22	18	-18.80	-15.41	-18.80	-4.90	49.50
16.5	13.5	2	0.3	40	30	26	-14.87	-11.66	-14.87	-4.72	63.90
16.5	13.5	2	0.3	52	35	27	-13.15	-11.28	-13.15	-2.18	69.30
16.5	13.5	2	0.3	45	37	34	-12.58	-9.39	-12.58	-4.90	77.40





**ANALISI k=0.5**

DRC	DME	Vp	k	Δc	ZRC	ZME	S1,max	S2,max	Smax	S0	3i
[m]	[m]	[%]	[-]	[m]	[m]	[m]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[m]
15	13.5	0.5	0.5	25	12	10	-3.65	-3.54	-3.65	-2.71	54.38
15	13.5	0.5	0.5	28	16	14	-3.07	-2.93	-3.07	-2.58	66.38
15	13.5	0.5	0.5	33	20	18	-2.63	-2.45	-2.63	-2.20	78.38
16.5	13.5	0.5	0.5	33	22	18	-2.89	-2.57	-2.89	-2.50	82.50
16.5	13.5	0.5	0.5	40	30	26	-2.32	-1.99	-2.33	-2.12	106.50
16.5	13.5	0.5	0.5	52	35	27	-1.99	-1.80	-1.99	-1.47	115.50
16.5	13.5	0.5	0.5	45	37	34	-2.01	-1.66	-2.04	-1.91	129.00

DRC	DME	Vp	k	Δc	ZRC	ZME	S1,max	S2,max	Smax	S0	3i
[m]	[m]	[%]	[-]	[m]	[m]	[m]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[m]
15	13.5	1	0.5	25	12	10	-7.31	-7.09	-7.31	-5.42	54.38
15	13.5	1	0.5	28	16	14	-6.14	-5.85	-6.14	-5.16	66.38
15	13.5	1	0.5	33	20	18	-5.26	-4.90	-5.26	-4.39	78.38
16.5	13.5	1	0.5	33	22	18	-5.77	-5.14	-5.77	-5.01	82.50
16.5	13.5	1	0.5	40	30	26	-4.64	-3.99	-4.65	-4.24	106.50
16.5	13.5	1	0.5	52	35	27	-3.97	-3.60	-3.97	-2.95	115.50
16.5	13.5	1	0.5	45	37	34	-4.01	-3.32	-4.09	-3.82	129.00

DRC	DME	Vp	k	Δc	ZRC	ZME	S1,max	S2,max	Smax	S0	3i
[m]	[m]	[%]	[-]	[m]	[m]	[m]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[m]
15	13.5	1.5	0.5	25	12	10	-10.96	-10.63	-10.96	-8.13	54.38
15	13.5	1.5	0.5	28	16	14	-9.22	-8.78	-9.22	-7.75	66.38
15	13.5	1.5	0.5	33	20	18	-7.89	-7.35	-7.89	-6.59	78.38
16.5	13.5	1.5	0.5	33	22	18	-8.66	-7.70	-8.66	-7.51	82.50
16.5	13.5	1.5	0.5	40	30	26	-6.96	-5.98	-6.98	-6.35	106.50
16.5	13.5	1.5	0.5	52	35	27	-5.96	-5.40	-5.96	-4.42	115.50
16.5	13.5	1.5	0.5	45	37	34	-6.02	-4.99	-6.13	-5.73	129.00

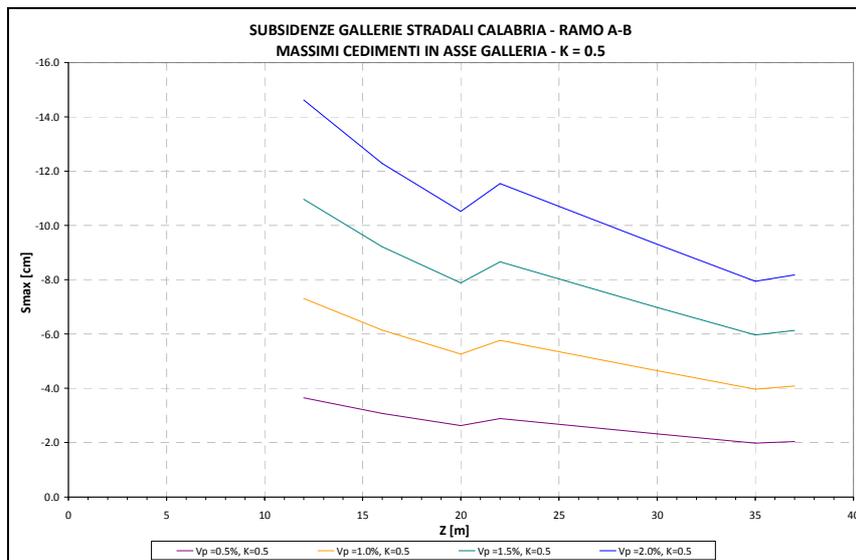
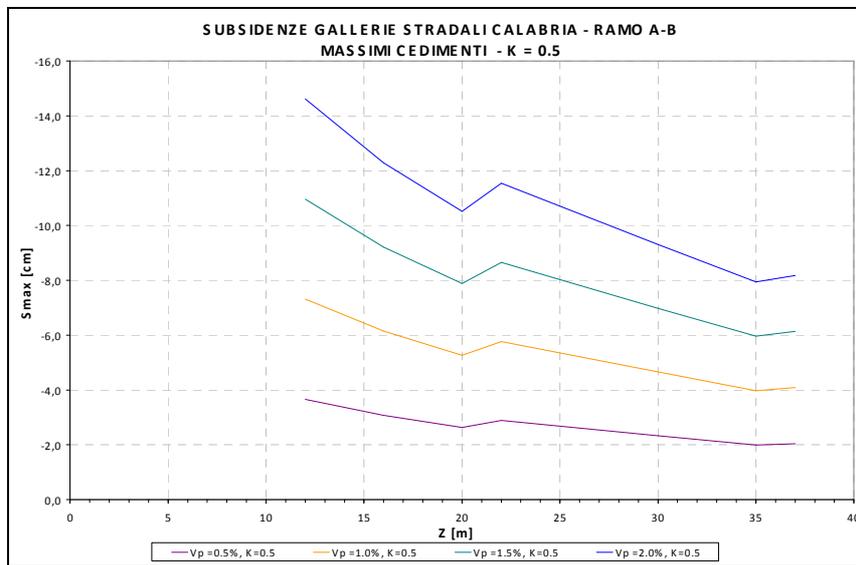
COLLEGAMENTI CALABRIA – PARTE GENERALE  
STRADALE – Relazione sulla valutazione delle  
subsidenze indotte e sui possibili danni agli edifici

Codice documento  
CS0212\_F0

Rev  
F0

Data  
20/06/2011

DRC	DME	V <sub>p</sub>	k	Δ <sub>c</sub>	Z <sub>RC</sub>	Z <sub>ME</sub>	S <sub>1,max</sub>	S <sub>2,max</sub>	S <sub>max</sub>	S <sub>0</sub>	3i
[m]	[m]	[%]	[-]	[m]	[m]	[m]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[m]
15	13.5	2	0.5	25	12	10	-14.62	-14.18	-14.62	-10.83	54.38
15	13.5	2	0.5	28	16	14	-12.29	-11.71	-12.29	-10.33	66.38
15	13.5	2	0.5	33	20	18	-10.52	-9.80	-10.52	-8.79	78.38
16.5	13.5	2	0.5	33	22	18	-11.54	-10.27	-11.54	-10.02	82.50
16.5	13.5	2	0.5	40	30	26	-9.27	-7.98	-9.31	-8.47	106.50
16.5	13.5	2	0.5	52	35	27	-7.95	-7.21	-7.95	-5.89	115.50
16.5	13.5	2	0.5	45	37	34	-8.03	-6.65	-8.18	-7.65	129.00



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>COLLEGAMENTI CALABRIA – PARTE GENERALE</b> <b>STRADALE – Relazione sulla valutazione delle</b> <b>subsidenze indotte e sui possibili danni agli edifici</b>		<i>Codice documento</i> CS0212_F0	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

## 4.2.2 Galleria a singola canna: Ramo A

### 4.2.2.1 Sezione Allargata

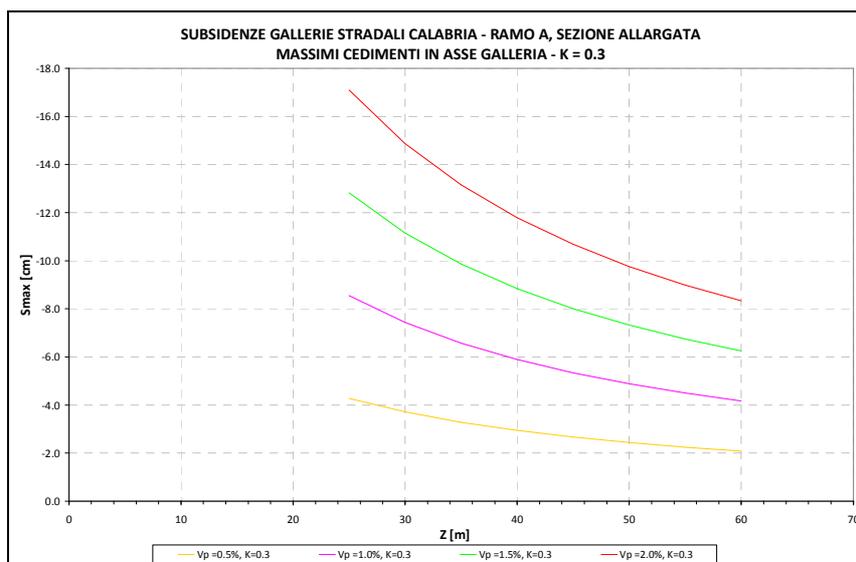
#### ANALISI k=0.3

D	V <sub>p</sub>	k	Z	S <sub>0</sub>	3i
[m]	[%]	[-]	[m]	[cm]	[m]
16.5	0.5	0.3	25	-4.28	29.93
16.5	0.5	0.3	30	-3.72	22.95
16.5	0.5	0.3	35	-3.29	25.95
16.5	0.5	0.3	40	-2.95	28.95
16.5	0.5	0.3	45	-2.67	31.95
16.5	0.5	0.3	50	-2.44	34.95
16.5	0.5	0.3	55	-2.25	37.95
16.5	0.5	0.3	60	-2.08	40.95

D	V <sub>p</sub>	k	Z	S <sub>0</sub>	3i
16.5	1.5	0.3	25	-12.83	29.93
16.5	1.5	0.3	30	-11.15	22.95
16.5	1.5	0.3	35	-9.86	25.95
16.5	1.5	0.3	40	-8.84	28.95
16.5	1.5	0.3	45	-8.01	31.95
16.5	1.5	0.3	50	-7.32	34.95
16.5	1.5	0.3	55	-6.74	37.95
16.5	1.5	0.3	60	-6.25	40.95

D	V <sub>p</sub>	k	Z	S <sub>0</sub>	3i
16.5	1	0.3	25	-8.55	29.93
16.5	1	0.3	30	-7.43	22.95
16.5	1	0.3	35	-6.57	25.95
16.5	1	0.3	40	-5.89	28.95
16.5	1	0.3	45	-5.34	31.95
16.5	1	0.3	50	-4.88	34.95
16.5	1	0.3	55	-4.50	37.95
16.5	1	0.3	60	-4.17	40.95

D	V <sub>p</sub>	k	Z	S <sub>0</sub>	3i
16.5	2	0.3	25	-17.10	29.93
16.5	2	0.3	30	-14.87	22.95
16.5	2	0.3	35	-13.15	25.95
16.5	2	0.3	40	-11.79	28.95
16.5	2	0.3	45	-10.68	31.95
16.5	2	0.3	50	-9.76	34.95
16.5	2	0.3	55	-8.99	37.95
16.5	2	0.3	60	-8.33	40.95



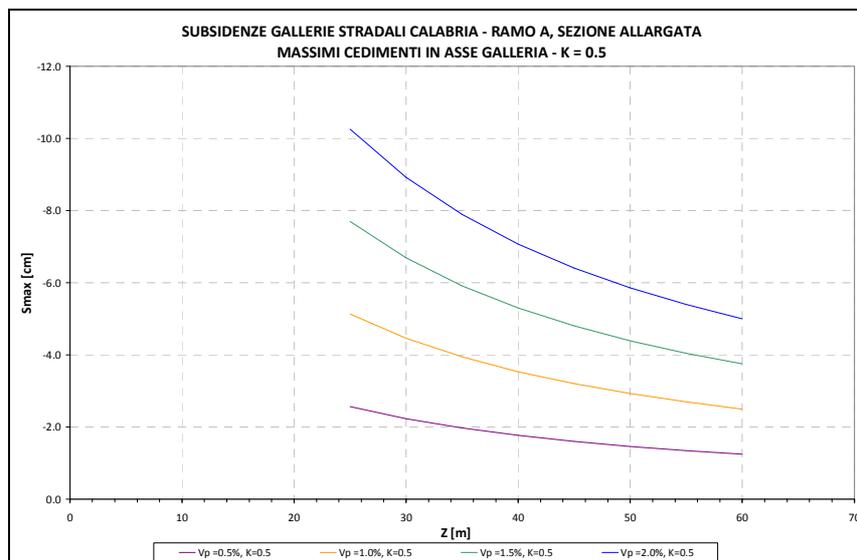
**ANALISI k=0.5**

D	V <sub>p</sub>	k	Z	S <sub>0</sub>	3i
[m]	[%]	[-]	[m]	[cm]	[m]
16.5	0.5	0.5	25	-2.57	49.88
16.5	0.5	0.5	30	-2.23	38.25
16.5	0.5	0.5	35	-1.97	43.25
16.5	0.5	0.5	40	-1.77	48.25
16.5	0.5	0.5	45	-1.60	53.25
16.5	0.5	0.5	50	-1.46	58.25
16.5	0.5	0.5	55	-1.35	63.25
16.5	0.5	0.5	60	-1.25	68.25

D	V <sub>p</sub>	k	Z	S <sub>0</sub>	3i
[m]	[%]	[-]	[m]	[cm]	[m]
16.5	1	0.5	25	-5.13	49.88
16.5	1	0.5	30	-4.46	38.25
16.5	1	0.5	35	-3.94	43.25
16.5	1	0.5	40	-3.54	48.25
16.5	1	0.5	45	-3.20	53.25
16.5	1	0.5	50	-2.93	58.25
16.5	1	0.5	55	-2.70	63.25
16.5	1	0.5	60	-2.50	68.25

D	V <sub>p</sub>	k	Z	S <sub>0</sub>	3i
[m]	[%]	[-]	[m]	[cm]	[m]
16.5	1.5	0.5	25	-7.70	49.88
16.5	1.5	0.5	30	-6.69	38.25
16.5	1.5	0.5	35	-5.92	43.25
16.5	1.5	0.5	40	-5.30	48.25
16.5	1.5	0.5	45	-4.81	53.25
16.5	1.5	0.5	50	-4.39	58.25
16.5	1.5	0.5	55	-4.05	63.25
16.5	1.5	0.5	60	-3.75	68.25

D	V <sub>p</sub>	k	Z	S <sub>0</sub>	3i
[m]	[%]	[-]	[m]	[cm]	[m]
16.5	2	0.5	25	-10.26	49.88
16.5	2	0.5	30	-8.92	38.25
16.5	2	0.5	35	-7.89	43.25
16.5	2	0.5	40	-7.07	48.25
16.5	2	0.5	45	-6.41	53.25
16.5	2	0.5	50	-5.86	58.25
16.5	2	0.5	55	-5.39	63.25
16.5	2	0.5	60	-5.00	68.25



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
<b>COLLEGAMENTI CALABRIA – PARTE GENERALE</b> <b>STRADALE – Relazione sulla valutazione delle</b> <b>subsidenze indotte e sui possibili danni agli edifici</b>		<i>Codice documento</i> CS0212_F0	<i>Rev</i> <i>Data</i> F0        20/06/2011

#### 4.2.2.2 Sezione Standard

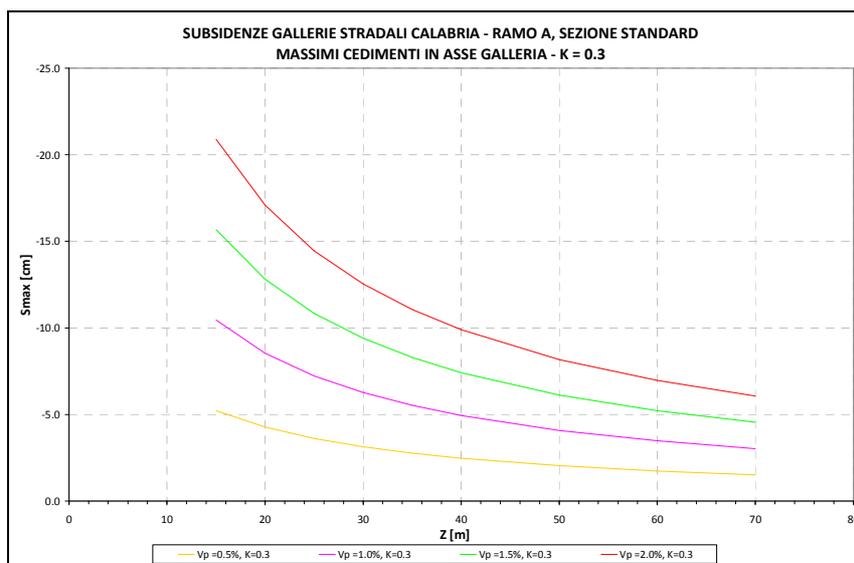
#### ANALISI k=0.3

D	V <sub>p</sub>	k	Z	S <sub>0</sub>	3i
[m]	[%]	[-]	[m]	[cm]	[m]
15	0.5	0.3	15	-5.22	20.25
15	0.5	0.3	20	-4.27	16.50
15	0.5	0.3	25	-3.62	19.50
15	0.5	0.3	30	-3.13	22.50
15	0.5	0.3	35	-2.76	25.50
15	0.5	0.3	40	-2.47	28.50
15	0.5	0.3	50	-2.04	34.50
15	0.5	0.3	60	-1.74	40.50
15	0.5	0.3	70	-1.52	46.50

D	V <sub>p</sub>	k	Z	S <sub>0</sub>	3i
[m]	[%]	[-]	[m]	[cm]	[m]
15	1	0.3	15	-10.44	20.25
15	1	0.3	20	-8.55	16.50
15	1	0.3	25	-7.23	19.50
15	1	0.3	30	-6.27	22.50
15	1	0.3	35	-5.53	25.50
15	1	0.3	40	-4.95	28.50
15	1	0.3	50	-4.09	34.50
15	1	0.3	60	-3.48	40.50
15	1	0.3	70	-3.03	46.50

D	V <sub>p</sub>	k	Z	S <sub>0</sub>	3i
[m]	[%]	[-]	[m]	[cm]	[m]
15	1.5	0.3	15	-15.67	20.25
15	1.5	0.3	20	-12.82	16.50
15	1.5	0.3	25	-10.85	19.50
15	1.5	0.3	30	-9.40	22.50
15	1.5	0.3	35	-8.29	25.50
15	1.5	0.3	40	-7.42	28.50
15	1.5	0.3	50	-6.13	34.50
15	1.5	0.3	60	-5.22	40.50
15	1.5	0.3	70	-4.55	46.50

D	V <sub>p</sub>	k	Z	S <sub>0</sub>	3i
[m]	[%]	[-]	[m]	[cm]	[m]
15	2	0.3	15	-20.89	20.25
15	2	0.3	20	-17.09	16.50
15	2	0.3	25	-14.46	19.50
15	2	0.3	30	-12.53	22.50
15	2	0.3	35	-11.06	25.50
15	2	0.3	40	-9.89	28.50
15	2	0.3	50	-8.17	34.50
15	2	0.3	60	-6.96	40.50
15	2	0.3	70	-6.06	46.50



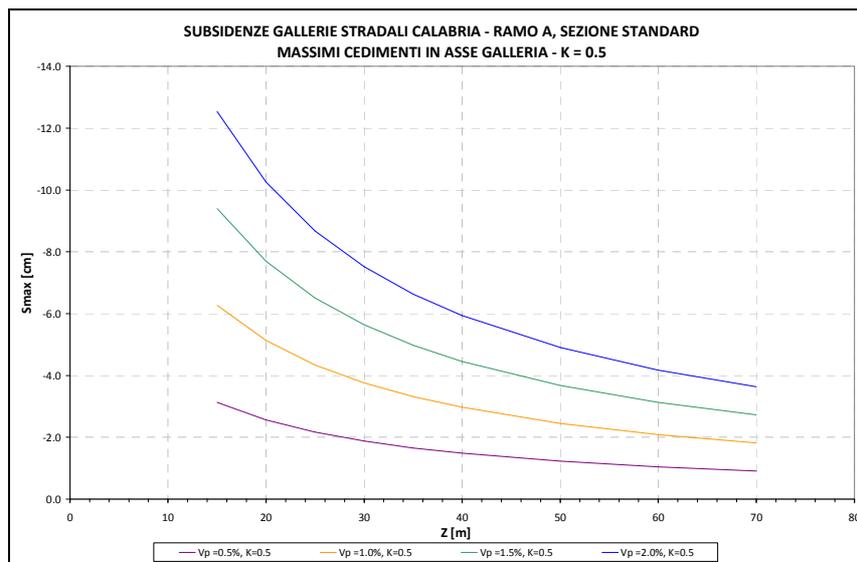
### ANALISI k=0.5

D	V <sub>p</sub>	k	Z	S <sub>0</sub>	3i
[m]	[%]	[-]	[m]	[cm]	[m]
15	0.5	0.5	15	-3.13	33.75
15	0.5	0.5	20	-2.56	27.50
15	0.5	0.5	25	-2.17	32.50
15	0.5	0.5	30	-1.88	37.50
15	0.5	0.5	35	-1.66	42.50
15	0.5	0.5	40	-1.48	47.50
15	0.5	0.5	50	-1.23	57.50
15	0.5	0.5	60	-1.04	67.50
15	0.5	0.5	70	-0.91	77.50

