

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  TechnipFMC	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") - DP 75 bar	Pag. 1 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

METANIZZAZIONE SARDEGNA

MET. VALLERMOSA - SULCIS

DN 400 (16"), DP 75 bar

STUDIO PERICOLOSITA' DA FRANA SINKHOLE AI SENSI DELL'ART. 31 COMMA 8 DELLE NORME DI ATTUAZIONE DEL PAI TRATTO Progr. KM 22+835 ÷ 25+755

Il Committente



SNAM RETE GAS

Progetto Centro Nord
Project Manager
Ing. Enzo Serafini



Il Progettista



0	Emissione	G. BRIA G. AMORE L. D'ANDREA	P. RUSSO	V. FORLIVESI G. GIOVANNINI	06/06/2017
Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato Autorizzato	Data

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 2 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
1.1	LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA DELL'INTERVENTO	4
1.2	OBIETTIVI DELLO STUDIO	7
1.3	INTERFERENZA DEL TRACCIATO CON LE AREE A RISCHIO SINKHOLE	8
2	INQUADRAMENTO GEOLITOLOGICO.....	14
2.1	INQUADRAMENTO MORFOLOGICO	21
2.2	CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE E IDROGEOLOGICHE	23
3	I MECCANISMI GENETICI E I DIVERSI TIPI DI SINKHOLE.....	26
3.1	L'EVOLUZIONE DEI SINKHOLE	30
4	INDAGINE STORICA SUI SINKHOLE NELLA PIANA DEL CIXERRI	32
4.1	I MECCANISMI DI ORIGINE E SVILUPPO.....	33
4.2	FENOMENOLOGIA DEI SINKHOLE NELL'AREA DI STUDIO.....	33
4.3	SINKHOLE PROSSIMI ALL'ASSE DEL METANODOTTO	35
5	INDAGINI E STUDI DI DETTAGLIO.....	39
5.1	INDAGINE GEOLITOLOGICA DI DETTAGLIO.....	39
5.1.1	Rilievo di dettaglio	39
5.2	INDAGINE GEOFISICA.....	43
5.3	RILIEVO AEROFOTOGRAMMETRICO CON DRONE (U.A.V.)	62
6	CONCLUSIONI	67
7	BIBLIOGRAFIA	69
8	ANNESI	71

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  TechnipFMC	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 3 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

1 INTRODUZIONE

Il Met. Vallermosa – Sulcis DN 400 (16"), DP 75 bar oggetto della presente relazione si inquadra nell'ambito del più ampio progetto Metanizzazione Sardegna, che prevede come intervento principale, la posa di tre condotte, due di diametro DN 650 (26") denominate rispettivamente "Met. Cagliari – Palmas Arborea DN 650 (26") DP 75 bar" e "Met. Coll. Terminale di Oristano DN 650 (26"), DP 75 bar", la terza di diametro inferiore, denominata appunto "Met. Vallermosa – Sulcis DN 400 (16"), DP 75 bar".

Per completezza il progetto Metanizzazione Sardegna prevede otto linee secondarie di vario diametro (DN 250 (10") / DN 150 (6")) per una lunghezza complessiva pari a 79,995 km.

Nel dettaglio, il tratto del Metanodotto Vallermosa – Sulcis, compreso tra le prog. Km 22+835 ÷ 25+755, interessa i comuni di Villamassargia e Iglesias, nella provincia del Sud Sardegna.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 4 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

1.1 LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA DELL'INTERVENTO

Il progetto Metanizzazione Sardegna si sviluppa interamente nel settore sud-occidentale del territorio sardo, per una lunghezza complessiva di circa 230,5 Km.