D	V <sub>p</sub>	k	Z	S <sub>0</sub>	3i
[m]	[%]	[-]	[m]	[cm]	[m]
15	1	0.5	15	-6.27	33.75
15	1	0.5	20	-5.13	27.50
15	1	0.5	25	-4.34	32.50
15	1	0.5	30	-3.76	37.50
15	1	0.5	35	-3.32	42.50
15	1	0.5	40	-2.97	47.50
15	1	0.5	50	-2.45	57.50
15	1	0.5	60	-2.09	67.50
15	1	0.5	70	-1.82	77.50

D	V <sub>p</sub>	k	Z	S <sub>0</sub>	3i
[m]	[%]	[-]	[m]	[cm]	[m]
15	1.5	0.5	15	-9.40	33.75
15	1.5	0.5	20	-7.69	27.50
15	1.5	0.5	25	-6.51	32.50
15	1.5	0.5	30	-5.64	37.50
15	1.5	0.5	35	-4.98	42.50
15	1.5	0.5	40	-4.45	47.50
15	1.5	0.5	50	-3.68	57.50
15	1.5	0.5	60	-3.13	67.50
15	1.5	0.5	70	-2.73	77.50

D	V <sub>p</sub>	k	Z	S <sub>0</sub>	3i
[m]	[%]	[-]	[m]	[cm]	[m]
15	2	0.5	15	-12.53	33.75
15	2	0.5	20	-10.25	27.50
15	2	0.5	25	-8.68	32.50
15	2	0.5	30	-7.52	37.50
15	2	0.5	35	-6.64	42.50
15	2	0.5	40	-5.94	47.50
15	2	0.5	50	-4.90	57.50
15	2	0.5	60	-4.18	67.50
15	2	0.5	70	-3.64	77.50



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>			
		COLLEGAMENTI CALABRIA – PARTE GENERALE STRADALE – Relazione sulla valutazione delle subsidenze indotte e sui possibili danni agli edifici		<i>Codice documento</i> CS0212_F0	<i>Rev</i> F0

### 4.2.3 Galleria a singola canna: Ramo B

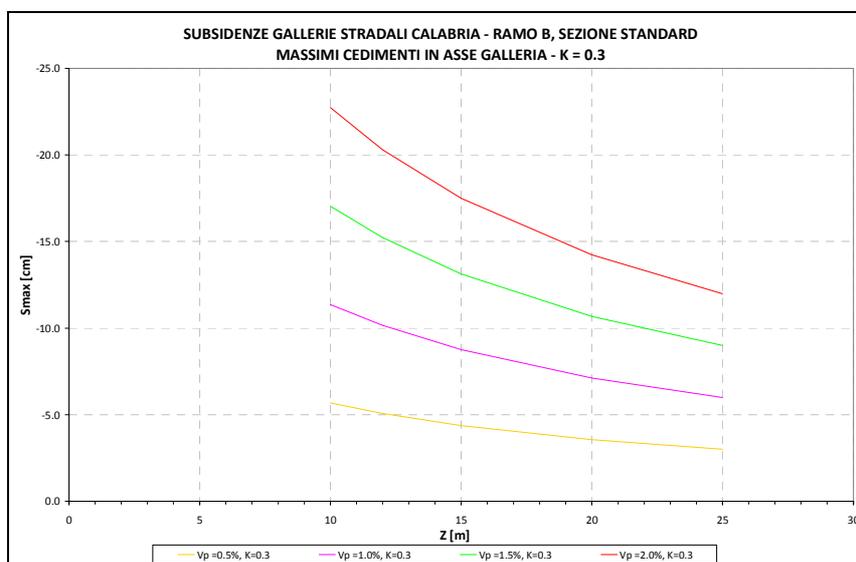
#### ANALISI k=0.3

D	V <sub>p</sub>	k	Z	S <sub>0</sub>	3i
[m]	[%]	[-]	[m]	[cm]	[m]
13.5	0.5	0.3	10	-5.68	15.08
13.5	0.5	0.3	12	-5.08	11.25
13.5	0.5	0.3	15	-4.38	13.05
13.5	0.5	0.3	20	-3.56	16.05
13.5	0.5	0.3	25	-3.00	19.05

D	V <sub>p</sub>	k	Z	S <sub>0</sub>	3i
[m]	[%]	[-]	[m]	[cm]	[m]
13.5	1	0.3	10	-11.36	15.08
13.5	1	0.3	12	-10.15	11.25
13.5	1	0.3	15	-8.75	13.05
13.5	1	0.3	20	-7.12	16.05
13.5	1	0.3	25	-6.00	19.05

D	V <sub>p</sub>	k	Z	S <sub>0</sub>	3i
[m]	[%]	[-]	[m]	[cm]	[m]
13.5	1.5	0.3	10	-17.05	15.08
13.5	1.5	0.3	12	-15.23	11.25
13.5	1.5	0.3	15	-13.13	13.05
13.5	1.5	0.3	20	-10.67	16.05
13.5	1.5	0.3	25	-8.99	19.05

D	V <sub>p</sub>	k	Z	S <sub>0</sub>	3i
[m]	[%]	[-]	[m]	[cm]	[m]
13.5	2	0.3	10	-22.73	15.08
13.5	2	0.3	12	-20.30	11.25
13.5	2	0.3	15	-17.50	13.05
13.5	2	0.3	20	-14.23	16.05
13.5	2	0.3	25	-11.99	19.05



#### ANALISI k=0.5

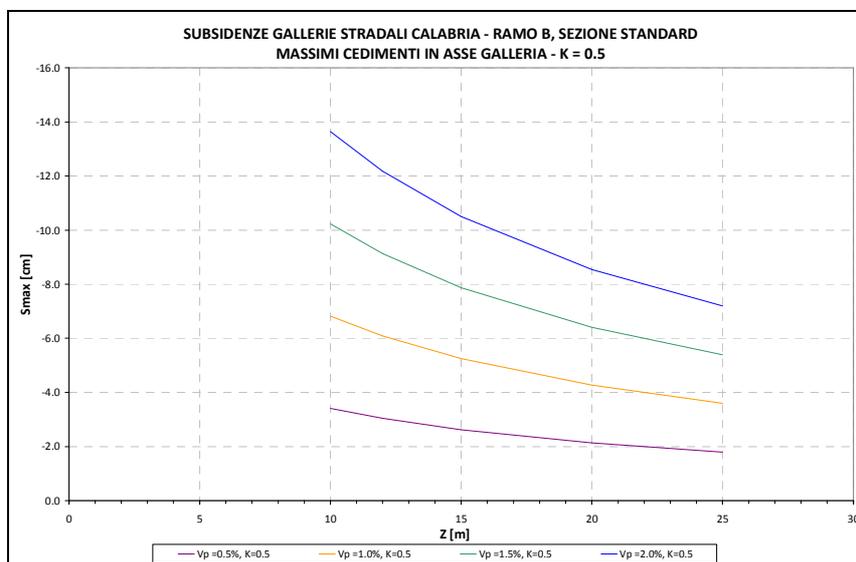
D	V <sub>p</sub>	k	Z	S <sub>0</sub>	3i
[m]	[%]	[-]	[m]	[cm]	[m]
13.5	0.5	0.5	10	-3.41	25.13
13.5	0.5	0.5	12	-3.05	18.75
13.5	0.5	0.5	15	-2.63	21.75
13.5	0.5	0.5	20	-2.13	26.75
13.5	0.5	0.5	25	-1.80	31.75

D	V <sub>p</sub>	k	Z	S <sub>0</sub>	3i
[m]	[%]	[-]	[m]	[cm]	[m]
13.5	1	0.5	10	-6.82	25.13
13.5	1	0.5	12	-6.09	18.75
13.5	1	0.5	15	-5.25	21.75
13.5	1	0.5	20	-4.27	26.75
13.5	1	0.5	25	-3.60	31.75

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
		COLLEGAMENTI CALABRIA – PARTE GENERALE STRADALE – Relazione sulla valutazione delle subsidenze indotte e sui possibili danni agli edifici	Codice documento CS0212_F0

D	V <sub>p</sub>	k	Z	S <sub>0</sub>	3i
[m]	[%]	[-]	[m]	[cm]	[m]
13.5	1.5	0.5	10	-10.23	25.13
13.5	1.5	0.5	12	-9.14	18.75
13.5	1.5	0.5	15	-7.88	21.75
13.5	1.5	0.5	20	-6.40	26.75
13.5	1.5	0.5	25	-5.40	31.75

D	V <sub>p</sub>	k	Z	S <sub>0</sub>	3i
[m]	[%]	[-]	[m]	[cm]	[m]
13.5	2	0.5	10	-13.64	25.13
13.5	2	0.5	12	-12.18	18.75
13.5	2	0.5	15	-10.50	21.75
13.5	2	0.5	20	-8.54	26.75
13.5	2	0.5	25	-7.19	31.75



#### 4.2.4 Galleria a doppia canna, Ramo C-D

##### ANALISI k=0.3

DRC	DME	V <sub>p</sub>	k	Δ <sub>c</sub>	Z <sub>RC</sub>	Z <sub>ME</sub>	S <sub>1,max</sub>	S <sub>2,max</sub>	S <sub>max</sub>	S <sub>0</sub>	3i
[m]	[m]	[%]	[-]	[m]	[m]	[m]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[m]
15	13.5	0.5	0.3	25	15	20	-5.25	-3.56	-5.25	-2.00	44.33
15	13.5	0.5	0.3	32	15	20	-5.22	-3.56	-5.22	-0.80	44.33
15	13.5	0.5	0.3	43	15	20	-5.22	-3.56	-5.22	-0.13	44.33
15	13.5	0.5	0.3	25	20	25	-4.37	-3.04	-4.37	-2.62	53.33
15	13.5	0.5	0.3	32	20	25	-4.28	-3.00	-4.28	-1.38	53.33
15	13.5	0.5	0.3	43	22	25	-3.98	-3.00	-3.98	-0.44	55.13
15	13.5	0.5	0.3	50	22	20	-3.98	-3.56	-3.98	-0.10	50.63
15	13.5	0.5	0.3	50	25	30	-3.62	-2.59	-3.62	-0.33	62.33
15	13.5	0.5	0.3	50	28	32	-3.31	-2.46	-3.31	-0.45	66.83
15	13.5	0.5	0.3	43	30	33	-3.14	-2.40	-3.14	-0.98	69.53
15	13.5	0.5	0.3	25	32	45	-3.48	-2.16	-3.54	-3.04	82.13
15	13.5	0.5	0.3	32	32	35	-3.06	-2.36	-3.06	-2.20	73.13

COLLEGAMENTI CALABRIA – PARTE GENERALE  
STRADALE – Relazione sulla valutazione delle  
subsidenze indotte e sui possibili danni agli edifici

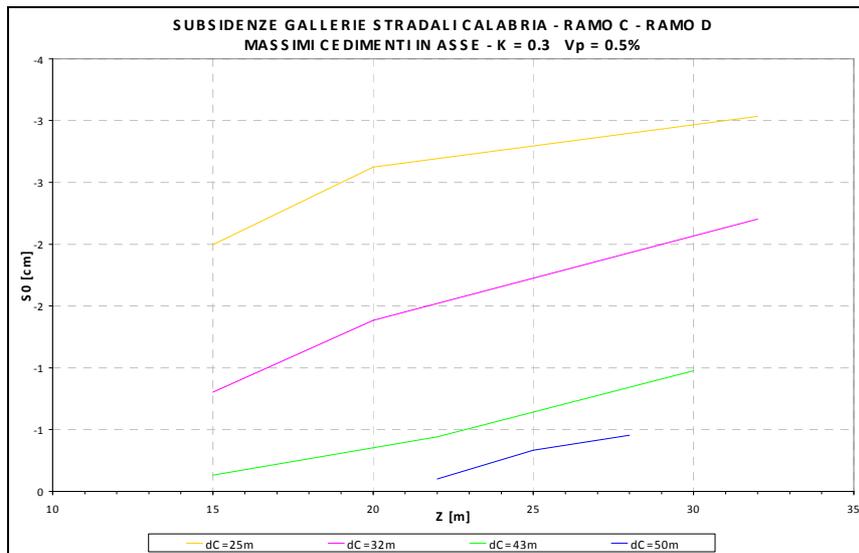
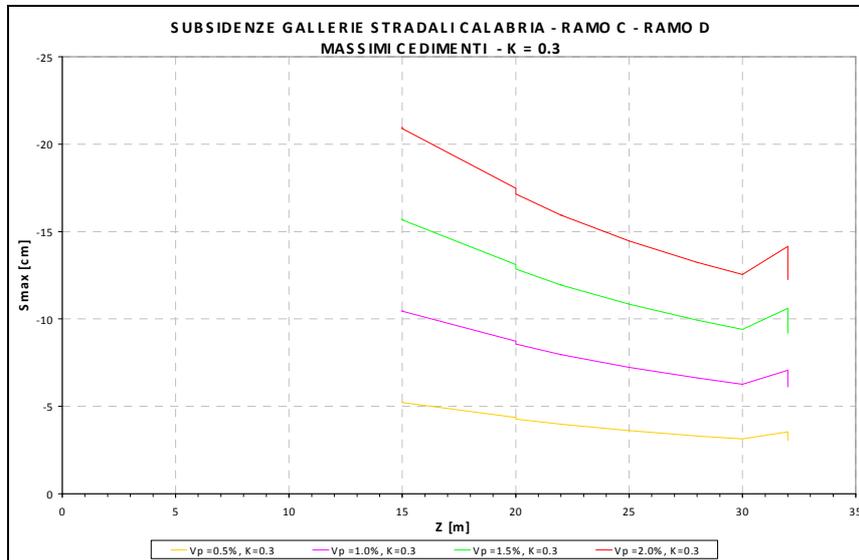
Codice documento  
CS0212\_F0

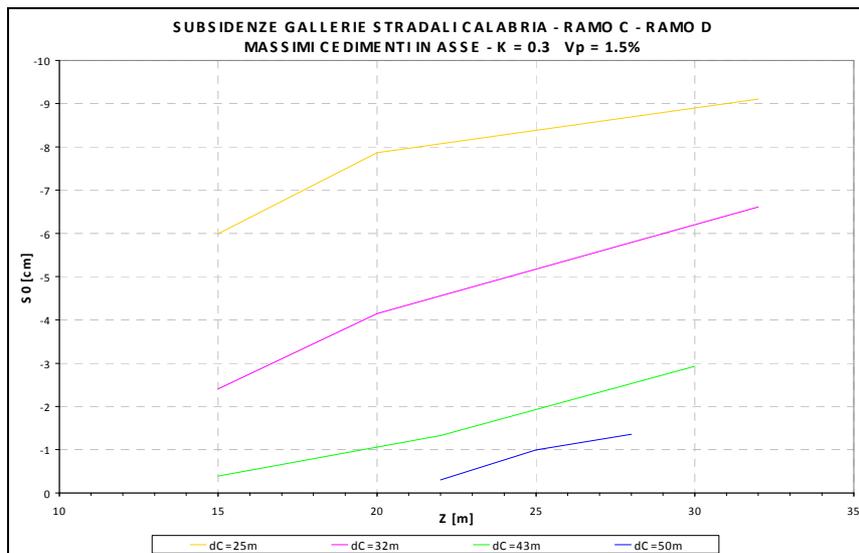
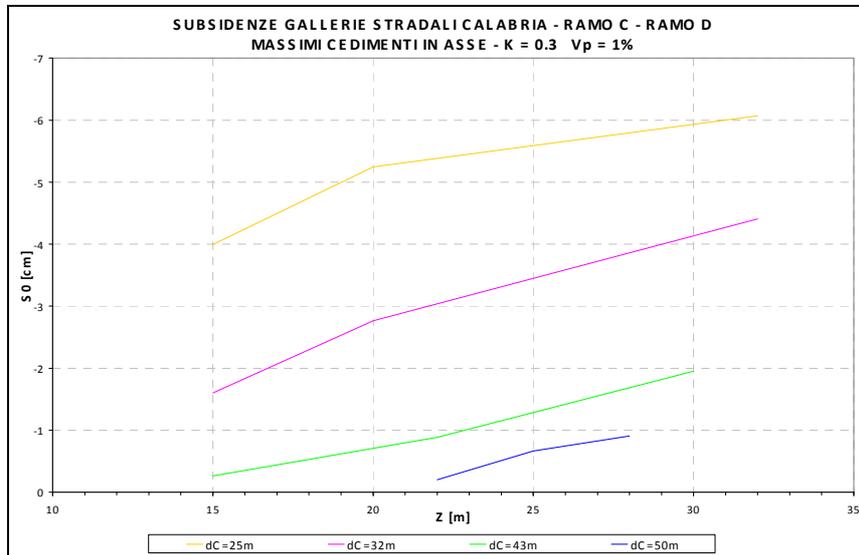
Rev	Data
F0	20/06/2011

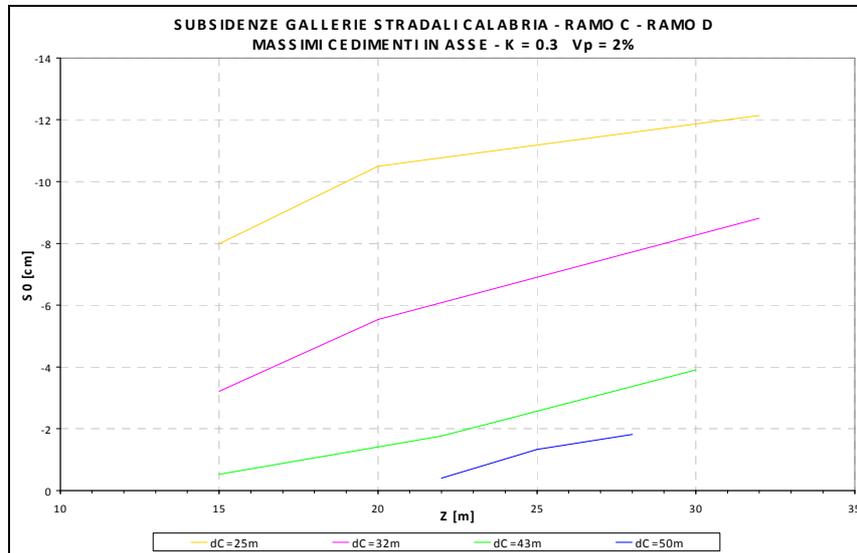
DRC	DME	V <sub>p</sub>	k	Δ <sub>c</sub>	Z <sub>RC</sub>	Z <sub>ME</sub>	S <sub>1,max</sub>	S <sub>2,max</sub>	S <sub>max</sub>	S <sub>0</sub>	3i
15	13.5	1	0.3	25	15	20	-10.50	-7.13	-10.50	-4.00	44.33
15	13.5	1	0.3	32	15	20	-10.45	-7.12	-10.45	-1.60	44.33
15	13.5	1	0.3	43	15	20	-10.44	-7.12	-10.44	-0.26	44.33
15	13.5	1	0.3	25	20	25	-8.74	-6.08	-8.74	-5.25	53.33
15	13.5	1	0.3	32	20	25	-8.57	-6.00	-8.57	-2.77	53.33
15	13.5	1	0.3	43	22	25	-7.97	-6.00	-7.97	-0.89	55.13
15	13.5	1	0.3	50	22	20	-7.97	-7.12	-7.97	-0.20	50.63
15	13.5	1	0.3	50	25	30	-7.23	-5.18	-7.23	-0.67	62.33
15	13.5	1	0.3	50	28	32	-6.62	-4.91	-6.62	-0.91	66.83
15	13.5	1	0.3	43	30	33	-6.27	-4.79	-6.27	-1.95	69.53
15	13.5	1	0.3	25	32	45	-6.96	-4.32	-7.07	-6.07	82.13
15	13.5	1	0.3	32	32	35	-6.12	-4.71	-6.12	-4.41	73.13

DRC	DME	V <sub>p</sub>	k	Δ <sub>c</sub>	Z <sub>RC</sub>	Z <sub>ME</sub>	S <sub>1,max</sub>	S <sub>2,max</sub>	S <sub>max</sub>	S <sub>0</sub>	3i
15	13.5	1.5	0.3	25	15	20	-15.75	-10.69	-15.75	-5.99	44.33
15	13.5	1.5	0.3	32	15	20	-15.67	-10.67	-15.67	-2.41	44.33
15	13.5	1.5	0.3	43	15	20	-15.67	-10.67	-15.67	-0.39	44.33
15	13.5	1.5	0.3	25	20	25	-13.11	-9.12	-13.11	-7.87	53.33
15	13.5	1.5	0.3	32	20	25	-12.85	-9.00	-12.85	-4.15	53.33
15	13.5	1.5	0.3	43	22	25	-11.95	-8.99	-11.95	-1.33	55.13
15	13.5	1.5	0.3	50	22	20	-11.95	-10.67	-11.95	-0.30	50.63
15	13.5	1.5	0.3	50	25	30	-10.85	-7.77	-10.85	-1.00	62.33
15	13.5	1.5	0.3	50	28	32	-9.93	-7.37	-9.93	-1.36	66.83
15	13.5	1.5	0.3	43	30	33	-9.41	-7.19	-9.41	-2.93	69.53
15	13.5	1.5	0.3	25	32	45	-10.43	-6.48	-10.61	-9.11	82.13
15	13.5	1.5	0.3	32	32	35	-9.19	-7.07	-9.19	-6.61	73.13

DRC	DME	V <sub>p</sub>	k	Δ <sub>c</sub>	Z <sub>RC</sub>	Z <sub>ME</sub>	S <sub>1,max</sub>	S <sub>2,max</sub>	S <sub>max</sub>	S <sub>0</sub>	3i
15	13.5	2	0.3	25	15	20	-21.00	-14.25	-21.00	-7.99	44.33
15	13.5	2	0.3	32	15	20	-20.89	-14.23	-20.89	-3.21	44.33
15	13.5	2	0.3	43	15	20	-20.89	-14.23	-20.89	-0.52	44.33
15	13.5	2	0.3	25	20	25	-17.47	-12.16	-17.47	-10.49	53.33
15	13.5	2	0.3	32	20	25	-17.13	-12.00	-17.13	-5.53	53.33
15	13.5	2	0.3	43	22	25	-15.93	-11.99	-15.93	-1.77	55.13
15	13.5	2	0.3	50	22	20	-15.93	-14.23	-15.93	-0.41	50.63
15	13.5	2	0.3	50	25	30	-14.46	-10.36	-14.46	-1.33	62.33
15	13.5	2	0.3	50	28	32	-13.24	-9.82	-13.24	-1.81	66.83
15	13.5	2	0.3	43	30	33	-12.55	-9.59	-12.55	-3.90	69.53
15	13.5	2	0.3	25	32	45	-13.91	-8.64	-14.15	-12.14	82.13
15	13.5	2	0.3	32	32	35	-12.25	-9.43	-12.25	-8.81	73.13







**ANALISI k=0.5**

DRC	DME	Vp	k	Δc	ZRC	ZME	S1,max	S2,max	Smax	S0	3i
[m]	[m]	[%]	[-]	[m]	[m]	[m]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[m]
15	13.5	0.5	0.5	25	15	20	-3.51	-2.40	-3.58	-3.07	73.88
15	13.5	0.5	0.5	32	15	20	-3.26	-2.19	-3.26	-2.18	73.88
15	13.5	0.5	0.5	43	15	20	-3.15	-2.14	-3.15	-1.09	73.88
15	13.5	0.5	0.5	25	20	25	-3.08	-2.29	-3.12	-3.02	88.88
15	13.5	0.5	0.5	32	20	25	-2.80	-1.97	-2.84	-2.38	88.88
15	13.5	0.5	0.5	43	22	25	-2.44	-1.83	-2.44	-1.54	91.88
15	13.5	0.5	0.5	50	22	20	-2.39	-2.14	-2.39	-0.94	84.38
15	13.5	0.5	0.5	50	25	30	-2.21	-1.57	-2.21	-1.28	103.88
15	13.5	0.5	0.5	50	28	32	-2.04	-1.51	-2.04	-1.38	111.38
15	13.5	0.5	0.5	43	30	33	-2.02	-1.57	-2.04	-1.77	115.88
15	13.5	0.5	0.5	25	32	45	-2.48	-1.90	-2.48	-2.44	136.88
15	13.5	0.5	0.5	32	32	35	-2.21	-1.85	-2.31	-2.31	121.88

DRC	DME	Vp	k	Δc	ZRC	ZME	S1,max	S2,max	Smax	S0	3i
[m]	[m]	[%]	[-]	[m]	[m]	[m]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[m]
15	13.5	1	0.5	25	15	20	-7.01	-4.80	-7.15	-6.14	73.88
15	13.5	1	0.5	32	15	20	-6.51	-4.38	-6.51	-4.37	73.88
15	13.5	1	0.5	43	15	20	-6.29	-4.27	-6.29	-2.18	73.88
15	13.5	1	0.5	25	20	25	-6.17	-4.58	-6.23	-6.03	88.88
15	13.5	1	0.5	32	20	25	-5.60	-3.94	-5.67	-4.77	88.88
15	13.5	1	0.5	43	22	25	-4.87	-3.67	-4.87	-3.09	91.88
15	13.5	1	0.5	50	22	20	-4.78	-4.28	-4.78	-1.88	84.38
15	13.5	1	0.5	50	25	30	-4.42	-3.15	-4.42	-2.56	103.88
15	13.5	1	0.5	50	28	32	-4.08	-3.02	-4.08	-2.76	111.38
15	13.5	1	0.5	43	30	33	-4.04	-3.14	-4.08	-3.55	115.88
15	13.5	1	0.5	25	32	45	-4.95	-3.81	-4.95	-4.89	136.88
15	13.5	1	0.5	32	32	35	-4.41	-3.70	-4.61	-4.61	121.88

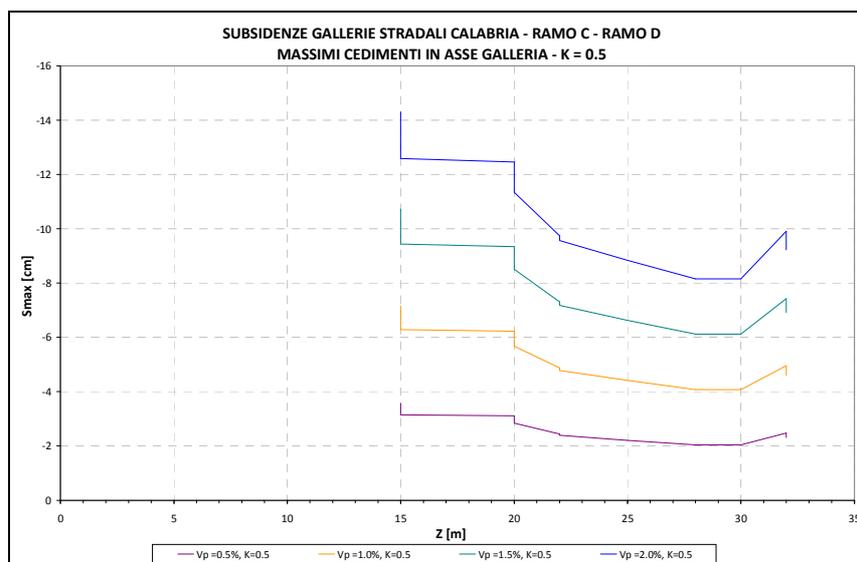
COLLEGAMENTI CALABRIA – PARTE GENERALE  
STRADALE – Relazione sulla valutazione delle  
subsidenze indotte e sui possibili danni agli edifici

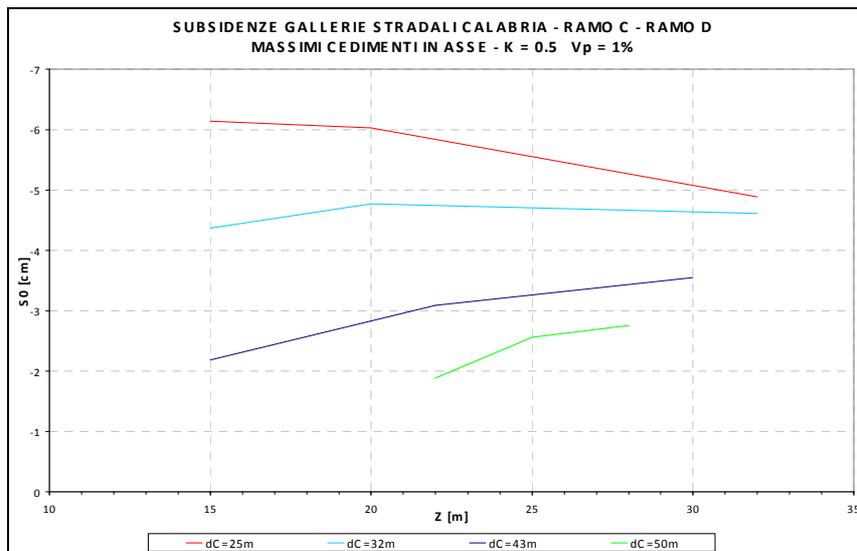
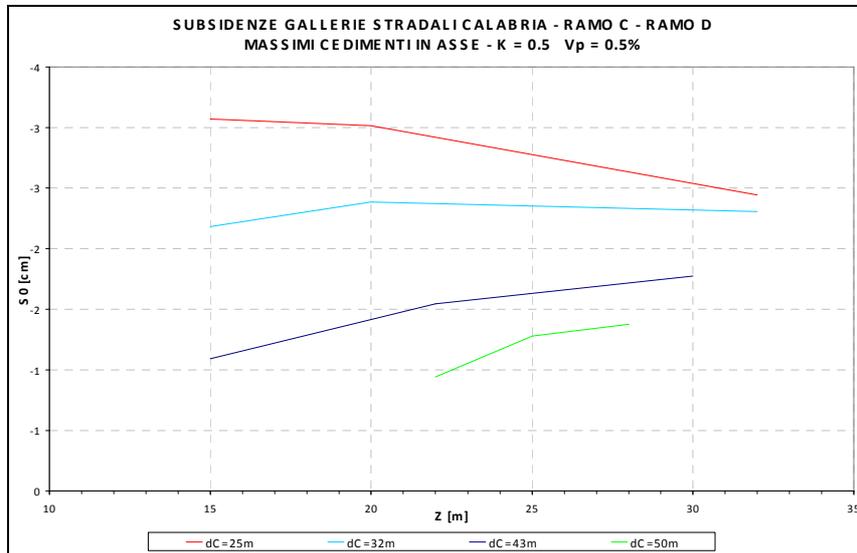
Codice documento  
CS0212\_F0

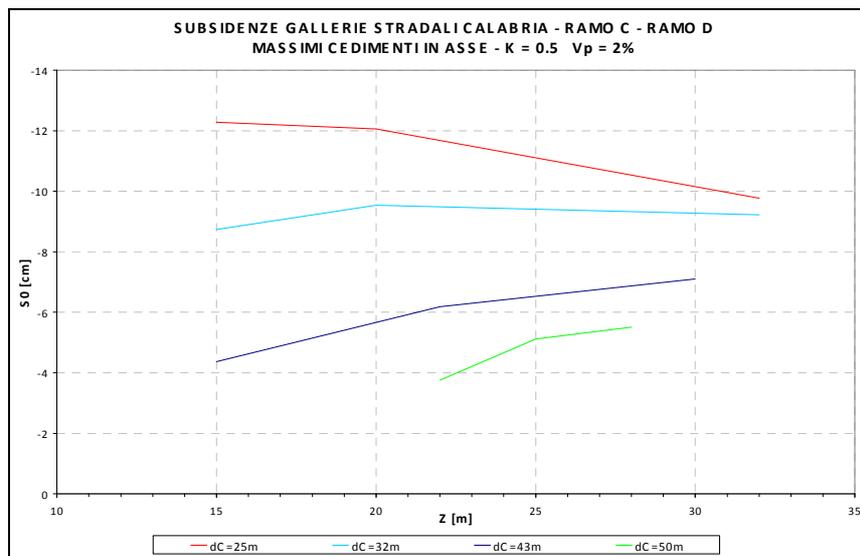
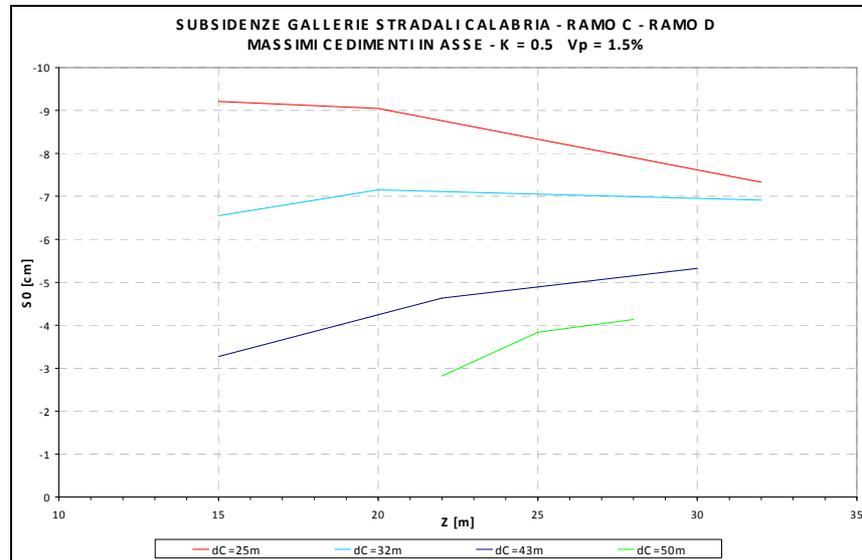
Rev F0  
Data 20/06/2011

DRC	DME	V <sub>p</sub>	k	Δ <sub>c</sub>	Z <sub>RC</sub>	Z <sub>ME</sub>	S <sub>1,max</sub>	S <sub>2,max</sub>	S <sub>max</sub>	S <sub>0</sub>	3i
[m]	[m]	[%]	[-]	[m]	[m]	[m]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[m]
15	13.5	1.5	0.5	25	15	20	-10.52	-7.20	-10.73	-9.21	73.88
15	13.5	1.5	0.5	32	15	20	-9.77	-6.57	-9.77	-6.55	73.88
15	13.5	1.5	0.5	43	15	20	-9.44	-6.41	-9.44	-3.27	73.88
15	13.5	1.5	0.5	25	20	25	-9.25	-6.87	-9.35	-9.05	88.88
15	13.5	1.5	0.5	32	20	25	-8.40	-5.91	-8.51	-7.15	88.88
15	13.5	1.5	0.5	43	22	25	-7.31	-5.50	-7.31	-4.63	91.88
15	13.5	1.5	0.5	50	22	20	-7.18	-6.43	-7.18	-2.82	84.38
15	13.5	1.5	0.5	50	25	30	-6.62	-4.72	-6.62	-3.84	103.88
15	13.5	1.5	0.5	50	28	32	-6.12	-4.53	-6.12	-4.13	111.38
15	13.5	1.5	0.5	43	30	33	-6.05	-4.72	-6.12	-5.32	115.88
15	13.5	1.5	0.5	25	32	45	-7.43	-5.71	-7.43	-7.33	136.88
15	13.5	1.5	0.5	32	32	35	-6.62	-5.54	-6.92	-6.92	121.88

DRC	DME	V <sub>p</sub>	k	Δ <sub>c</sub>	Z <sub>RC</sub>	Z <sub>ME</sub>	S <sub>1,max</sub>	S <sub>2,max</sub>	S <sub>max</sub>	S <sub>0</sub>	3i
[m]	[m]	[%]	[-]	[m]	[m]	[m]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[m]
15	13.5	2	0.5	25	15	20	-14.02	-9.60	-14.30	-12.28	73.88
15	13.5	2	0.5	32	15	20	-13.02	-8.76	-13.02	-8.73	73.88
15	13.5	2	0.5	43	15	20	-12.58	-8.55	-12.58	-4.36	73.88
15	13.5	2	0.5	25	20	25	-12.34	-9.16	-12.46	-12.06	88.88
15	13.5	2	0.5	32	20	25	-11.20	-7.88	-11.34	-9.54	88.88
15	13.5	2	0.5	43	22	25	-9.74	-7.33	-9.74	-6.18	91.88
15	13.5	2	0.5	50	22	20	-9.57	-8.57	-9.57	-3.76	84.38
15	13.5	2	0.5	50	25	30	-8.83	-6.29	-8.83	-5.12	103.88
15	13.5	2	0.5	50	28	32	-8.15	-6.04	-8.15	-5.51	111.38
15	13.5	2	0.5	43	30	33	-8.07	-6.29	-8.16	-7.10	115.88
15	13.5	2	0.5	25	32	45	-9.91	-7.62	-9.91	-9.77	136.88
15	13.5	2	0.5	32	32	35	-8.83	-7.39	-9.22	-9.22	121.88







		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
		COLLEGAMENTI CALABRIA – PARTE GENERALE STRADALE – Relazione sulla valutazione delle subsidenze indotte e sui possibili danni agli edifici	Codice documento CS0212_F0

#### 4.2.5 Galleria a singola canna: Ramo C

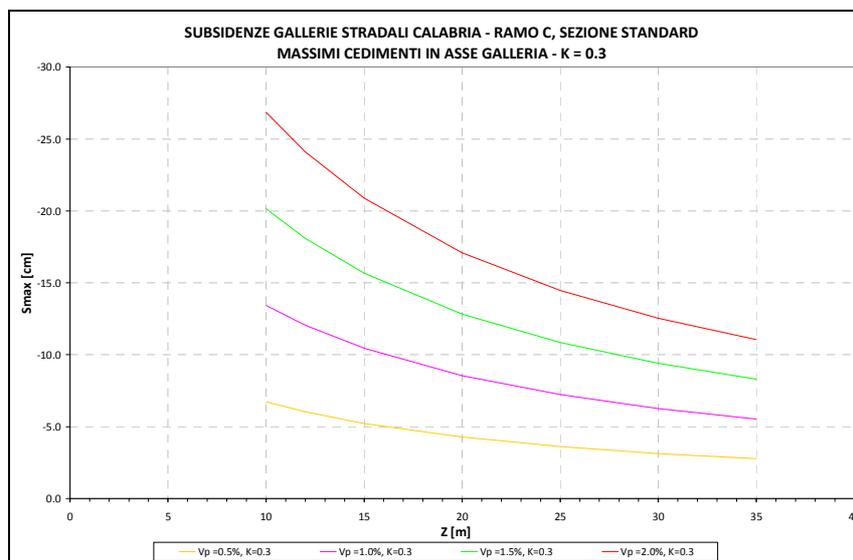
##### ANALISI k=0.3

D	V <sub>p</sub>	k	Z	S <sub>0</sub>	3i
[m]	[%]	[-]	[m]	[cm]	[m]
15	0.5	0.3	10	-6.71	15.75
15	0.5	0.3	12	-6.03	11.70
15	0.5	0.3	15	-5.22	13.50
15	0.5	0.3	20	-4.27	16.50
15	0.5	0.3	25	-3.62	19.50
15	0.5	0.3	30	-3.13	22.50
15	0.5	0.3	35	-2.76	25.50

D	V <sub>p</sub>	k	Z	S <sub>0</sub>	3i
[m]	[%]	[-]	[m]	[cm]	[m]
15	1	0.3	10	-13.43	15.75
15	1	0.3	12	-12.05	11.70
15	1	0.3	15	-10.44	13.50
15	1	0.3	20	-8.55	16.50
15	1	0.3	25	-7.23	19.50
15	1	0.3	30	-6.27	22.50
15	1	0.3	35	-5.53	25.50

D	V <sub>p</sub>	k	Z	S <sub>0</sub>	3i
[m]	[%]	[-]	[m]	[cm]	[m]
15	1.5	0.3	10	-20.14	15.75
15	1.5	0.3	12	-18.08	11.70
15	1.5	0.3	15	-15.67	13.50
15	1.5	0.3	20	-12.82	16.50
15	1.5	0.3	25	-10.85	19.50
15	1.5	0.3	30	-9.40	22.50
15	1.5	0.3	35	-8.29	25.50

D	V <sub>p</sub>	k	Z	S <sub>0</sub>	3i
[m]	[%]	[-]	[m]	[cm]	[m]
15	2	0.3	10	-26.86	15.75
15	2	0.3	12	-24.10	11.70
15	2	0.3	15	-20.89	13.50
15	2	0.3	20	-17.09	16.50
15	2	0.3	25	-14.46	19.50
15	2	0.3	30	-12.53	22.50
15	2	0.3	35	-11.06	25.50



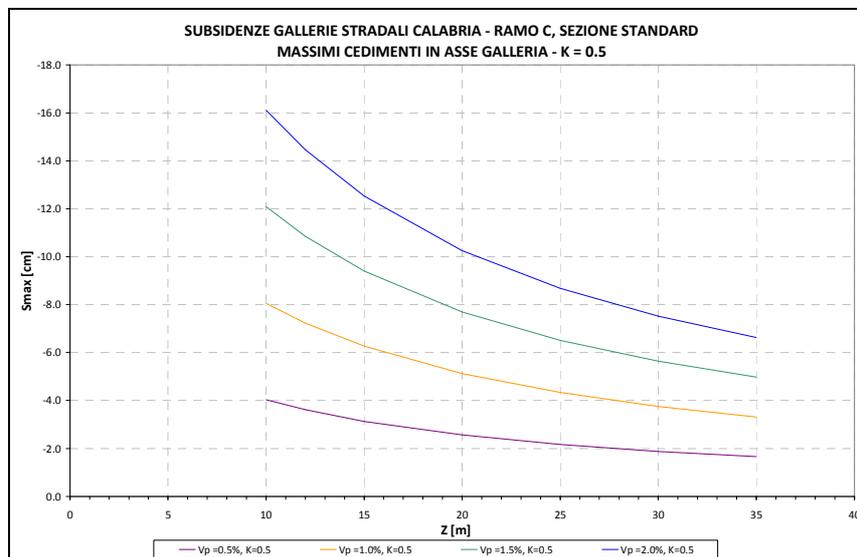
### ANALISI k=0.5

D	V <sub>p</sub>	k	Z	S <sub>0</sub>	3i
[m]	[%]	[-]	[m]	[cm]	[m]
15	0.5	0.5	10	-4.03	26.25
15	0.5	0.5	12	-3.62	19.50
15	0.5	0.5	15	-3.13	22.50
15	0.5	0.5	20	-2.56	27.50
15	0.5	0.5	25	-2.17	32.50
15	0.5	0.5	30	-1.88	37.50
15	0.5	0.5	35	-1.66	42.50

D	V <sub>p</sub>	k	Z	S <sub>0</sub>	3i
[m]	[%]	[-]	[m]	[cm]	[m]
15	1	0.5	10	-8.06	26.25
15	1	0.5	12	-7.23	19.50
15	1	0.5	15	-6.27	22.50
15	1	0.5	20	-5.13	27.50
15	1	0.5	25	-4.34	32.50
15	1	0.5	30	-3.76	37.50
15	1	0.5	35	-3.32	42.50