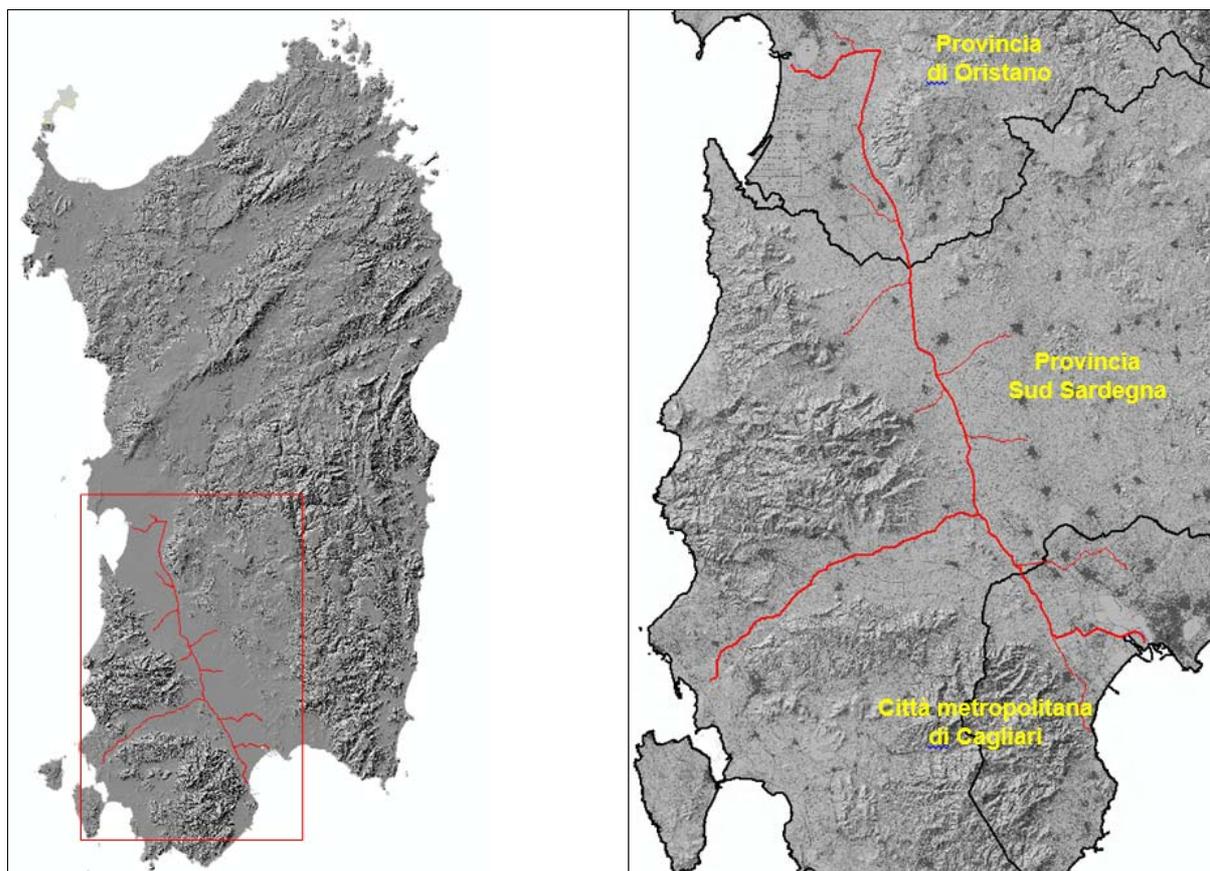


Fig. 1 Inquadramento geografico dell'intervento su base DEM 10 m (fonte RAS). In rosso il tracciato del metanodotto e delle derivazioni. In nero i limiti delle nuove provincie.

Il tratto del metanodotto denominato "Vallermosa – Sulcis", compreso tra le progr. Km 22+835 ÷ 25+755, ricade nel II settore territoriale al foglio IGM n. 555.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 5 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