D	V <sub>p</sub>	k	Z	S <sub>0</sub>	3i
[m]	[%]	[-]	[m]	[cm]	[m]
15	1.5	0.5	10	-12.09	26.25
15	1.5	0.5	12	-10.85	19.50
15	1.5	0.5	15	-9.40	22.50
15	1.5	0.5	20	-7.69	27.50
15	1.5	0.5	25	-6.51	32.50
15	1.5	0.5	30	-5.64	37.50
15	1.5	0.5	35	-4.98	42.50

D	V <sub>p</sub>	k	Z	S <sub>0</sub>	3i
[m]	[%]	[-]	[m]	[cm]	[m]
15	2	0.5	10	-16.11	26.25
15	2	0.5	12	-14.46	19.50
15	2	0.5	15	-12.53	22.50
15	2	0.5	20	-10.25	27.50
15	2	0.5	25	-8.68	32.50
15	2	0.5	30	-7.52	37.50
15	2	0.5	35	-6.64	42.50



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI CALABRIA – PARTE GENERALE</b> <b>STRADALE – Relazione sulla valutazione delle</b> <b>subsidenze indotte e sui possibili danni agli edifici</b>		<i>Codice documento</i> CS0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

#### 4.2.6 Galleria a singola canna: Ramo D

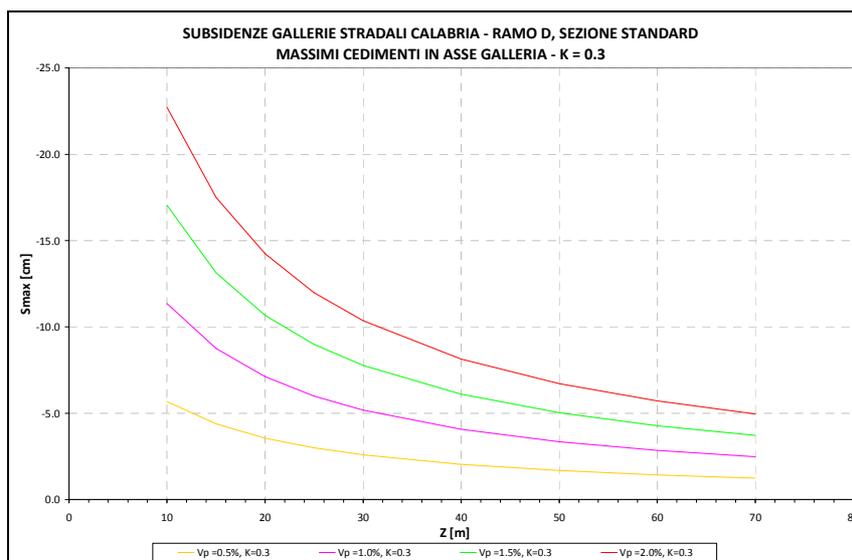
##### ANALISI k=0.3

D	V <sub>p</sub>	k	Z	S <sub>0</sub>	3i
[m]	[%]	[-]	[m]	[cm]	[m]
13.5	0.5	0.3	10	-5.68	15.08
13.5	0.5	0.3	15	-4.38	13.05
13.5	0.5	0.3	20	-3.56	16.05
13.5	0.5	0.3	25	-3.00	19.05
13.5	0.5	0.3	30	-2.59	22.05
13.5	0.5	0.3	40	-2.04	28.05
13.5	0.5	0.3	50	-1.68	34.05
13.5	0.5	0.3	60	-1.43	40.05
13.5	0.5	0.3	70	-1.24	46.05

D	V <sub>p</sub>	k	Z	S <sub>0</sub>	3i
[m]	[%]	[-]	[m]	[cm]	[m]
13.5	1	0.3	10	-11.36	15.08
13.5	1	0.3	15	-8.75	13.05
13.5	1	0.3	20	-7.12	16.05
13.5	1	0.3	25	-6.00	19.05
13.5	1	0.3	30	-5.18	22.05
13.5	1	0.3	40	-4.07	28.05
13.5	1	0.3	50	-3.35	34.05
13.5	1	0.3	60	-2.85	40.05
13.5	1	0.3	70	-2.48	46.05

D	V <sub>p</sub>	k	Z	S <sub>0</sub>	3i
[m]	[%]	[-]	[m]	[cm]	[m]
13.5	1.5	0.3	10	-17.05	15.08
13.5	1.5	0.3	15	-13.13	13.05
13.5	1.5	0.3	20	-10.67	16.05
13.5	1.5	0.3	25	-8.99	19.05
13.5	1.5	0.3	30	-7.77	22.05
13.5	1.5	0.3	40	-6.11	28.05
13.5	1.5	0.3	50	-5.03	34.05
13.5	1.5	0.3	60	-4.28	40.05
13.5	1.5	0.3	70	-3.72	46.05

D	V <sub>p</sub>	k	Z	S <sub>0</sub>	3i
[m]	[%]	[-]	[m]	[cm]	[m]
13.5	2	0.3	10	-22.73	15.08
13.5	2	0.3	15	-17.50	13.05
13.5	2	0.3	20	-14.23	16.05
13.5	2	0.3	25	-11.99	19.05
13.5	2	0.3	30	-10.36	22.05
13.5	2	0.3	40	-8.14	28.05
13.5	2	0.3	50	-6.71	34.05
13.5	2	0.3	60	-5.70	40.05
13.5	2	0.3	70	-4.96	46.05



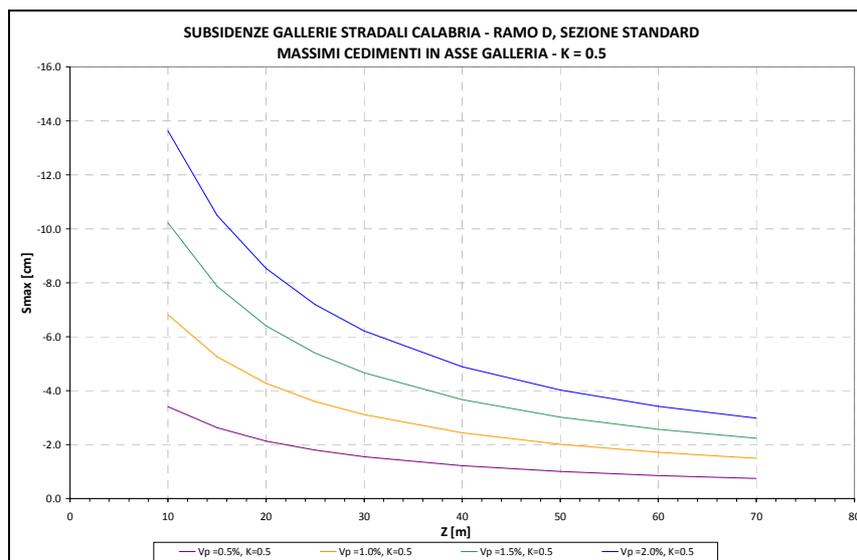
### ANALISI k=0.5

D	V <sub>p</sub>	k	Z	S <sub>0</sub>	3i
[m]	[%]	[-]	[m]	[cm]	[m]
13.5	0.5	0.5	10	-3.41	25.13
13.5	0.5	0.5	15	-2.63	21.75
13.5	0.5	0.5	20	-2.13	26.75
13.5	0.5	0.5	25	-1.80	31.75
13.5	0.5	0.5	30	-1.55	36.75
13.5	0.5	0.5	40	-1.22	46.75
13.5	0.5	0.5	50	-1.01	56.75
13.5	0.5	0.5	60	-0.86	66.75
13.5	0.5	0.5	70	-0.74	76.75

D	V <sub>p</sub>	k	Z	S <sub>0</sub>	3i
[m]	[%]	[-]	[m]	[cm]	[m]
13.5	1	0.5	10	-6.82	25.13
13.5	1	0.5	15	-5.25	21.75
13.5	1	0.5	20	-4.27	26.75
13.5	1	0.5	25	-3.60	31.75
13.5	1	0.5	30	-3.11	36.75
13.5	1	0.5	40	-2.44	46.75
13.5	1	0.5	50	-2.01	56.75
13.5	1	0.5	60	-1.71	66.75
13.5	1	0.5	70	-1.49	76.75

D	V <sub>p</sub>	k	Z	S <sub>0</sub>	3i
[m]	[%]	[-]	[m]	[cm]	[m]
13.5	1.5	0.5	10	-10.23	25.13
13.5	1.5	0.5	15	-7.88	21.75
13.5	1.5	0.5	20	-6.40	26.75
13.5	1.5	0.5	25	-5.40	31.75
13.5	1.5	0.5	30	-4.66	36.75
13.5	1.5	0.5	40	-3.66	46.75
13.5	1.5	0.5	50	-3.02	56.75
13.5	1.5	0.5	60	-2.57	66.75
13.5	1.5	0.5	70	-2.23	76.75

D	V <sub>p</sub>	k	Z	S <sub>0</sub>	3i
[m]	[%]	[-]	[m]	[cm]	[m]
13.5	2	0.5	10	-13.64	25.13
13.5	2	0.5	15	-10.50	21.75
13.5	2	0.5	20	-8.54	26.75
13.5	2	0.5	25	-7.19	31.75
13.5	2	0.5	30	-6.22	36.75
13.5	2	0.5	40	-4.89	46.75
13.5	2	0.5	50	-4.02	56.75
13.5	2	0.5	60	-3.42	66.75
13.5	2	0.5	70	-2.98	76.75



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI CALABRIA – PARTE GENERALE STRADALE – Relazione sulla valutazione delle subsidenze indotte e sui possibili danni agli edifici	<i>Codice documento</i> CS0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

## 5 Analisi delle subsidenze e valutazione dei danni indotti sui fabbricati

Sulla base dello studio dei cedimenti indotti dallo scavo è possibile stimare l'entità dell'estensione del bacino di subsidenza, quindi, unitamente alle caratteristiche geometriche, strutturali e di conservazione degli edifici, si può conseguentemente effettuare una valutazione del probabile rischio di danno in merito ai risentimenti provocati sugli edifici dallo scavo della galleria.

Come esposto al punto 3.2, in questa fase (**FASE 1**) si definisce la classe di danno imponendo all'edificio il *greenfield settlement* con variabilità del volume perso  $V_p=1.0-1.5\%$  secondo le formulazioni di bibliografia. Per la determinazione della classe di danno, e quindi per l'individuazione della necessità di prevedere eventuali interventi di presidio, i valori di volume perso indicati sono dedotti sulla base di gallerie in contesti analoghi e in relazione ai risultati delle analisi numeriche effettuate (vedi Paragrafo 6.1). Il parametro  $k$  è assunto pari a 0.3.

I fabbricati interferiti vengono schematizzati come semplici travi elastiche e prive di peso aventi altezza  $H$  e lunghezza  $L$  pari a quelle della sezione dell'edificio analizzato (Burland, 1997).

### 5.1 Deformazioni indotte sui fabbricati: Cenni teorici

Per la definizione delle deformazioni indotte si considera di appoggiare la trave equivalente all'edificio sulla deformata "*green field*". Il bacino di subsidenza viene limitato ad una fascia compresa tra  $+2.5i$  e  $-2.5i$  ( $i$  = distanza fra il punto di flesso della curva e l'asse della galleria) posta a cavallo dell'asse della galleria ne derivano le seguenti assunzioni:

- gli spostamenti orizzontali e verticali di punti esterni ai limiti del bacino sono nulli;
- la porzione di edificio interessata dalle deformazioni è quella compresa tra i suddetti estremi.

La nuova configurazione della trave (equivalente all'edificio) implica la mobilitazione di sollecitazioni flessionali e di taglio e corrispondenti deformazioni. Le deformazioni indotte si calcolano mediante le seguenti equazioni:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI CALABRIA – PARTE GENERALE STRADALE – Relazione sulla valutazione delle subsidenze indotte e sui possibili danni agli edifici		<i>Codice documento</i> CS0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$$\varepsilon_f = \frac{\Delta/L_i}{\left[ \frac{L_i}{12t} + \frac{3IE}{2tL_iHG} \right]}$$

$$\varepsilon_t = \frac{\Delta/L_i}{\left[ 1 + \frac{HL_i^2G}{18IE} \right]}$$

dove:

$\varepsilon_f$  = deformazione flessionale

$\varepsilon_t$  = deformazione di taglio

$\Delta/L_i$  = rapporto di inflessione (si veda la **Figura 6**)

$L_i$  = porzione ( $\leq L$  = lunghezza edificio) di edificio ricadente nella zona analizzata

$I$  = modulo di inerzia (H3/12 in zona sagging ; H3/3 in zona hogging)

$E/G$  = rapporto tra il modulo di elasticità longitudinale e tangenziale (12.5 per fabbricati in c.a. e 2.6 per fabbricati in muratura)

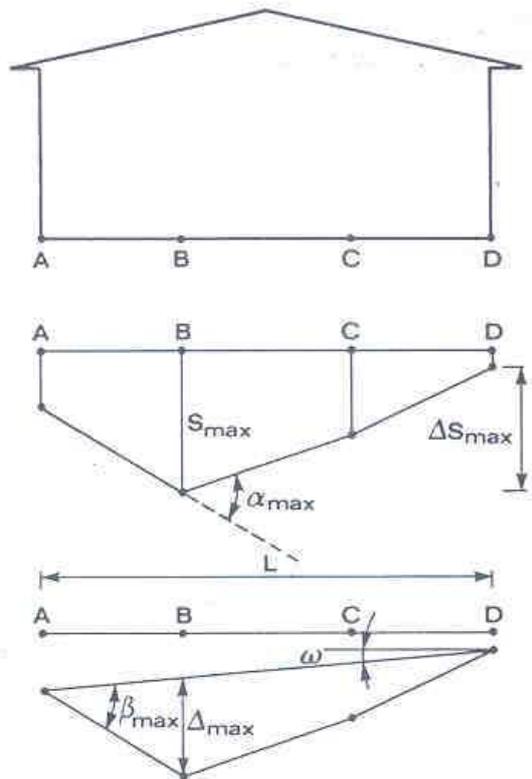
$t$  = distanza dell'asse neutro dal bordo teso della trave (H/2 in zona sagging; H in zona di hogging)

I campi di deformazione vengono composti, per ogni campo deformativo (hogging a dx – sagging – hogging a sx), secondo le seguenti equazione:

$$\varepsilon_{totale} = \varepsilon_y + \varepsilon_f \quad (\text{condizione di flessione})$$

$$\varepsilon_{totale} = 0.35 \cdot \varepsilon_y + \left[ (0.65 \cdot \varepsilon_y)^2 + \varepsilon_t^2 \right]^{0.5} \quad (\text{condizione di taglio, } \nu = 0.3)$$

In zona di “hogging” le deformazioni indotte dai cedimenti verticali (deformazioni in estensione) si sommano alle deformazioni indotte dagli spostamenti orizzontali (deformazioni in estensione), mentre in zona di “sagging” alle deformazioni indotte dai cedimenti verticali (deformazioni in estensione) si sottraggono le deformazioni indotte dagli spostamenti orizzontali (deformazioni in compressione).



S= CEDIMENTO     $\omega$ = ROTAZIONE RIGIDA  
 $\Delta S$ = CEDIMENTO DIFFERENZIALE  
 $\beta$ = ROTAZIONE RELATIVA  
 $\alpha$ = DEFORMAZIONE ANGOLARE  
 $\Delta$ = INFLESSIONE  
 $\Delta/L$ = RAPPORTO DI INFLESSIONE  
(CURVATURA)

Figura 6: Rapporto di inflessione

## 5.2 Categorie di danno: Cenni teorici

Il sistema di classificazione del danno indotto sulle strutture è basato sulla “facilità di riparazione” di quanto visibile, prendendo in considerazione alcuni aspetti quali l’apertura delle fessure, l’inclinazione, i danni ai servizi.

Si riporta nel seguito una sintesi dei criteri di classificazione del danno rispettivamente basati sulla determinazione della distorsione limite e sulla stima delle deformazioni di trazione generate nelle strutture secondo le formulazioni di bibliografia.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI CALABRIA – PARTE GENERALE STRADALE – Relazione sulla valutazione delle subsidenze indotte e sui possibili danni agli edifici	<i>Codice documento</i> CS0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

### 5.2.1 Spostamenti e distorsioni limite

Al fine di stabilire le ripercussioni degli scavi sulle preesistenze in superficie, risulta importante individuare i valori limite di spostamento e distorsione.

Oltre al cedimento massimo, un parametro molto significativo per la valutazione dei danni a fabbricati e manufatti, è la “distorsione angolare” fra due punti dell’edificio/manufatto, essendo principalmente il cedimento differenziale la causa dell’insorgere di lesioni e rotture.

Al riguardo, facendo riferimento alla bibliografia esistente sull’argomento, Skempton e MacDonald (1956), basandosi sull’osservazione di 98 edifici ed con riferimento anche allo studio di Ricceri e Sorazo (1985) su 25 strutture realizzate in Italia, evidenziano che non si ha comparsa di fessure sulle strutture di tamponamento fino a valori di  $\beta < 1/300$  e per vedere danni sulle strutture portanti in calcestruzzo è necessario arrivare a valori di  $\beta$  pari a 1/150.

In Polschin e Tokar (1957) si considera un approccio più conservativo, indicando valori ammissibili pari a 1/500 per strutture a telaio in calcestruzzo armato con tamponature e pari a 1/200 per telai aperti.

Stessi valori vengono indicati anche nell’ambito dell’Eurocodice 7, appendice H, dove si indica come ammissibile una distorsione pari a 1/500, evidenziando una condizione di stato limite ultimo pari a 1/150.

Si riporta nel seguito una sintesi delle principali classificazioni presenti in letteratura:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI CALABRIA – PARTE GENERALE STRADALE – Relazione sulla valutazione delle subsidenze indotte e sui possibili danni agli edifici		<i>Codice documento</i> CS0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

**Tabella 3 – Criterio di classificazione del danno edifici – Burland 1977 (principalmente utilizzata per edifici con fondazioni continue)**

Categoria di rischio	Intensità del danno	Descrizione
0 (estetico)	Trascurabile	Fessure capillari con aperture $\leq 0.1$ mm.
1 (estetico)	Molto lieve	<u>Fessure sottili cui si rimedia facilmente con lavori di pitturazione.</u> Il danno è limitato agli intonaci delle pareti interne. Fessure alle parti esterne rilevabili con attento esame. Tipica apertura delle lesioni $\leq 1$ mm.
2 (estetico)	Lieve	<u>Fessure facilmente stuccabili, ripittura necessaria. Le fessure ricorrenti possono essere mascherate con opportuni rivestimenti.</u> Fessure anche visibili all'esterno; può essere necessaria qualche ripresa della spillatura per garantire l'impermeabilità. Possibili difficoltà nell'apertura di porte e finestre. Tipica apertura delle lesioni $\leq 5$ mm.
3 (estetico/funzionale)	Moderata	<u>Le fessure richiedono cucì e scuci della muratura.</u> Anche all'esterno necessari interventi sulla muratura. Possibile blocco di porte e finestre. Rottura di tubazioni. Spesso l'impermeabilità non è garantita. Tipica apertura delle lesioni $5 \div 15$ mm, oppure molte lesioni $\leq 3$ .
4 (funzionale)	Severa	<u>Necessarie importanti riparazioni, compresa demolizione e ricostruzione di parti di muri, specie al di sopra di porte e finestre.</u> I telai di porte e finestre si distorcono; percepibile pendenza di pavimenti. Muri inclinati o spanciati; qualche perdita d'appoggio di travi. Tubazioni distrutte. Tipica apertura delle lesioni $15 \div 25$ mm, dipendente anche dal numero di lesioni.
5 (strutturale)	Molto severa	<u>Richiesti importanti lavori con parziale e totale demolizione e ricostruzione.</u> Le travi perdono l'appoggio, i muri si inclinano fortemente e richiedono puntellatura. Pericolo di instabilità. Tipica apertura delle lesioni superiori a 25 mm, dipendente anche dal numero di lesioni.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI CALABRIA – PARTE GENERALE STRADALE – Relazione sulla valutazione delle subsidenze indotte e sui possibili danni agli edifici</b>		<i>Codice documento</i> CS0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

**Tabella 4 – Criterio di classificazione del danno edifici – Rankine 1988 (principalmente utilizzata per edifici con fondazioni isolate)**

Categoria di rischio	Intensità del danno	Descrizione
1(estetico)	Irrilevante, non visibile	<u>Improbabile danno superficiale</u>
2(estetico)	Lieve	<u>Possibile danno superficiale senza danno strutturale</u>
3(funzionale)	Medio	<u>Probabile danno superficiale e possibile danno strutturale ed alle tubature</u>
4(strutturale)	Elevato	<u>Probabile danno strutturale</u>

Come evidenziato al punto 3.2, in particolare si fa riferimento alla classificazione di Boscardin e Cording (1989) che, analizzando casi storici, giunsero alla correlazione tra la categoria di danno ed i suoi principali indicatori.

Tale correlazione sintetizza il legame tra categoria di danno e cedimenti/distorsioni. La determinazione della'accettabilità dei cedimenti/distorsioni indotti dallo scavo si effettua attraverso il calcolo dei parametri identificativi dello stato deformativo. Il cedimento in sé non è causa di danno alle strutture pertanto non può essere considerato una misura efficace del potenziale danneggiamento. La determinazione della categoria di danno di previsione progettuale e la determinazione dell'accettabilità dei parametri deformativi indotti si effettua pertanto attraverso il calcolo degli indicatori  $\epsilon_{lim}$  e  $\beta$ .