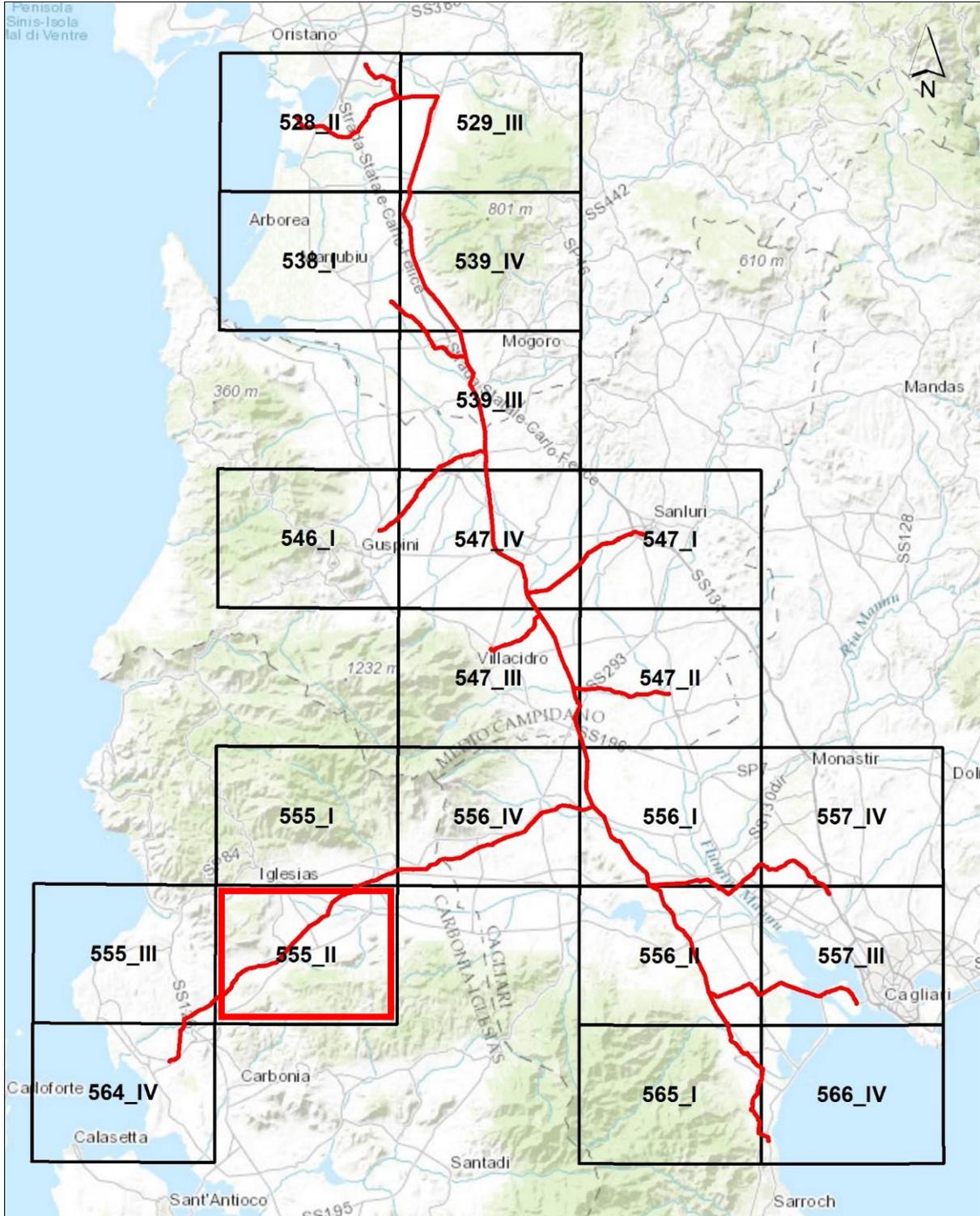


Fig. 2 Inquadramento dei fogli IGM al 25.000 interessati dal tracciato. Il riquadro in colore rosso individua l'ambito di interesse.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 6 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

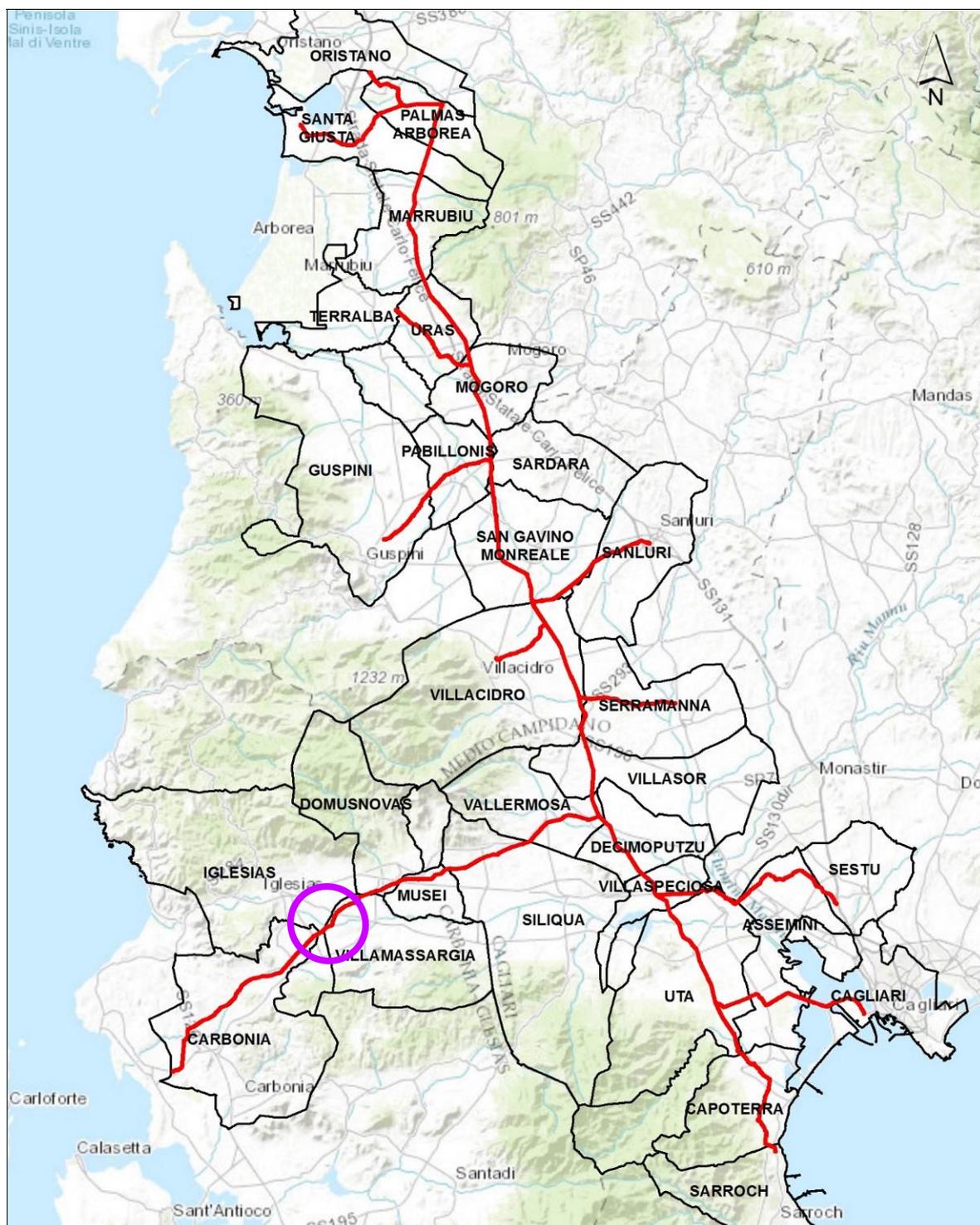


Fig. 3 Inquadramento dei territori amministrativi comunali interessati dal tracciato del metanodotto in progetto. Il cerchio di colore magenta individua l'area oggetto di studio.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 7 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

1.2 Obiettivi dello studio

Scopo del presente elaborato e delle indagini in sito eseguite a corredo dello stesso è quello di valutare la presenza di eventuali "sinkhole" e di individuare le aree potenzialmente a rischio per la presenza di fattori predisponenti tali fenomeni nell'area interessata dalla realizzazione del metanodotto in progetto "Vallermosa – Sulcis", nel tratto compreso tra le progressive chilometriche 22+835 ÷ 25+755.

Come meglio evidenziato nella Fig. 4, il tracciato intercetta le aree a rischio Sinkhole per uno sviluppo di 2.888 m, all'interno del territorio amministrativo del comune di Iglesias e di Villamassargia, nella provincia del Sud Sardegna.

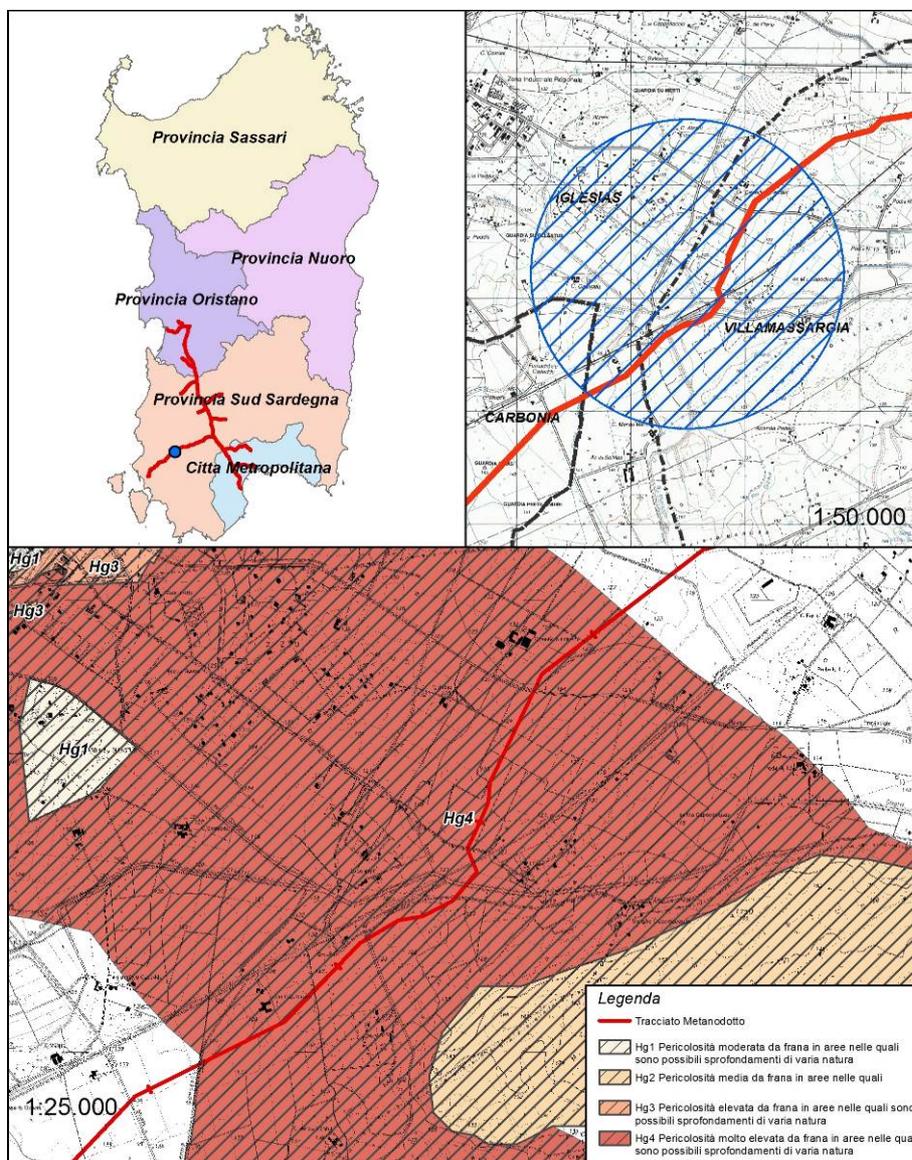


Fig. 4 Inquadramento geografico dell'area in esame.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 8 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

1.3 Interferenza del tracciato con le aree a rischio sinkhole

Con deliberazione n. 45/57 in data 30.10.1990, la Giunta Regionale suddivide il Bacino Unico Regionale in sette Sub-Bacini, già individuati nell'ambito del Piano per il Razionale Utilizzo delle Risorse Idriche della Sardegna (Piano Acque) redatto nel 1987.