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI CALABRIA – PARTE GENERALE</b> <b>STRADALE – Relazione sulla valutazione delle</b> <b>subsidenze indotte e sui possibili danni agli edifici</b>		<i>Codice documento</i> CS0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

**Tabella 5 –Boscardin e Cording 1989**

Damage category		Description of typical damage	Approx. crack width	$\Delta$	Limiting tensile strain $\epsilon_{tm}(\%)$	$\beta = \delta/L$
0	Negligible	Hairline cracks	<0.1 mm	< 3 cm	0-0,05	< 1/300
1	Very slight	Very slight damage includes fine cracks that can be easily treated during normal decoration, perhaps an isolated slight fracture in building, and cracks in external brickwork visible on close inspection	1 mm	3-4 cm	0,05-0,075	1/300 to 1/240
2	Slight	Slight damage includes cracks that can be easily filled and redecoration would probably be required; several slight fractures may appear showing on the inside of the building; cracks that are visible externally and some repointing may be required; doors and windows may stick	3 mm	4-6 cm	0,075-0,15	1/240 to 1/175
3	Moderate	Moderate damage includes cracks that require some opening up and can be patched by mason; recurrent cracks that can be masked by suitable linings; repointing of external brickwork and possibly a small amount of brickwork replacement may be required; doors and windows stick; service pipes may fracture; weathertightness is often impaired	5 to 15 mm or a number of cracks > 3mm	5-8 cm	0,15-0,3	1/175 to 1/120
4	Severe	Severe damage includes large cracks requiring extensive repair work involving breaking out and replacing sections of walls (especially over doors and windows); distorted windows and door frames, noticeably sloping floors; leaning or bulging walls; some loss of bearing in beams; disrupted service pipes	15 to 25 mm but also depends on number of cracks	8-13 cm	>0,3	1/120 to 1/70
5	Very severe	Very severe damage often requires a major repair job involving partial or complete rebuilding; beams lose bearing; walls lean and require shoring; windows are broken with distortion; there is danger of structural instability	Usually > 5 mm but also depends on number of cracks	> 13 cm	>0,3	> 1/70

### 5.3 Osservazioni

Il metodo di calcolo utilizzato è basato sulle seguenti ipotesi:

- gli spostamenti e le deformazioni indotte sugli edifici sono assunte pari a quelle corrispondenti alla *condizione "green field"*;
- la rigidezza degli edifici analizzati è considerata nulla, mentre in realtà le opere di fondazioni interagiscono con il terreno riducendo il rapporto di inflessione e le deformazioni

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI CALABRIA – PARTE GENERALE STRADALE – Relazione sulla valutazione delle subsidenze indotte e sui possibili danni agli edifici	<i>Codice documento</i> CS0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

orizzontali ottenute nella condizione “*green field*”;

- nessuna distinzione tra fondazioni su plinti, su trave e su platea che presentano chiaramente comportamenti differenti soprattutto nei confronti degli spostamenti orizzontali;
- tutti gli edifici vengono considerati come disposti perpendicolarmente all’asse della galleria scavata (configurazione che determina per uno stesso edificio le condizioni peggiori in termini di entità di deformazione).

Tenendo conto delle suddette ipotesi si può affermare che tale approccio risulta molto conservativo ed i risultati ottenuti si riferiscono alla peggiore configurazione di danno possibile.

Comunque per gli edifici che rientrano in categorie di danno  $\geq 3$  e/o che presentano condizioni tali da poter rimuovere alcune delle ipotesi assunte si sono effettuate eventuali ulteriori valutazioni.

#### **5.4 Cedimenti a lungo termine**

Le analisi effettuate si riferiscono unicamente agli spostamenti che si originano subito dopo il passaggio della macchina di scavo ossia a breve termine.

Gli spostamenti, però, proseguono nel tempo in seguito ai fenomeni di drenaggio e di consolidazione che possono interessare il terreno nell’intorno della galleria.

Misure effettuate in altri casi simili e analisi, svolte allo scopo di studiare il problema in oggetto, mostrano che tali spostamenti, definiti a lungo termine, comportano i seguenti effetti:

- interessano una fascia più ampia di quella corrispondente al bacino di subsidenza indotto dagli spostamenti a breve termine;
- generano incrementi dei cedimenti differenziali e delle deformazioni orizzontali, indotti nell’area interessata dagli spostamenti a breve termine, ridotti o nulli.

Nel caso specifico, essendo la maggior parte dei terreni interessati dall’opera in oggetto poco plastici e perciò poco compressibili, è probabile che gli spostamenti a lungo termine risultino trascurabili se paragonati a quelli a breve termine.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI CALABRIA – PARTE GENERALE STRADALE – Relazione sulla valutazione delle subsidenze indotte e sui possibili danni agli edifici	<i>Codice documento</i> CS0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

## 6 Risultati delle Analisi

Come precedentemente descritto, nel caso in esame si è proceduto ad individuare la categoria di danno secondo quanto suggerito dalla letteratura (Mair e Taylor e Burland – *Prediction of ground movements and assessment of risk of building damage due to bored tunneling*).

Si è assunto:

- Area: L'area considerata nelle analisi è stata desunta dalla sezione corrispondente alla PK delle interferenze;
- E/G: Assunto pari a 12.5 per il cemento armato, 2.6 per la muratura. Nelle analisi svolte, a termini cautelativi gli edifici misti muratura-c.a., sono stati considerati con un valore di E/G pari a 2.6;
- $V_p$ : 1%-1.5% (vedi Paragrafo 6.1)
- $k$ : 0.3

Come già riportato in precedenza, valori tipici del parametro  $k$  per terreni granulari sono 0,2-0,3 mentre per terreni coesivi tale valore varia solitamente tra 0,4-0,6. Le analisi di danno sono state svolte considerando  $k=0,3$  per privilegiare il comportamento degli strati superficiali (essenzialmente di tipo granulare) del terreno, in quanto quest'ultimi sono quelli maggiormente significativi nello studio delle classi di danno.

Si riporta, di seguito, un quadro di sintesi dei risultati relativi alla **FASE 1** per gli edifici interferenti nella tratta in esame con il futuro scavo delle gallerie, rimandando a quanto riportato in allegato per una descrizione dettagliata dei risultati ottenuti.

### 6.1 Stima del volume perso per le analisi di danno

Per la determinazione della classe di danno, e quindi per l'individuazione della necessità di prevedere eventuali interventi di presidio, i valori di volume perso assunti sono dedotti sulla base di gallerie in contesti analoghi e in relazione ai risultati delle analisi numeriche effettuate.

In particolare a partire dalle analisi dei risultati delle linee caratteristiche e dei modelli numerici a basse coperture, nell'ipotesi semplificativa che esista una correlazione diretta e unitaria tra il volume perso in galleria e il volume perso in superficie, è possibile legare i valori deformativi di calcolo al volume perso. I risultati ottenuti sono in linea con quanto effettivamente riscontrato in contesti analoghi e sono indicative delle condizioni ideali di lavoro. In tabella sono riportate in forma numerica le considerazioni svolte nel presente Paragrafo per le sezioni tipo prevalenti.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		COLLEGAMENTI CALABRIA – PARTE GENERALE STRADALE – Relazione sulla valutazione delle subsidenze indotte e sui possibili danni agli edifici	Codice documento CS0212_F0	Rev F0

	A [m2]	P [m]	Vp [%]	Vp [m3/m]	δ [cm]	δ <sub>LC,30m</sub> Conglomerati [cm]	δ <sub>Plaxis,30m</sub> (valore medio) [cm]
RAMO A/C	165	50	1	1,65	3,3	5,8	4,5
RAMO A/C +1,45	195	52	1	1,95	3,8	6,3	6,0
RAMO A/C +1,45 PIAZZ.	270	60	1	2,70	4,5	6,8	-
RAMO B/D	135	42	1	1,35	3,2	5,6	2
RAMO B/D PIAZZOLA	200	52	1	2,00	3,8	6,5	-
RAMO A/C	165	50	1,5	2,48	5,0	5,8	4,5
RAMO A/C +1,45	195	52	1,5	2,93	5,6	6,3	6,0
RAMO A/C +1,45 PIAZZ.	265	59	1,5	3,98	6,7	6,8	-
RAMO B/D	135	42	1,5	2,03	4,8	5,6	2
RAMO B/D PIAZZOLA	200	52	1,5	3,00	5,8	6,5	-

## 6.2 Sintesi dei Risultati

### 6.2.1 Ramo A – Vp = 1%

#### Sintesi delle analisi di subsidenza ed influenza sugli edifici

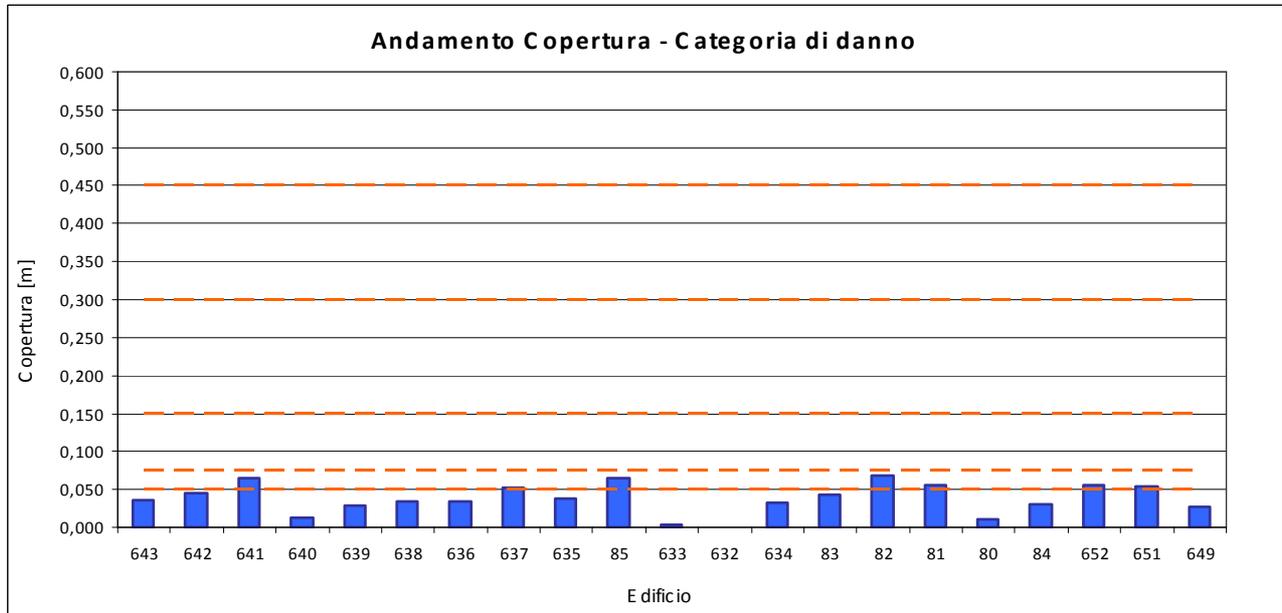
Vp 1 %

Progetto Ponte sullo stretto

Ramo A1

Tratta Ramo A

Progressiva	Edificio	Posizione edificio [m]		Copertura [m]	Abbass. max. (asse galleria) [cm]	Spostamento orizzontale max [cm]	Spostamento verticale [cm]		Categoria di danno	♦ max	♦ max
		Sx	Dx				Sx	Dx			
0	643	-45,3	-25,5	49	-4,91	0,89	-0,15	-1,63	0	0,0356	0,0003
0	642	-32,1	-21,6	50	-4,83	0,88	-0,89	-2,25	0	0,0449	0,0002
0	641	-23,9	-15,2	37	-6,21	1,13	-1,31	-3,32	1	0,0654	0,0003
0	640	13,5	-7,8	38	-6,08	1,11	-3,84	-5,19	0	0,0126	0,0001
0	639	49	-1,9	40	-5,83	1,06	-3,87	-5,78	0	0,0285	0,0006
0	638	-7,6	0,3	40	-5,83	1,06	-5,08	-5,83	0	0,0349	0,0006
0	636	4,9	-0,1	39	-5,95	1,08	-5,61	-5,95	0	0,0342	0,0000
0	637	-26,9	-8,4	42	-5,60	1,02	-1,14	-4,79	1	0,0524	0,0003
0	635	-3,7	1,3	39	-5,95	1,08	-5,75	-5,93	0	0,0371	0,0003
0	85	-23,8	-16,6	37	-6,21	1,13	-1,33	-2,94	1	0,0651	0,0002
0	633	-50,7	-33,6	26	-8,21	1,49	0,00	-0,04	0	0,0027	0,0000
0	632	-51,9	-37,3	18	-10,72	1,95	0,00	0,00	0	0,0000	0,0000
0	634	-37,2	-27	27	-7,98	1,45	-0,02	-0,30	0	0,0330	0,0002
0	83	35,9	24,9	35	-6,50	1,18	-0,14	-1,03	0	0,0432	0,0000
0	82	25	18,1	34	-6,66	1,21	-0,95	-2,40	1	0,0676	0,0000
0	81	22,4	14,3	34	-6,66	1,21	-1,39	-3,52	1	0,0560	0,0000
0	80	36,4	9,8	37	-6,21	1,13	-0,17	-4,79	0	0,0102	0,0000
0	84	37,3	30,2	36	-6,36	1,16	-0,12	-0,48	0	0,0313	0,0000
0	652	-31	-15,3	39	-5,95	1,08	-0,54	-3,32	1	0,0550	0,0005
0	651	-22,9	-14,1	38	-6,08	1,11	-1,55	-3,62	1	0,0537	0,0003
0	649	-19,2	-5,4	39	-5,95	1,08	-2,37	-5,53	0	0,0273	0,0003



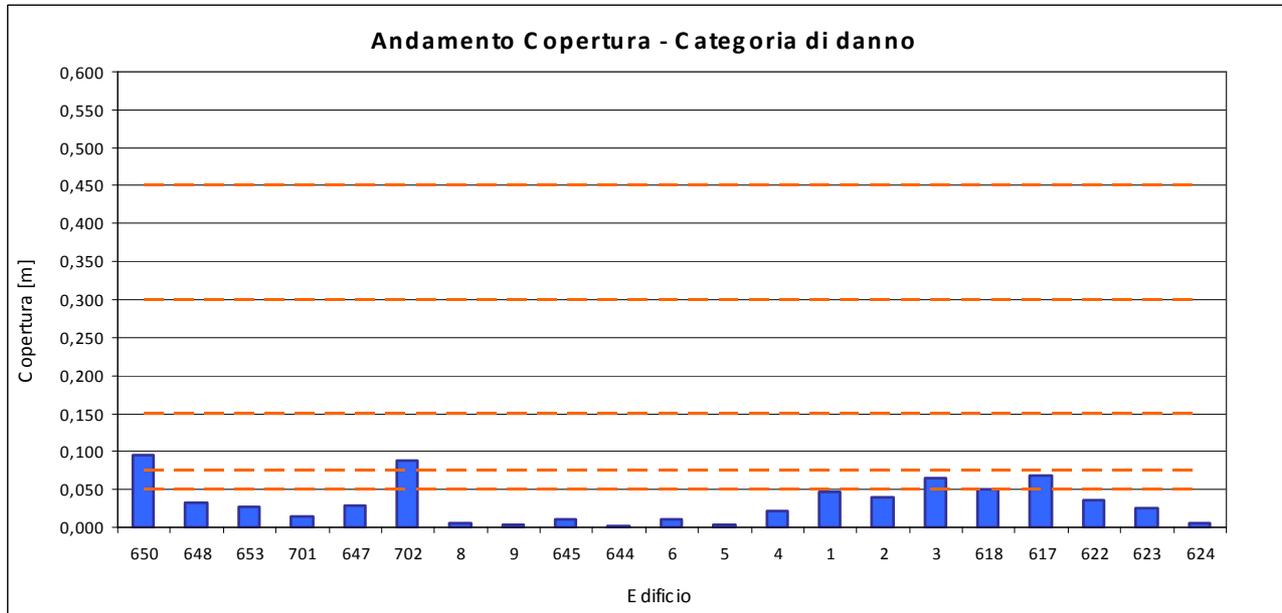
**Sintesi delle analisi di subsidenza ed influenza sugli edifici**

Vp 1 %

Progetto Ponte sullo stretto  
Tratta Ramo A

Ramo A2

Progressiva	Edificio	Posizione edificio [m]		Copertura [m]	Abbass. max. (asse galleria) [cm]	Spostamento orizzontale max [cm]	Spostamento verticale [cm]		Categoria di danno	0 max	0 max
		Sx	Dx				Sx	Dx			
0	650	-30,2	-18,5	35	-6,50	1,18	-0,43	-2,35	2	0,0952	0,0006
0	648	-9,7	-0,8	41	-5,71	1,04	-4,60	-5,70	0	0,0316	0,0005
0	653	-21,2	-14,3	42	-5,60	1,02	-2,08	-3,57	0	0,0270	0,0001
0	701	13,5	-10,2	45	-5,28	0,96	-2,39	-4,30	0	0,0142	0,0001
0	647	49	-0,8	44	-5,38	0,98	-5,05	-5,37	0	0,0291	0,0003
0	702	-34,2	-19,7	37	-6,21	1,13	-0,26	-2,16	2	0,0872	0,0006
0	8	23,3	14,4	44	-5,38	0,98	-1,78	-3,53	0	0,0060	0,0000
0	9	19,5	9,9	44	-5,38	0,98	-2,48	-4,41	0	0,0028	0,0000
0	645	14,1	8,1	41	-5,71	1,04	-3,62	-4,91	0	0,0114	0,0000
0	644	20,3	10,7	44	-5,38	0,98	-2,32	-4,26	0	0,0009	0,0000
0	6	20,8	1,2	38	-6,08	1,11	-1,97	-6,06	0	0,0112	0,0000
0	5	5,4	-4	42	-5,60	1,02	-5,25	-5,40	0	0,0043	0,0000
0	4	-14,2	-2,8	42	-5,60	1,02	-3,59	-5,50	0	0,0218	0,0004
0	1	-30,3	-21	43	-5,49	1,00	-0,78	-2,15	0	0,0471	0,0002
0	2	-26,6	-17,1	43	-5,49	1,00	-1,22	-2,95	0	0,0392	0,0002
0	3	-31,1	-23,9	39	-5,95	1,08	-0,53	-1,43	1	0,0649	0,0002
0	618	-26,4	-12,7	42	-5,60	1,02	-1,20	-3,92	1	0,0505	0,0003
0	617	-28,9	-5	36	-6,36	1,16	-0,59	-5,92	1	0,0686	0,0006
0	622	34	19	47	-5,09	0,93	-0,62	-2,63	0	0,0351	0,0000
0	623	25,1	16,3	46	-5,18	0,94	-1,57	-3,14	0	0,0243	0,0000
0	624	24	15,2	46	-5,18	0,94	-1,74	-3,35	0	0,0057	0,0000



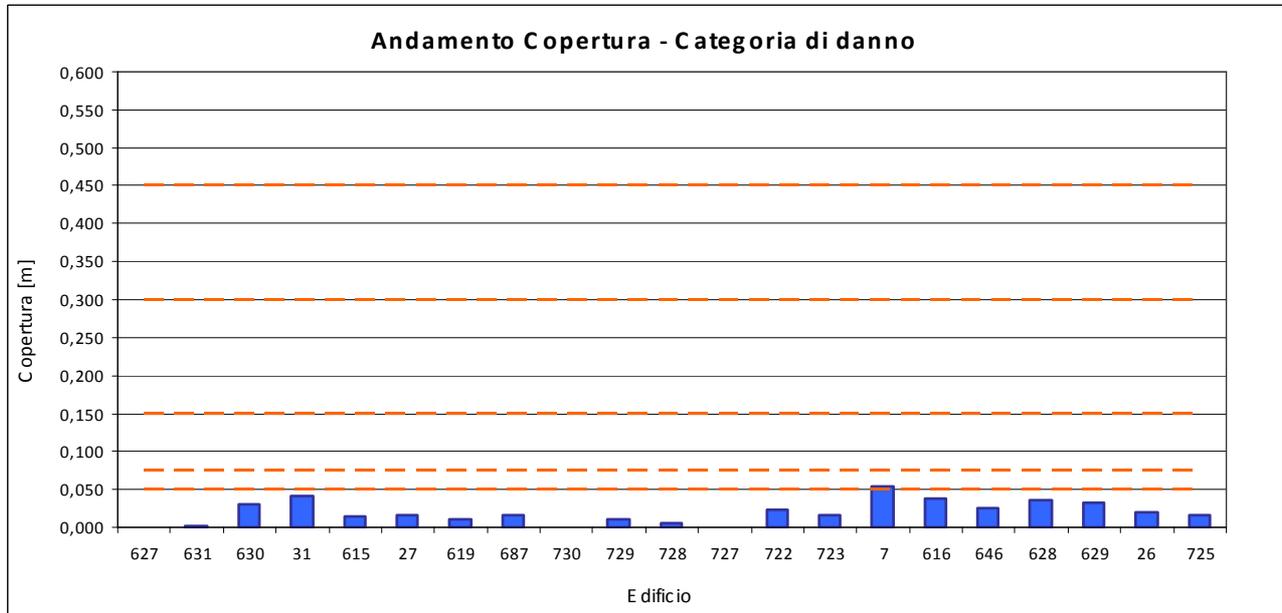
**Sintesi delle analisi di subsidenza ed influenza sugli edifici**