L'intero territorio della Sardegna è suddiviso in sette sub-bacini, ognuno dei quali caratterizzato da generali omogeneità geomorfologiche, geografiche, idrologiche ma anche da forti differenze di estensione territoriale.

Sulla base di questa suddivisione, il tracciato del Matanodotto in progetto interessa il Sub-Bacino 1 "Sulcis", il Sub-Bacino 2 "Tirso" ed il Sub-Bacino 7 "Flumendosa – Campidano - Cixerri".

In data 11.03.2005 viene pubblicato sul B.U.R.A.S. il Decreto dell'Assessore dei Lavori Pubblici n. 3 del 21.02.2005 con il quale è stata resa esecutiva la Deliberazione n. 54/33 assunta in data 30.12.2004 dalla Giunta Regionale, in qualità di Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino.

Con tale deliberazione cui è stato adottato il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (in seguito denominato PAI), redatto ai sensi della legge n. 183/1989 e del decreto-legge n. 180/1998.

Le aree interessate da pericolosità da frana per possibili sprofondamenti di varia natura interferenti con il tracciato sono state cartografate nelle tavole Hg 63/69; Hg 64/69 e Hg 65/69 incidenti sui territori comunali di Iglesias Villamassargia e Carbonia.

Nelle aree direttamente interessate dalle opere in progetto, la sopra riportata cartografia ad oggi non è stata oggetto di varianti al PAI come da verifiche effettuate sulla base della cartografia pubblicata è aggiornata dall'Agenzia del Distretto Idrografico della Sardegna, pubblicata sul geoportale Sardegna mappe PAI.

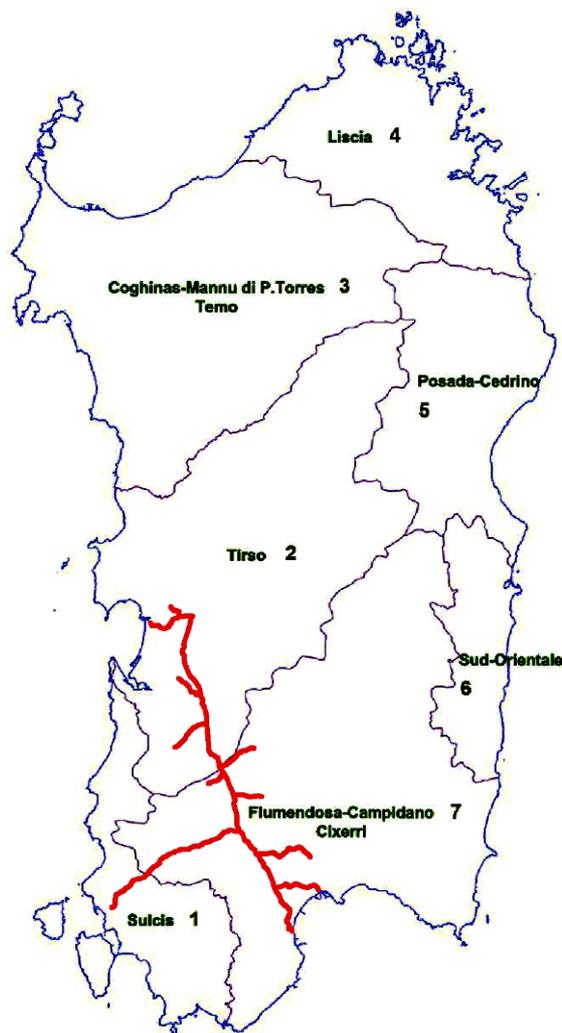


Fig. 5 Suddivisione del territorio regionale nei sette sub-bacini con indicata in rosso l'ubicazione del metanodotto in progetto.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 9 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