Vp 1 %

Progetto Ponte sullo stretto  
Tratta Ramo A

Ramo A3

Progressiva	Edificio	Posizione edificio [m]		Copertura [m]	Abbass. max. (asse galleria) [cm]	Spostamento orizzontale max [cm]	Spostamento verticale [cm]		Categoria di danno	J max	J max
		Sx	Dx				Sx	Dx			
0	627	21,3	12,4	46	-5,18	0,94	-2,20	-3,88	0	0,0008	0,0000
0	631	18,3	13,6	43	-5,49	1,00	-2,70	-3,71	0	0,0013	0,0000
0	630	23,8	16,3	43	-5,49	1,00	-1,65	-3,12	0	0,0302	0,0000
0	31	13,5	0,5	36	-6,36	1,16	-5,72	-6,35	0	0,0415	0,0006
0	615	49	-2,1	33	-6,82	1,24	-3,20	-6,72	0	0,0145	0,0000
0	27	-50,4	-30,7	34	-6,66	1,21	0,00	-0,35	0	0,0161	0,0002
0	619	-56,3	-38,6	42	-5,60	1,02	-0,01	-0,21	0	0,0100	0,0001
0	687	-44,2	-29,6	27	-7,98	1,45	0,00	-0,16	0	0,0156	0,0001
0	730	22,5	10,4	45	-5,28	0,96	-1,95	-4,27	0	0,0002	0,0000
0	729	19,5	4	46	-5,18	0,94	-2,52	-5,03	0	0,0104	0,0000
0	728	20,5	7,3	44	-5,38	0,98	-2,28	-4,83	0	0,0050	0,0000
0	727	24,3	9,7	47	-5,09	0,93	-1,73	-4,29	0	0,0002	0,0000
0	722	-36,8	-19,3	57	-4,31	0,78	-0,73	-2,65	0	0,0237	0,0002
0	723	-24,5	-5,4	51	-4,75	0,86	-1,83	-4,53	0	0,0159	0,0002
0	7	25	20	39	-5,95	1,08	-1,25	-2,19	1	0,0533	0,0000
0	616	28,5	17,8	44	-5,38	0,98	-1,03	-2,82	0	0,0375	0,0000
0	646	8,3	-0,2	44	-5,38	0,98	-4,68	-5,38	0	0,0255	0,0000
0	628	35,2	23,5	49	-4,91	0,89	-0,60	-1,92	0	0,0360	0,0000
0	629	38,3	18,6	48	-5,00	0,91	-0,38	-2,72	0	0,0326	0,0000
0	26	-43,4	-34,4	35	-6,50	1,18	-0,02	-0,19	0	0,0196	0,0001
0	725	50,2	38,6	46	-5,18	0,94	-0,04	-0,31	0	0,0155	0,0000



**Sintesi delle analisi di subsidenza ed influenza sugli edifici**

Vp 1 %

Progetto Ponte sullo stretto  
Tratta Ramo A

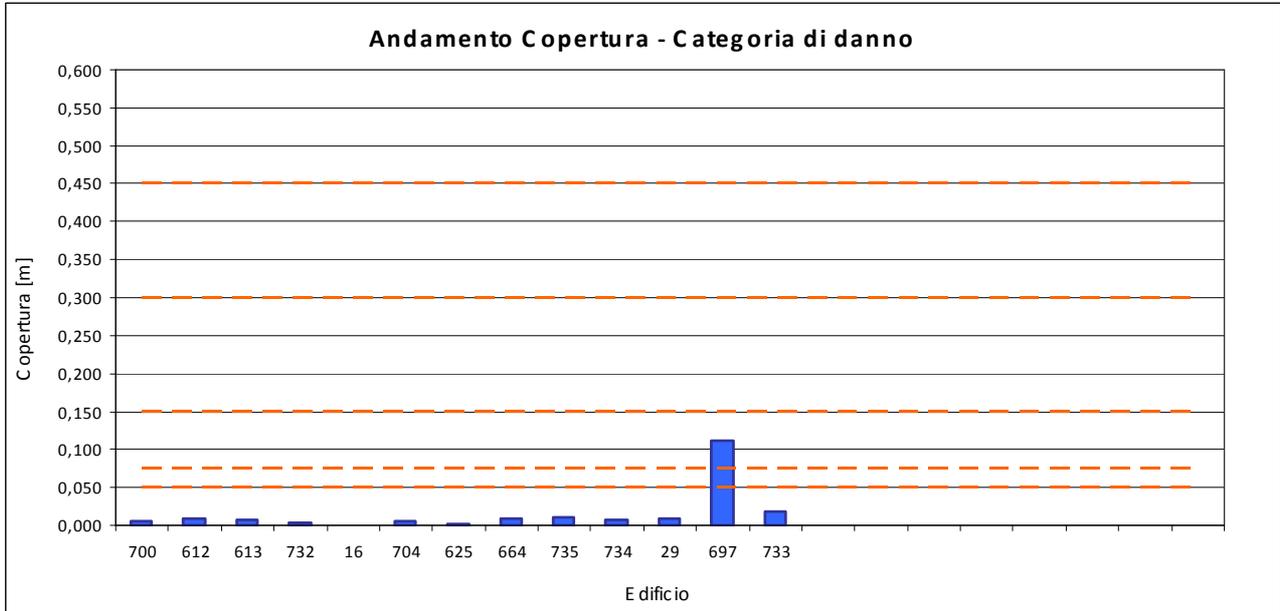
Ramo A4

Progressiva	Edificio	Posizione edificio [m]		Copertura [m]	Abbass. max. (asse galleria) [cm]	Spostamento orizzontale max [cm]	Spostamento verticale [cm]		Categoria di danno	ε <sub>max</sub>	ε <sub>max</sub>
		Sx	Dx				Sx	Dx			
0	700	63,9	43,3	46	-5,18	0,94	0,00	-0,15	0	0,0057	0,0000
0	612	63,1	44,7	52	-4,67	0,85	-0,01	-0,22	0	0,0082	0,0000
0	613	63	45,4	50	-4,83	0,88	-0,01	-0,16	0	0,0068	0,0000
0	732	13,5	50,2	48	-5,00	0,91	-0,01	-0,06	0	0,0039	0,0000
0	16	49	-47,1	33	-6,82	1,24	0,00	0,00	0	0,0003	0,0000
0	704	-54,5	-33,9	29	-7,55	1,37	0,00	-0,07	0	0,0059	0,0001
0	625	-63,6	-51,3	42	-5,60	1,02	0,00	-0,02	0	0,0018	0,0000
0	664	61,2	49,4	57	-4,31	0,78	-0,03	-0,18	0	0,0088	0,0000
0	735	30,6	14,4	42	-5,60	1,02	-0,71	-3,54	0	0,0108	0,0000
0	734	30,4	12,3	45	-5,28	0,96	-0,86	-3,92	0	0,0069	0,0000
0	29	-48,4	-38,7	35	-6,50	1,18	-0,01	-0,08	0	0,0087	0,0000
0	697	-27,5	2,1	32	-6,99	1,27	-0,52	-6,88	2	0,1119	0,0016
0	733	54,3	36,8	54	-4,52	0,82	-0,07	-0,65	0	0,0186	0,0000

COLLEGAMENTI CALABRIA – PARTE GENERALE  
STRADALE – Relazione sulla valutazione delle  
subsidenze indotte e sui possibili danni agli edifici

Codice documento  
CS0212\_F0

Rev	Data
F0	20/06/2011



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		COLLEGAMENTI CALABRIA – PARTE GENERALE STRADALE – Relazione sulla valutazione delle subsidenze indotte e sui possibili danni agli edifici	Codice documento CS0212_F0	Rev F0

## 6.2.2 Ramo A – Vp = 1.5%

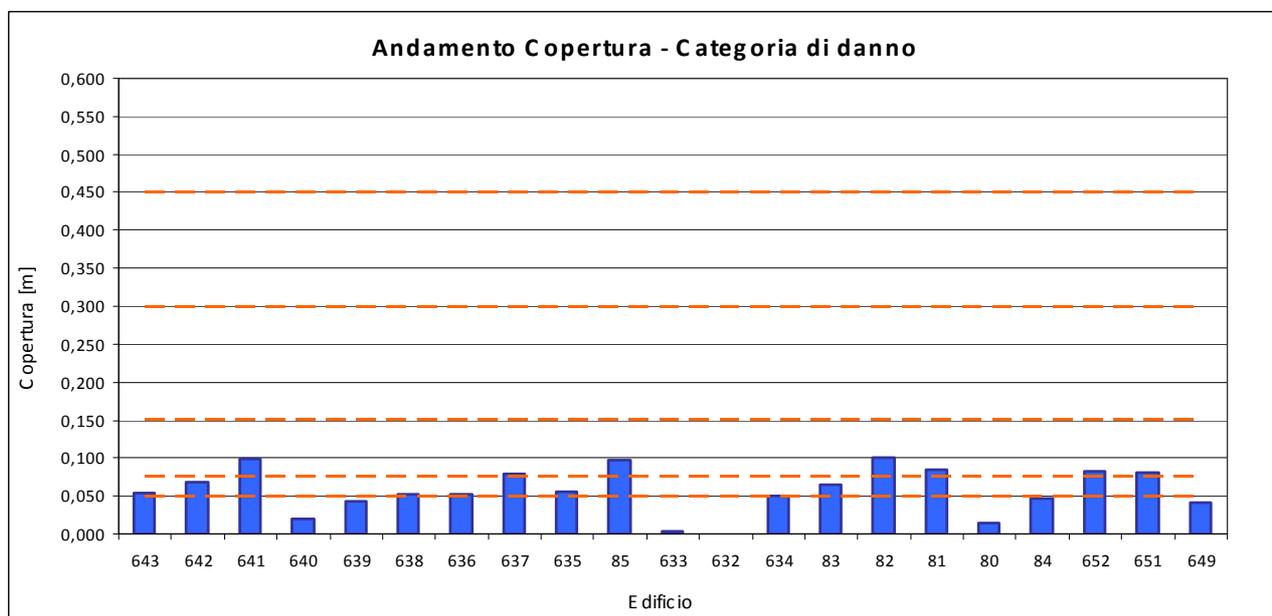
### Sintesi delle analisi di subsidenza ed influenza sugli edifici

Vp 1,5 %

Progetto Ponte sullo stretto  
 Tratta Ramo A

Ramo A1

Progressiva	Edificio	Posizione edificio [m]		Copertura [m]	Abbass. max. (asse galleria) [cm]	Spostamento orizzontale max [cm]	Spostamento verticale [cm]		Categoria di danno	max	max
		Sx	Dx				Sx	Dx			
0	643	-45,3	-25,5	49	-7,37	1,34	-0,23	-2,44	1	0,0534	0,0005
0	642	-32,1	-21,6	50	-7,24	1,32	-1,34	-3,37	1	0,0674	0,0003
0	641	-23,9	-15,2	37	-9,32	1,70	-1,97	-4,97	2	0,0981	0,0004
0	640	13,5	-7,8	38	-9,12	1,66	-5,76	-7,78	0	0,0190	0,0002
0	639	49	-1,9	40	-8,74	1,59	-5,80	-8,67	0	0,0428	0,0009
0	638	-7,6	0,3	40	-8,74	1,59	-7,61	-8,74	1	0,0524	0,0008
0	636	4,9	-0,1	39	-8,93	1,62	-8,41	-8,93	1	0,0512	0,0000
0	637	-26,9	-8,4	42	-8,39	1,53	-1,70	-7,18	2	0,0786	0,0004
0	635	-3,7	1,3	39	-8,93	1,62	-8,63	-8,89	1	0,0557	0,0005
0	85	-23,8	-16,6	37	-9,32	1,70	-2,00	-4,41	2	0,0977	0,0003
0	633	-50,7	-33,6	26	-12,32	2,24	0,00	-0,06	0	0,0041	0,0000
0	632	-51,9	-37,3	18	-16,08	2,93	0,00	0,00	0	0,0000	0,0000
0	634	-37,2	-27	27	-11,97	2,18	-0,02	-0,46	0	0,0495	0,0003
0	83	35,9	24,9	35	-9,75	1,77	-0,21	-1,54	1	0,0648	0,0000
0	82	25	18,1	34	-9,98	1,82	-1,42	-3,59	2	0,1014	0,0000
0	81	22,4	14,3	34	-9,98	1,82	-2,09	-5,28	2	0,0839	0,0000
0	80	36,4	9,8	37	-9,32	1,70	-0,25	-7,18	0	0,0152	0,0000
0	84	37,3	30,2	36	-9,53	1,73	-0,18	-0,71	0	0,0469	0,0000
0	652	-31	-15,3	39	-8,93	1,62	-0,81	-4,98	2	0,0825	0,0007
0	651	-22,9	-14,1	38	-9,12	1,66	-2,33	-5,44	2	0,0806	0,0004
0	649	-19,2	-5,4	39	-8,93	1,62	-3,56	-8,30	0	0,0409	0,0005



COLLEGAMENTI CALABRIA – PARTE GENERALE  
STRADALE – Relazione sulla valutazione delle  
subsidenze indotte e sui possibili danni agli edifici

Codice documento  
CS0212\_F0

Rev F0  
Data 20/06/2011

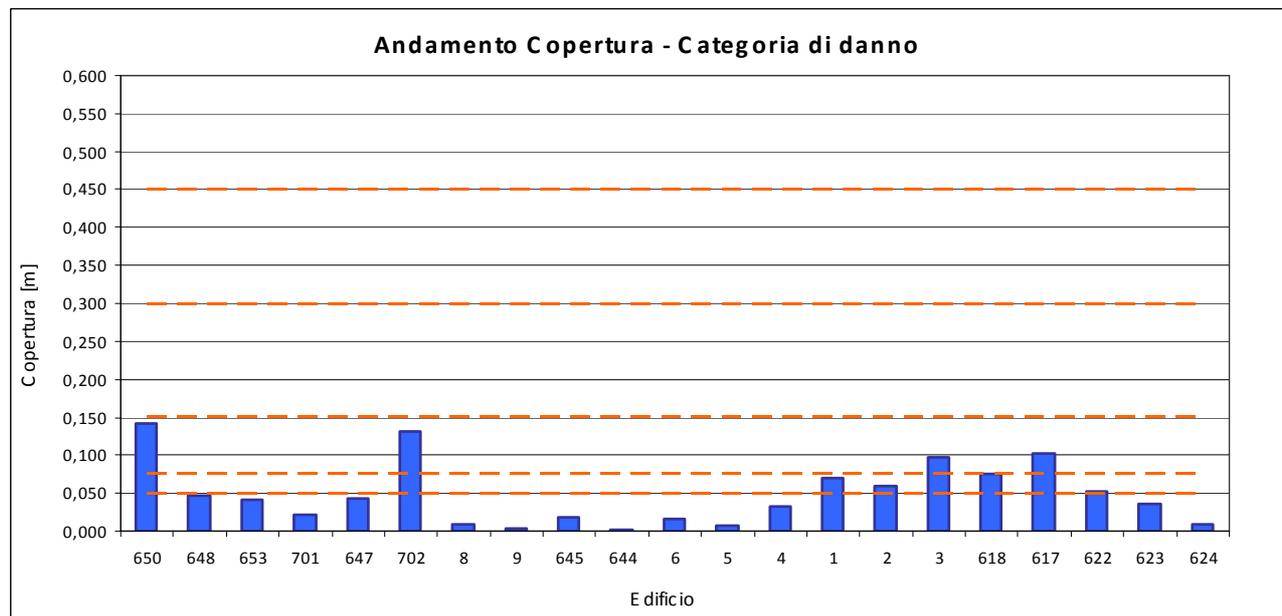
**Sintesi delle analisi di subsidenza ed influenza sugli edifici**

Vp 1,5 %

Progetto Ponte sullo stretto  
Tratta Ramo A

Ramo A2

Progressiva	Edificio	Posizione edificio [m]		Copertura [m]	Abbass. max. (asse galleria) [cm]	Spostamento orizzontale max [cm]	Spostamento verticale [cm]		Categoria di danno	♦ max	♦ max
		Sx	Dx				Sx	Dx			
0	650	-30,2	-18,5	35	-9,75	1,77	-0,65	-3,52	2	0,1428	0,0009
0	648	-9,7	-0,8	41	-8,56	1,56	-6,90	-8,55	0	0,0474	0,0008
0	653	-21,2	-14,3	42	-8,39	1,53	-3,12	-5,35	0	0,0405	0,0001
0	701	13,5	-10,2	45	-7,92	1,44	-3,58	-6,46	0	0,0213	0,0001
0	647	49	-0,8	44	-8,07	1,47	-7,57	-8,06	0	0,0437	0,0004
0	702	-34,2	-19,7	37	-9,32	1,70	-0,39	-3,24	2	0,1308	0,0009
0	8	23,3	14,4	44	-8,07	1,47	-2,67	-5,29	0	0,0090	0,0000
0	9	19,5	9,9	44	-8,07	1,47	-3,72	-6,61	0	0,0042	0,0000
0	645	14,1	8,1	41	-8,56	1,56	-5,43	-7,37	0	0,0171	0,0000
0	644	20,3	10,7	44	-8,07	1,47	-3,48	-6,39	0	0,0014	0,0000
0	6	20,8	1,2	38	-9,12	1,66	-2,96	-9,09	0	0,0168	0,0000
0	5	5,4	-4	42	-8,39	1,53	-7,87	-8,10	0	0,0064	0,0000
0	4	-14,2	-2,8	42	-8,39	1,53	-5,38	-8,25	0	0,0327	0,0006
0	1	-30,3	-21	43	-8,23	1,50	-1,18	-3,23	1	0,0706	0,0003
0	2	-26,6	-17,1	43	-8,23	1,50	-1,84	-4,43	1	0,0588	0,0003
0	3	-31,1	-23,9	39	-8,93	1,62	-0,80	-2,15	2	0,0973	0,0003
0	618	-26,4	-12,7	42	-8,39	1,53	-1,81	-5,88	2	0,0758	0,0004
0	617	-28,9	-5	36	-9,53	1,73	-0,89	-8,88	2	0,1029	0,0008
0	622	34	19	47	-7,63	1,39	-0,93	-3,95	1	0,0526	0,0000
0	623	25,1	16,3	46	-7,77	1,41	-2,36	-4,70	0	0,0365	0,0000
0	624	24	15,2	46	-7,77	1,41	-2,62	-5,02	0	0,0085	0,0000



COLLEGAMENTI CALABRIA – PARTE GENERALE  
STRADALE – Relazione sulla valutazione delle  
subsidenze indotte e sui possibili danni agli edifici

Codice documento  
CS0212\_F0

Rev F0  
Data 20/06/2011

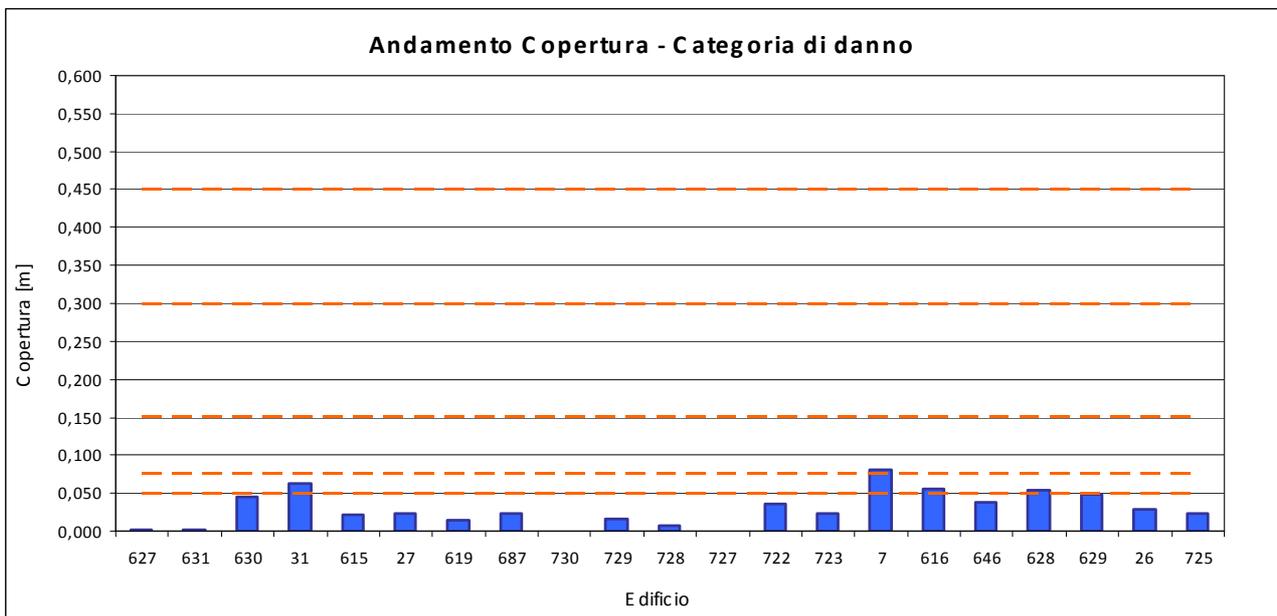
**Sintesi delle analisi di subsidenza ed influenza sugli edifici**

Vp 1,5 %

Progetto Ponte sullo stretto  
Tratta Ramo A

Ramo A3

Progressiva	Edificio	Posizione edificio [m]		Copertura [m]	Abbass. max. (asse galleria) [cm]	Spostamento orizzontale max [cm]	Spostamento verticale [cm]		Categoria di danno	↑ max	↓ max
		Sx	Dx				Sx	Dx			
0	627	21,3	12,4	46	-7,77	1,41	-3,30	-5,81	0	0,0012	0,0000
0	631	18,3	13,6	43	-8,23	1,50	-4,05	-5,56	0	0,0020	0,0000
0	630	23,8	16,3	43	-8,23	1,50	-2,48	-4,69	0	0,0454	0,0000
0	31	13,5	0,5	36	-9,53	1,73	-8,58	-9,53	1	0,0622	0,0009
0	615	49	-2,1	33	-10,23	1,86	-4,80	-10,08	0	0,0218	0,0000
0	27	-50,4	-30,7	34	-9,98	1,82	0,00	-0,53	0	0,0242	0,0002
0	619	-56,3	-38,6	42	-8,39	1,53	-0,01	-0,31	0	0,0150	0,0001
0	687	-44,2	-29,6	27	-11,97	2,18	0,00	-0,24	0	0,0233	0,0002
0	730	22,5	10,4	45	-7,92	1,44	-2,93	-6,41	0	0,0003	0,0000
0	729	19,5	4	46	-7,77	1,41	-3,79	-7,54	0	0,0156	0,0000
0	728	20,5	7,3	44	-8,07	1,47	-3,43	-7,24	0	0,0076	0,0000
0	727	24,3	9,7	47	-7,63	1,39	-2,60	-6,43	0	0,0003	0,0000
0	722	-36,8	-19,3	57	-6,46	1,18	-1,10	-3,97	0	0,0355	0,0003
0	723	-24,5	-5,4	51	-7,12	1,30	-2,75	-6,80	0	0,0239	0,0003
0	7	25	20	39	-8,93	1,62	-1,88	-3,29	2	0,0800	0,0000
0	616	28,5	17,8	44	-8,07	1,47	-1,54	-4,23	1	0,0562	0,0000
0	646	8,3	-0,2	44	-8,07	1,47	-7,01	-8,07	0	0,0383	0,0000
0	628	35,2	23,5	49	-7,37	1,34	-0,90	-2,88	1	0,0540	0,0000
0	629	38,3	18,6	48	-7,50	1,36	-0,57	-4,08	0	0,0489	0,0000
0	26	-43,4	-34,4	35	-9,75	1,77	-0,04	-0,29	0	0,0293	0,0001
0	725	50,2	38,6	46	-7,77	1,41	-0,07	-0,46	0	0,0232	0,0000



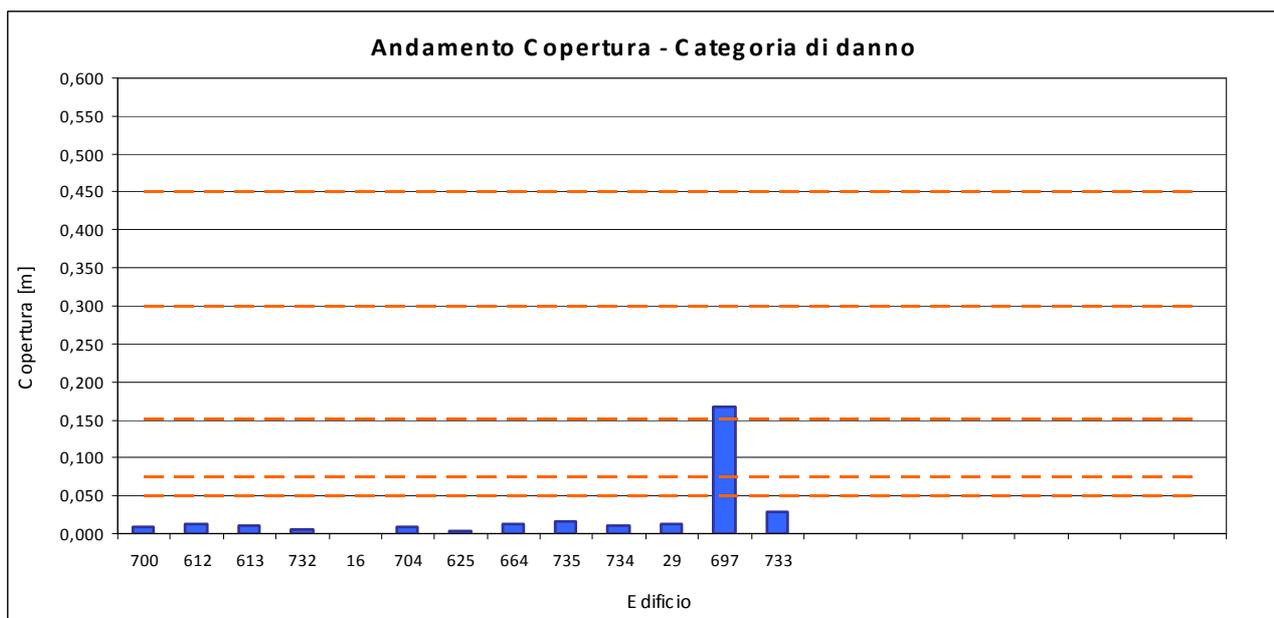
**Sintesi delle analisi di subsidenza ed influenza sugli edifici**

Vp 1,5 %

Progetto Ponte sullo stretto  
Tratta Ramo A

Ramo A4

Progressiva	Edificio	Posizione edificio [m]		Copertura [m]	Abbass. max. (asse galleria) [cm]	Spostamento orizzontale max [cm]	Spostamento verticale [cm]		Categoria di danno	∠max	∠max
		Sx	Dx				Sx	Dx			
0	700	63,9	43,3	46	-7,77	1,41	0,00	-0,22	0	0,0085	0,0000
0	612	63,1	44,7	52	-7,00	1,27	-0,02	-0,33	0	0,0123	0,0000
0	613	63	45,4	50	-7,24	1,32	-0,01	-0,25	0	0,0103	0,0000
0	732	13,5	50,2	48	-7,50	1,36	-0,01	-0,09	0	0,0059	0,0000
0	16	49	-47,1	33	-10,23	1,86	0,00	-0,01	0	0,0004	0,0000
0	704	-54,5	-33,9	29	-11,33	2,06	0,00	-0,11	0	0,0088	0,0001
0	625	-63,6	-51,3	42	-8,39	1,53	0,00	-0,03	0	0,0028	0,0000
0	664	61,2	49,4	57	-6,46	1,18	-0,05	-0,27	0	0,0132	0,0000
0	735	30,6	14,4	42	-8,39	1,53	-1,07	-5,31	0	0,0162	0,0000
0	734	30,4	12,3	45	-7,92	1,44	-1,29	-5,89	0	0,0103	0,0000
0	29	-48,4	-38,7	35	-9,75	1,77	-0,01	-0,11	0	0,0131	0,0001
0	697	-27,5	2,1	32	-10,48	1,91	-0,78	-10,32	3	0,1678	0,0024
0	733	54,3	36,8	54	-6,77	1,23	-0,10	-0,97	0	0,0279	0,0000



**6.2.3 Ramo B – Vp = 1%**

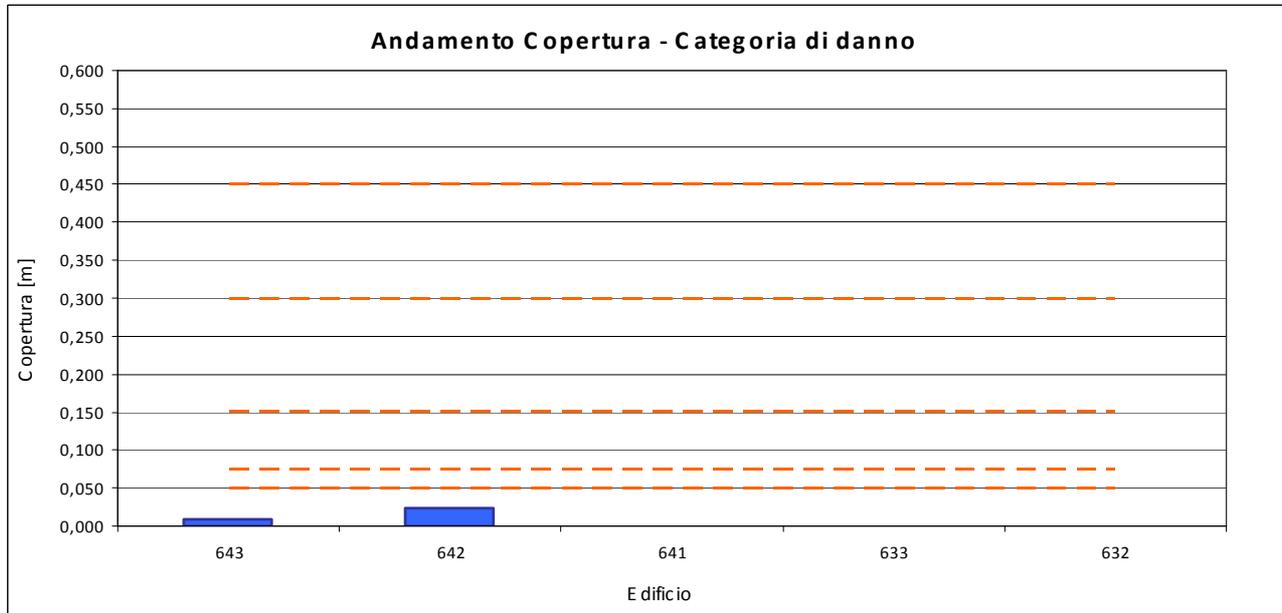
**Sintesi delle analisi di subsidenza ed influenza sugli edifici**

Vp 1 %

Progetto Ponte sullo stretto  
Tratta Ramo B

Ramo B

Progressiva	Edificio	Posizione edificio [m]		Copertura [m]	Abbass. max. (asse galleria) [cm]	Spostamento orizzontale max [cm]	Spostamento verticale [cm]		Categoria di danno	max	max
		Sx	Dx				Sx	Dx			
0	643	35,6	14,2	41	-3,99	0,73	-0,18	-2,44	0	0,0083	0,0000
0	642	38,5	29,7	42	-3,90	0,71	-0,12	-0,50	0	0,0234	0,0000
0	641	49,3	41,2	29	-5,32	0,97	0,00	0,00	0	0,0004	0,0000
0	633	13,5	32,6	16	-8,37	1,52	0,00	0,00	0	0,0000	0,0000
0	632	49	34,3	8	-12,90	2,35	0,00	0,00	0	0,0000	0,0000



### 6.2.4 Ramo B – Vp = 1,5%

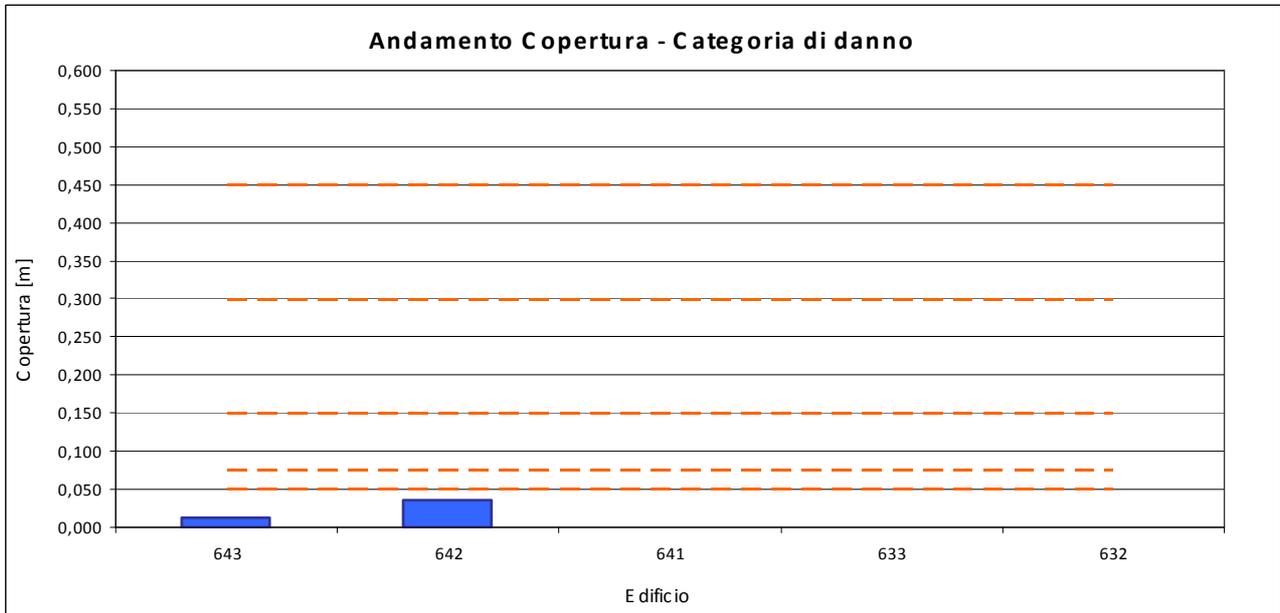
**Sintesi delle analisi di subsidenza ed influenza sugli edifici**

Vp 1,5 %

Progetto Ponte sullo stretto  
Tratta Ramo B

Ramo B

Progressiva	Edificio	Posizione edificio [m]		Copertura [m]	Abbass. max. (asse galleria) [cm]	Spostamento orizzontale max [cm]	Spostamento verticale [cm]		Categoria di danno	I <sub>max</sub>	II <sub>max</sub>
		Sx	Dx				Sx	Dx			
0	643	35,6	14,2	41	-5,98	1,09	-0,27	-3,66	0	0,0124	0,0000
0	642	38,5	29,7	42	-5,86	1,07	-0,18	-0,74	0	0,0351	0,0000
0	641	49,3	41,2	29	-7,99	1,45	0,00	0,00	0	0,0007	0,0000
0	633	13,5	32,6	16	-12,55	2,28	0,00	0,00	0	0,0000	0,0000
0	632	49	34,3	8	-19,36	3,52	0,00	0,00	0	0,0000	0,0000



### 6.2.5 Ramo C – Vp = 1%

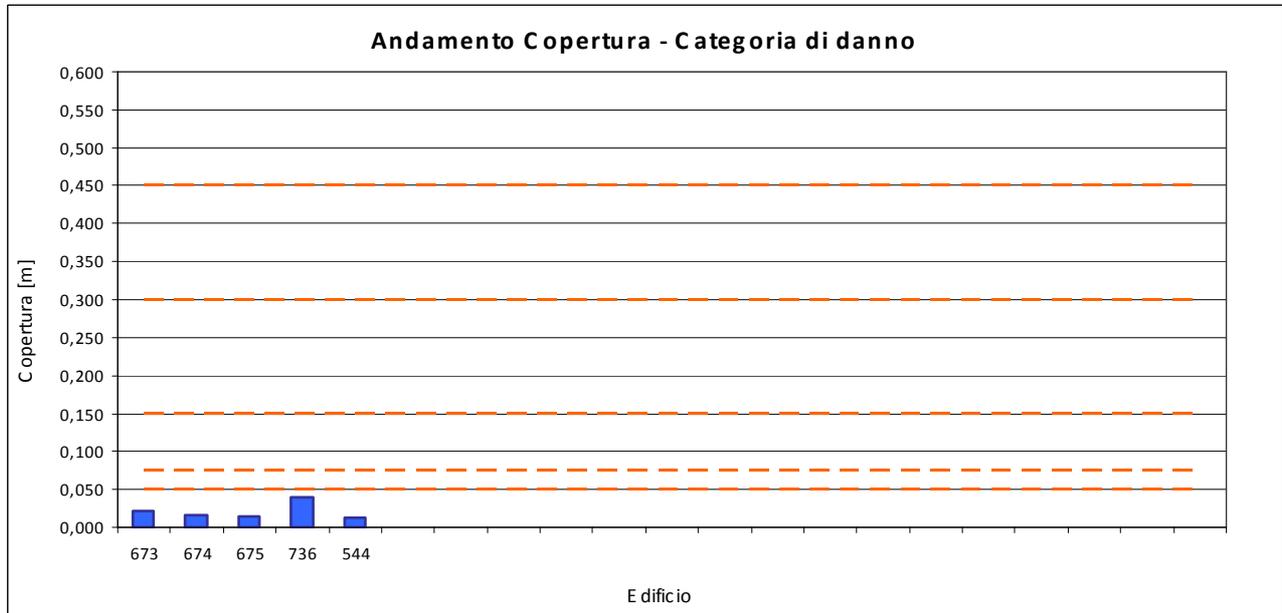
**Sintesi delle analisi di subsidenza ed influenza sugli edifici**

Vp 1 %

Progetto Ponte sullo stretto  
Tratta Ramo C

Ramo C

Progressiva	Edificio	Posizione edificio [m]		Copertura [m]	Abbass. max. (asse galleria) [cm]	Spostamento orizzontale max [cm]	Spostamento verticale [cm]		Categoria di danno	εmax	εmax
		Sx	Dx				Sx	Dx			
0	673	-55,6	-39,2	51	-4,75	0,86	-0,04	-0,42	0	0,0212	0,0001
0	674	-55,9	-47,1	58	-4,24	0,77	-0,08	-0,25	0	0,0161	0,0001
0	675	-51,7	-47,6	57	-4,31	0,78	-0,13	-0,22	0	0,0151	0,0000
0	736	-26,7	-6,2	41	-5,71	1,04	-1,11	-5,23	0	0,0397	0,0003
0	544	26,6	-1,4	10	-15,43	2,81	0,00	-14,94	0	0,0123	0,0000



### 6.2.6 Ramo C – Vp = 1,5%

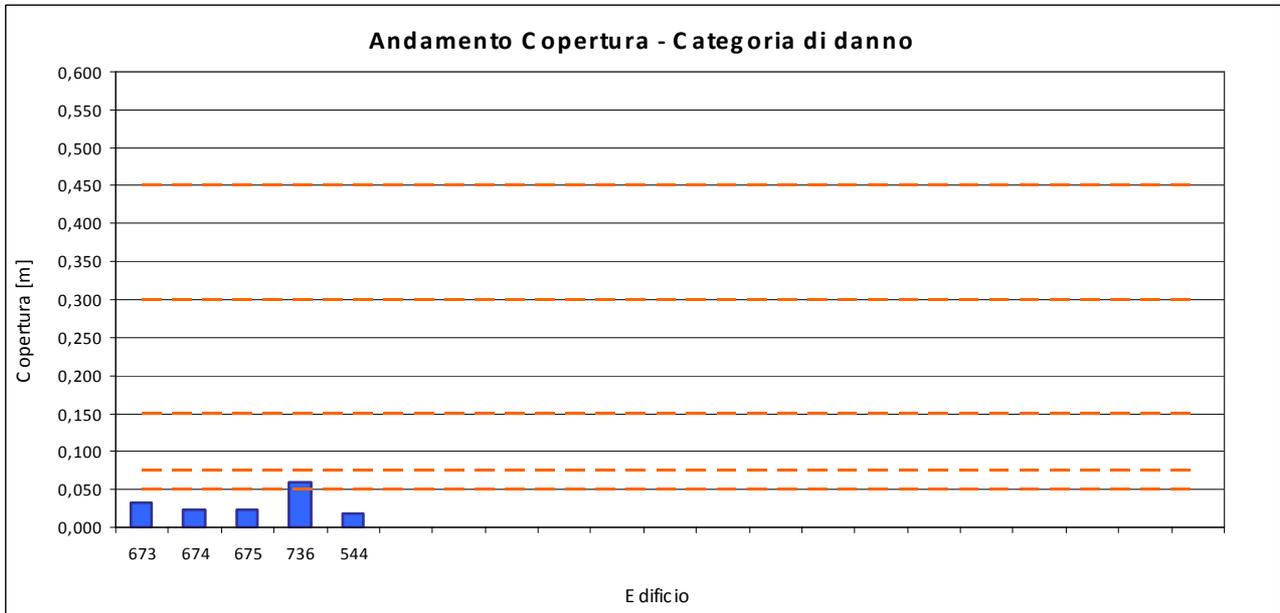
**Sintesi delle analisi di subsidenza ed influenza sugli edifici**

Vp 1,5 %

Progetto Ponte sullo stretto  
Tratta Ramo C

Ramo C

Progressiva	Edificio	Posizione edificio [m]		Copertura [m]	Abbass. max. (asse galleria) [cm]	Spostamento orizzontale max [cm]	Spostamento verticale [cm]		Categoria di danno	εmax	εmax
		Sx	Dx				Sx	Dx			
0	673	-55,6	-39,2	51	-7,12	1,30	-0,05	-0,62	0	0,0319	0,0002
0	674	-55,9	-47,1	58	-6,37	1,16	-0,12	-0,38	0	0,0241	0,0001
0	675	-51,7	-47,6	57	-6,46	1,18	-0,20	-0,33	0	0,0227	0,0000
0	736	-26,7	-6,2	41	-8,56	1,56	-1,67	-7,84	1	0,0596	0,0004
0	544	26,6	-1,4	10	-23,15	4,21	0,00	-22,40	0	0,0185	0,0000



### 6.2.7 Ramo D – Vp = 1%

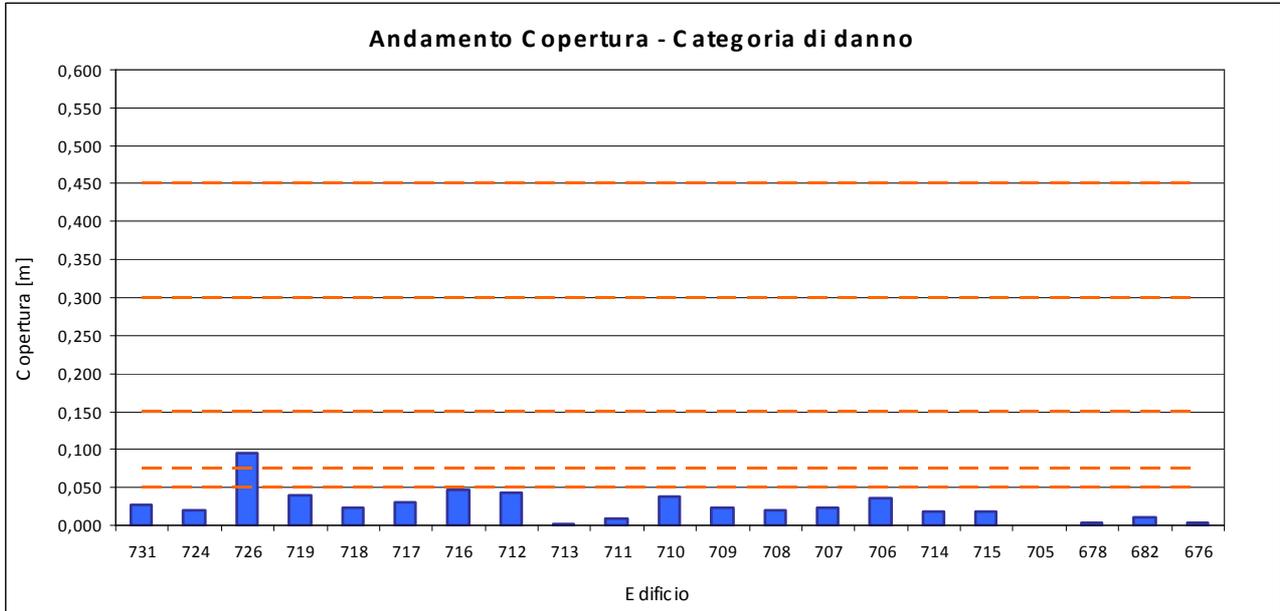
**Sintesi delle analisi di subsidenza ed influenza sugli edifici**