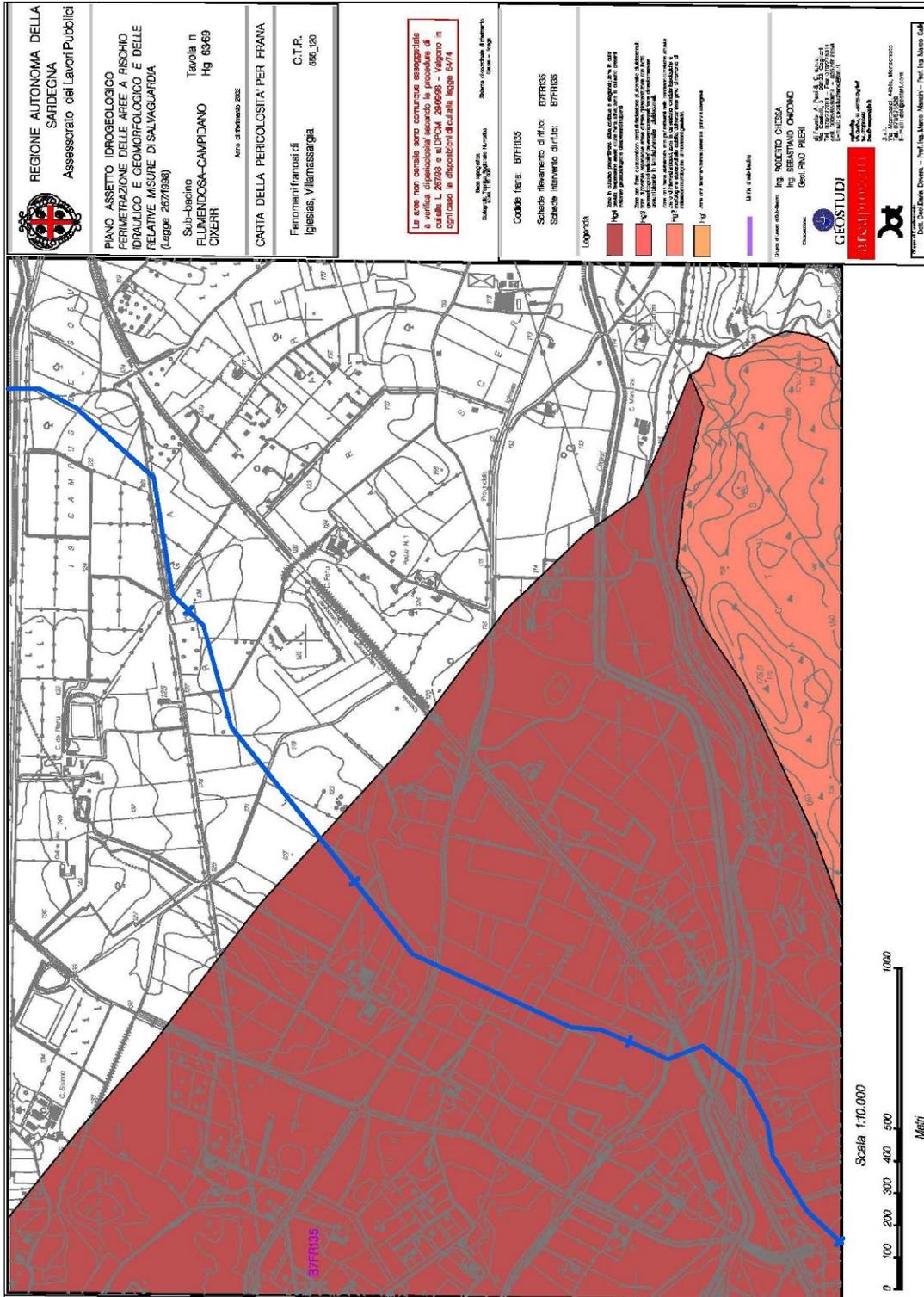


Fig. 6 Tavola PAI Hg 63/69 con inserita in blu l'opera in progetto.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 10 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