Vp 1 %

Progetto Ponte sullo stretto  
Tratta Ramo D

Ramo D

Progressiva	Edificio	Posizione edificio [m]		Copertura [m]	Abbass. max. (asse galleria) [cm]	Spostamento orizzontale max [cm]	Spostamento verticale [cm]		Categoria di danno	↑ max	↑ max
		Sx	Dx				Sx	Dx			
0	731	35,7	19,6	46	-3,61	0,66	-0,28	-1,68	0	0,0268	0,0000
0	724	-50,2	-30,4	38	-4,25	0,77	0,00	-0,33	0	0,0201	0,0001
0	726	-23,8	-14,3	29	-5,32	0,97	-0,45	-2,19	2	0,0949	0,0006
0	719	13,5	16,1	36	-4,45	0,81	-0,25	-2,02	0	0,0397	0,0000
0	718	49	0,6	40	-4,07	0,74	-2,44	-4,07	0	0,0232	0,0005
0	717	-27,3	-6,3	41	-3,99	0,73	-0,65	-3,62	0	0,0303	0,0002
0	716	28,6	12,6	31	-5,04	0,92	-0,21	-2,72	0	0,0468	0,0000
0	712	18,7	12,5	31	-5,04	0,92	-1,29	-2,74	0	0,0434	0,0000
0	713	16,1	8	31	-5,04	0,92	-1,84	-3,93	0	0,0018	0,0000
0	711	26,6	11,8	38	-4,25	0,77	-0,60	-2,89	0	0,0083	0,0000
0	710	31,4	18,4	38	-4,25	0,77	-0,28	-1,66	0	0,0377	0,0000
0	709	39,9	24,1	34	-4,67	0,85	-0,02	-0,67	0	0,0236	0,0000
0	708	34,8	29,1	32	-4,91	0,89	-0,06	-0,21	0	0,0194	0,0000
0	707	32,5	26,9	30	-5,18	0,94	-0,07	-0,26	0	0,0239	0,0000
0	706	30,9	22,1	29	-5,32	0,97	-0,08	-0,64	0	0,0365	0,0000
0	714	36,8	28,1	32	-4,91	0,89	-0,03	-0,26	0	0,0185	0,0000
0	715	45	28,2	39	-4,16	0,76	-0,02	-0,50	0	0,0174	0,0000
0	705	60,9	39,4	28	-5,48	1,00	0,00	0,00	0	0,0002	0,0000
0	678	-21,7	-12,5	64	-2,69	0,49	-1,60	-2,26	0	0,0031	0,0000
0	682	-17,5	-2,7	64	-2,69	0,49	-1,92	-2,67	0	0,0099	0,0002
0	676	24,9	9,2	69	-2,51	0,46	-1,38	-2,32	0	0,0033	0,0000



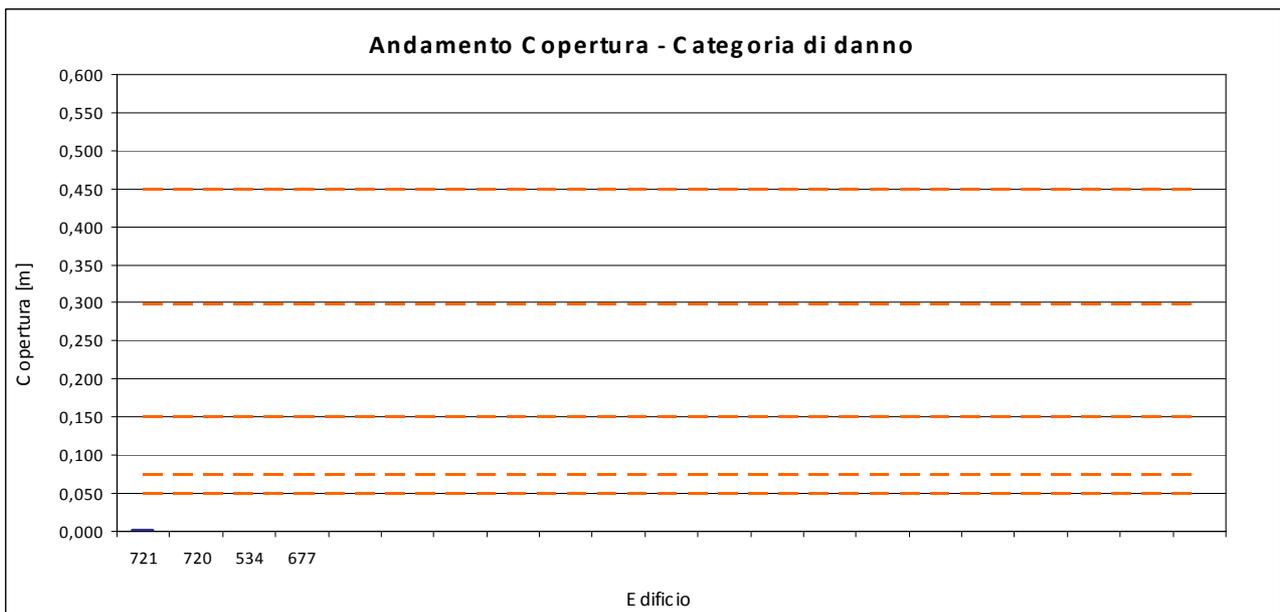
**Sintesi delle analisi di subsidenza ed influenza sugli edifici**

Vp 1 %

Progetto Ponte sullo stretto  
Tratta Ramo D

Ramo D2

Progressiva	Edificio	Posizione edificio [m]		Copertura [m]	Abbass. max. (asse galleria) [cm]	Spostamento orizzontale max [cm]	Spostamento verticale [cm]		Categoria di danno	ε <sub>max</sub>	ε <sub>max</sub>
		Sx	Dx				Sx	Dx			
0	721	61,5	44,7	39	-4,16	0,76	0,00	-0,02	0	0,0012	0,0000
0	720	59,6	44,7	33	-4,79	0,87	0,00	0,00	0	0,0003	0,0000
0	534	-54,9	-48,8	46	-3,61	0,66	-0,01	-0,03	0	0,0034	0,0000
0	677	-79,4	-49,9	70	-2,48	0,45	-0,01	-0,24	0	0,0077	0,0001
0	672	-66,7	-47,7	61	-2,81	0,51	-0,01	-0,18	0	0,0069	0,0000



### 6.2.8 Ramo D – Vp = 1,5%

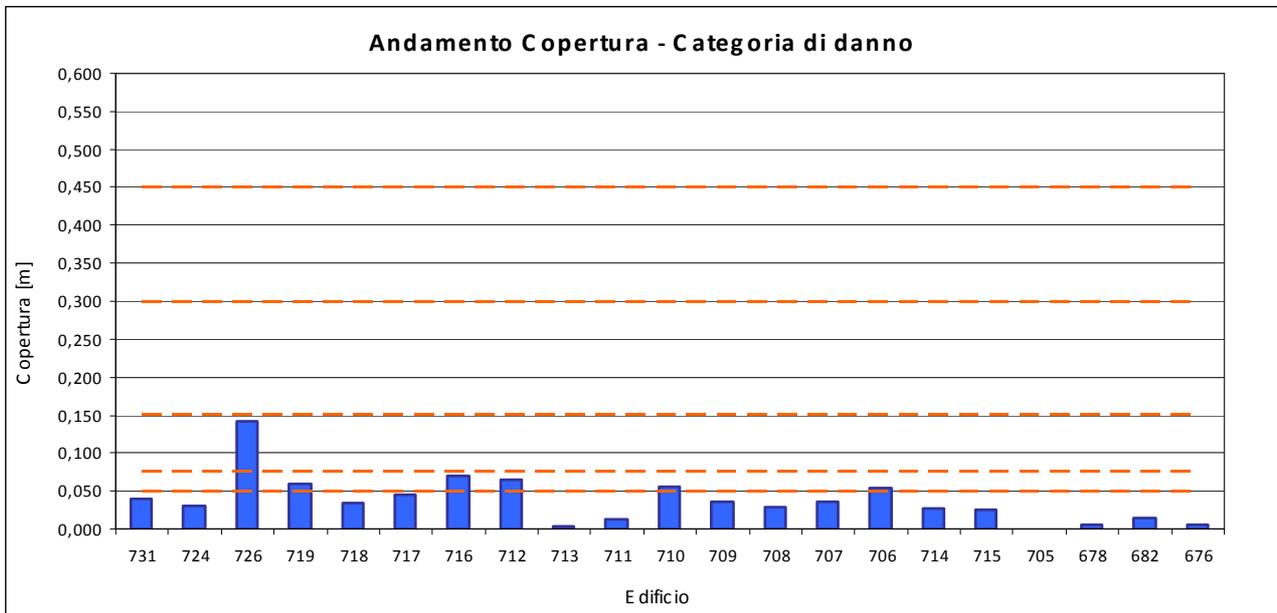
**Sintesi delle analisi di subsidenza ed influenza sugli edifici**

Vp 1,5 %

Progetto Ponte sullo stretto  
Tratta Ramo D

Ramo D

Progressiva	Edificio	Posizione edificio [m]		Copertura [m]	Abbass. max. (asse galleria) [cm]	Spostamento orizzontale max [cm]	Spostamento verticale [cm]		Categoria di danno	↑ max	↓ max
		Sx	Dx				Sx	Dx			
0	731	35,7	19,6	46	-5,41	0,98	-0,42	-2,51	0	0,0402	0,0000
0	724	-50,2	-30,4	38	-6,38	1,16	-0,01	-0,49	0	0,0302	0,0002
0	726	-23,8	-14,3	29	-7,99	1,45	-0,68	-3,28	2	0,1423	0,0008
0	719	13,5	16,1	36	-6,68	1,22	-0,37	-3,04	1	0,0595	0,0000
0	718	49	0,6	40	-6,11	1,11	-3,66	-6,10	0	0,0347	0,0008
0	717	-27,3	-6,3	41	-5,98	1,09	-0,97	-5,43	0	0,0454	0,0003
0	716	28,6	12,6	31	-7,56	1,38	-0,31	-4,07	1	0,0702	0,0000
0	712	18,7	12,5	31	-7,56	1,38	-1,93	-4,11	1	0,0651	0,0000
0	713	16,1	8	31	-7,56	1,38	-2,75	-5,89	0	0,0028	0,0000
0	711	26,6	11,8	38	-6,38	1,16	-0,90	-4,34	0	0,0124	0,0000
0	710	31,4	18,4	38	-6,38	1,16	-0,41	-2,49	1	0,0565	0,0000
0	709	39,9	24,1	34	-7,01	1,27	-0,03	-1,00	0	0,0355	0,0000
0	708	34,8	29,1	32	-7,37	1,34	-0,08	-0,32	0	0,0292	0,0000
0	707	32,5	26,9	30	-7,77	1,41	-0,10	-0,40	0	0,0358	0,0000
0	706	30,9	22,1	29	-7,99	1,45	-0,13	-0,96	1	0,0548	0,0000
0	714	36,8	28,1	32	-7,37	1,34	-0,05	-0,40	0	0,0277	0,0000
0	715	45	28,2	39	-6,24	1,14	-0,03	-0,76	0	0,0260	0,0000
0	705	60,9	39,4	28	-8,22	1,50	0,00	-0,01	0	0,0003	0,0000
0	678	-21,7	-12,5	64	-4,04	0,73	-2,39	-3,39	0	0,0047	0,0001
0	682	-17,5	-2,7	64	-4,04	0,73	-2,87	-4,00	0	0,0149	0,0003
0	676	24,9	9,2	69	-3,77	0,69	-2,07	-3,47	0	0,0049	0,0000



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		COLLEGAMENTI CALABRIA – PARTE GENERALE STRADALE – Relazione sulla valutazione delle subsidenze indotte e sui possibili danni agli edifici	<i>Codice documento</i> CS0212_F0	<i>Rev</i> F0

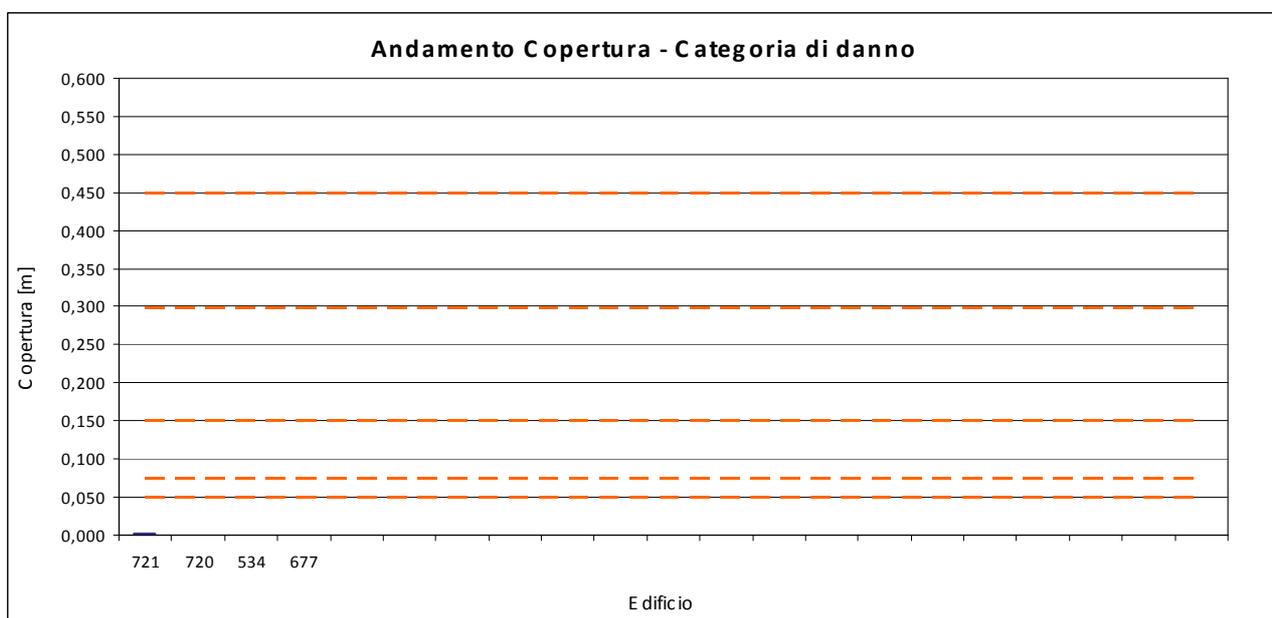
### Sintesi delle analisi di subsidenza ed influenza sugli edifici

Vp 1,5 %

Progetto Ponte sullo stretto  
 Tratta Ramo D

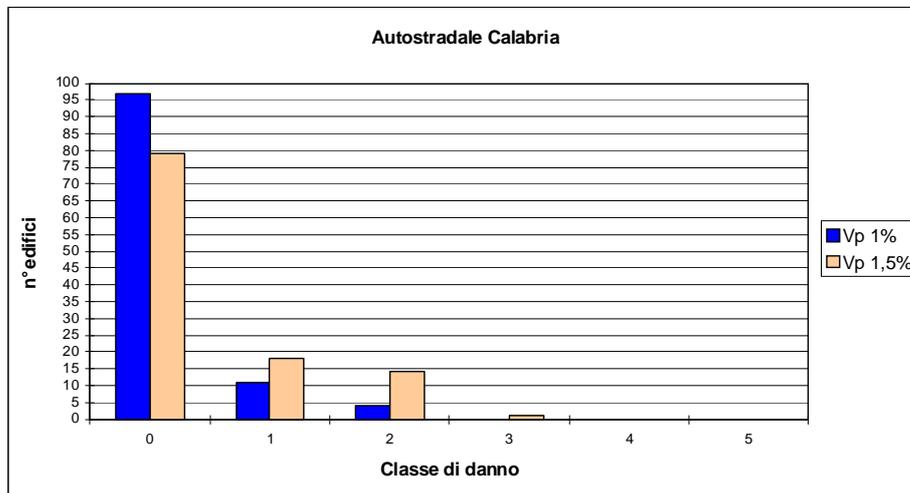
Ramo D

Progressiva	Edificio	Posizione edificio [m]		Copertura [m]	Abbass. max. (asse galleria) [cm]	Spostamento orizzontale max [cm]	Spostamento verticale [cm]		Categoria di danno	ε <sub>max</sub>	ε <sub>max</sub>
		Sx	Dx				Sx	Dx			
0	721	61,5	44,7	39	-6,24	1,14	0,00	-0,03	0	0,0018	0,0000
0	720	59,6	44,7	33	-7,18	1,31	0,00	-0,01	0	0,0005	0,0000
0	534	-54,9	-48,8	46	-5,41	0,98	-0,01	-0,05	0	0,0050	0,0000
0	677	-79,4	-49,9	70	-3,72	0,68	-0,01	-0,36	0	0,0115	0,0001
0	672	-66,7	-47,7	61	-4,21	0,77	-0,02	-0,27	0	0,0104	0,0001



### 6.2.9 Sintesi delle classi di danno

Tutti i risultati delle analisi di danno sviluppate nei Paragrafi precedenti sono riportate nelle planimetrie presentate in allegato, presentate per volume perso 1%. Per il valore 1.5% si faccia riferimento alle tabelle di sintesi riportate di seguito.



Vp 1%		
cl.danno	n° edifici	%
0	97	86,6
1	11	9,8
2	4	3,6
3	0	0,0
4	0	0,0
5	0	0,0

Vp 1,5%		
cl.danno	n° edifici	%
0	79	70,5
1	18	16,1
2	14	12,5
3	1	0,9
4	0	0,0
5	0	0,0

Per quanto riguarda le analisi svolte con  $V_p=1\%$  tutti i 112 edifici analizzati ricadono in classi di danno inferiori o pari alla 2, corrispondenti a danni a carattere estetico/funzionale e alle finiture e non danni strutturali. Unicamente per un volume perso pari a 1,5% vi è un edificio (n° 697) interferente nella tratta in esame che non ricade nelle classi di danno di previsione progettuale inferiori o uguali alla classe 2.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI CALABRIA – PARTE GENERALE STRADALE – Relazione sulla valutazione delle subsidenze indotte e sui possibili danni agli edifici	<i>Codice documento</i> CS0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

## 7 Analisi degli edifici “sensibili” e scelte degli interventi di presidio

Lo studio del quadro deformativo indotto dallo scavo delle gallerie e la successiva valutazione dei possibili danni sugli edifici è stata svolta ipotizzando una variabilità del Volume perso  $V_p=1.0-1.5\%$  e parametro  $k$  pari a 0.3.

Nel dettaglio, a partire dall'ipotesi di volume perso 1.5% si sono presi in considerazione tutti gli edifici la cui classe di danno abbia fornito valori maggiori di 2, definendo in questo modo delle tratte “sensibili” di sottoattraversamento.

In tali tratte si prevede lo scavo mediante sezioni tipo caratterizzate da interventi di consolidamento, preconsolidamento e sostegno studiati al fine di limitare al minimo il disturbo alle preesistenze e garantire, nello stesso tempo, il controllo deformativo e del relativo volume perso.

In tali condizione è lecito ipotizzare, anche sulla base di esperienze in contesti similari, una riduzione del volume perso teorico di calcolo, assunto solo per le tratte prima definite pari al valore minimo del “range” ipotizzato ( $V_p=1\%$ ).

Se in tale condizione (ipotesi di  $V_p = 1\%$ ), si verifica la presenza di edifici ad uso abitativo/civile ricadenti in classi di danno maggiori di 2, è stato previsto un consolidamento integrativo dall'alto eseguito mediante iniezioni cementizie e chimiche o jet-grouting monofluido in funzione della posizione dell'interferenza rispetto alla galleria.

Allo stato attuale delle conoscenze e sulla base degli edifici di cui è disponibile la relativa scheda fabbricato, nonché tenuto conto delle ipotesi di volume perso adottate, non sono da prevedersi particolari opere di presidio, intese come opere di consolidamento integrativo dall'esterno poiché non vi sono edifici in classe superiori alla 2 con l'ipotesi di  $V_p=1\%$ .

I danni valutati sono da ritenersi di carattere estetico; per i dettagli delle classi di danno previste si vedano le tabelle e le planimetrie allegate.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
COLLEGAMENTI CALABRIA – PARTE GENERALE STRADALE – Relazione sulla valutazione delle subsidenze indotte e sui possibili danni agli edifici	<i>Codice documento</i> CS0212_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

## 8 Allegati

Seguono le planimetrie con indicate le classi di danno valutate per un volume perso  $V_p$  pari all'1% e le schede di analisi dei singoli fabbricati.