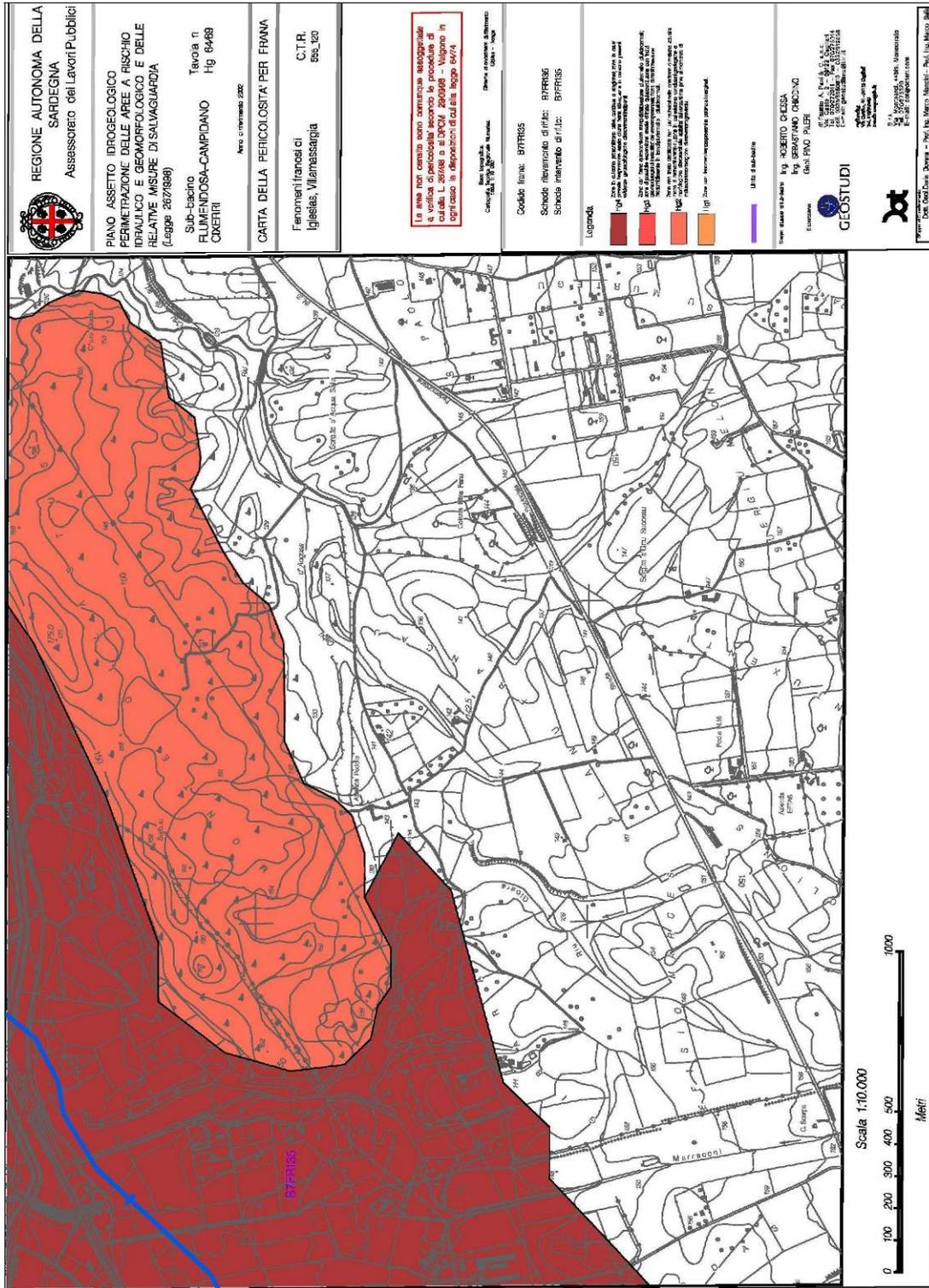


Fig. 7 Tavola PAI Hg 64/69 con inserita in blu l'opera in progetto.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 11 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

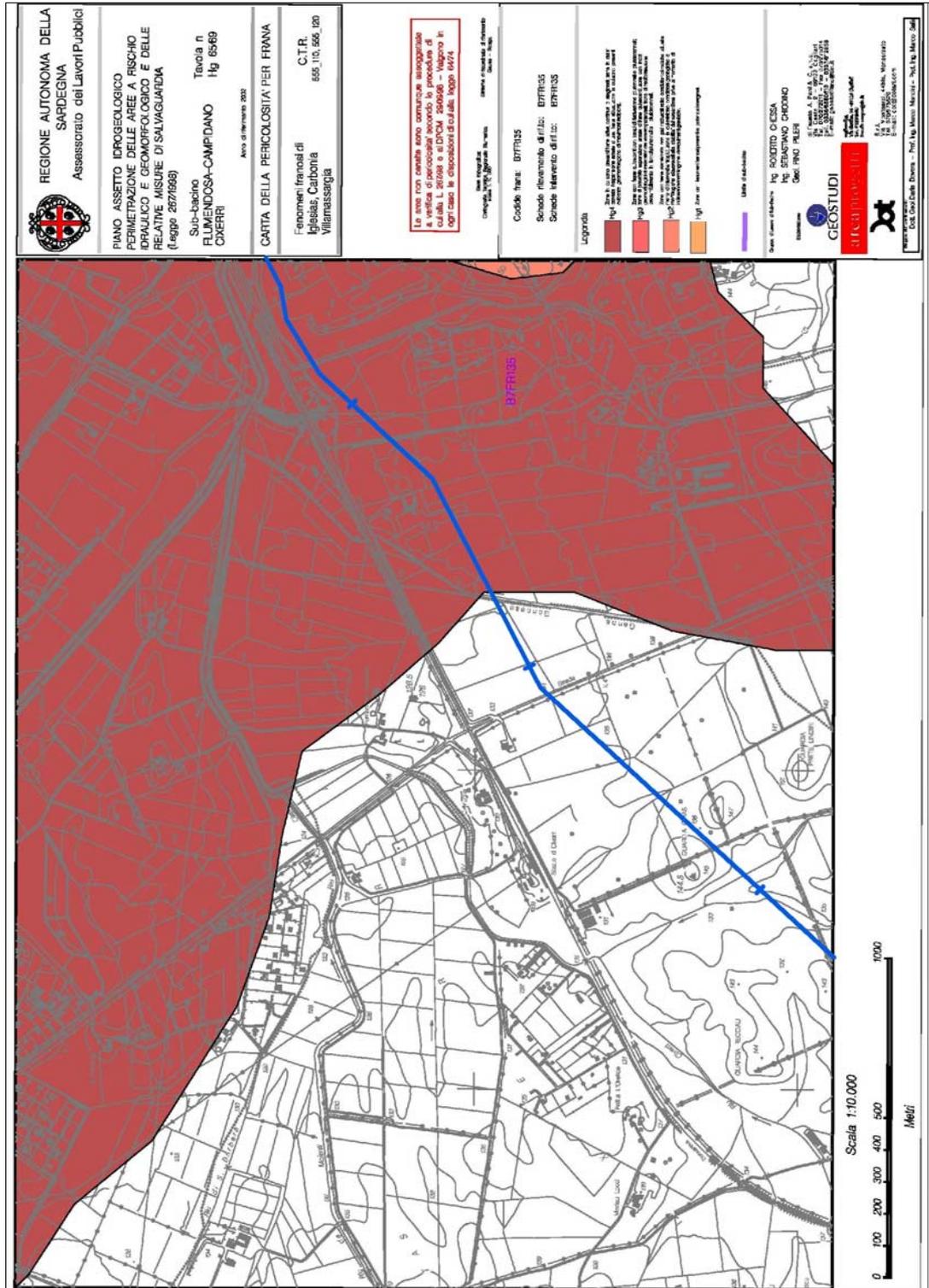


Fig. 8 Tavola PAI Hg 65/69 con inserita in blu l'opera in progetto.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 12 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

Relativamente alle aree a pericolosità Hg4, interferenti con il tracciato, sono dettate da particolari fenomeni di sprofondamento della copertura alluvionale, denominati Sinkholes, dovuti al carsismo del sottostante Bed-rock carbonatico.

Nella piana del Cixerri tra Iglesias e Villamassargia sono mappate, per 10-15 kmq aree a pericolosità elevata o molto elevata comprendenti l'intera zona industriale di interesse regionale (ZIR) parte della periferia urbana di Iglesias e relative aree di completamento e artigianali, oltre a vaste aree agricole.

Le aree di pericolosità da frana molto elevata (Hg4) e nello specifico le aree a Sinkhole vengono normate dall'art.31 comma 8 delle NA del PAI e dal protocollo tecnico "TIPO" - INDICAZIONI PER LE INDAGINI E STUDI DA EFFETTUARE NELLE ZONE MAPPATE A PERICOLOSITA' DI FRANA PER FENOMENI DI SINKHOLE di cui alla D.G.13/22 del 4.3.2008.

Con riferimento alla D.G.13/22 del 4.3.2008 e ai fini del superamento dei vincoli delle aree comprese nel perimetro delle aree a pericolosità di frana di cui alla cartografia allegata al PAI dovrà essere dimostrata, con ragionevole certezza, ricorrendo ad opportune indagini e studi, l'assenza del rischio di fenomeni gravitativi denominati *sinkhole* sulle aree sulle quali sono previsti gli interventi di cui all'art. 31 comma 8 delle N.A. del PAI.

Le aree da investigare dovranno essere oltre a quelle direttamente interessate dal tracciato, anche quelle ad essa pertinenti e quelle necessarie per l'utilizzo dell'area stessa ove le medesime non siano già state investigate.

Gli studi e gli accertamenti sono da intendersi come preliminari e integrativi rispetto allo studio di compatibilità geologica e geotecnica di cui all'articolo 25 delle N.A. del PAI e del relativo allegato F. e dovranno comprendere l'utilizzo di metodologie di indagine sia indiretta che diretta e andranno completati da un idoneo piano di monitoraggio.

Gli studi da effettuarsi, il cui programma esecutivo dovrà essere, preliminarmente, comunicato all'autorità idraulica, dovranno comprendere i seguenti punti:

1. Rilievo geolitologico di superficie correlato alla situazione geologico strutturale e idrogeologica dell'area in cui si inserisce il sito in oggetto, con particolare riguardo alla presenza di pozzi di emungimento e alle quantità estratte.

2. Indagine storica degli eventuali fenomeni morfologici riscontrati nel tempo nell'area di intervento ed in quella circostante corredato di tavola di dettaglio con localizzazione dei fenomeni nell'area di indagine.

3. Indagine geofisica che dovrà essere condotta utilizzando almeno due dei metodi di prospezione di seguito specificati e opportunamente scelti in base alle esigenze contingenti.

A. Indagini gravimetriche: Da effettuarsi preferibilmente con tecniche microgravimetriche con una densità utile in funzione dell'area da investigare e con una precisione centimetrica sulla ubicazione planoaltimetrica delle stazioni. La correzione topografica dovrà essere calcolata con particolare riguardo per le zone circostanti ogni stazione. In caso di profili ubicati in zone notevolmente urbanizzate, il sistema di acquisizione dovrà essere dotato di opportuni sistemi di filtraggio.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 13 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

B. Indagini sismiche: Da effettuarsi con varie tecniche di acquisizione ed analisi dei dati, opportunamente scelte sulla base della situazione contingente. Tali indagini dovranno prevedere sia misure sismiche di superficie sia misure sismiche in fori di sonda opportunamente attrezzati. Non si potrà, comunque, prescindere dall'esecuzione di tomografie sismiche tra fori adiacenti o tra punti diversi del piano topografico, laddove si riconoscano condizioni critiche.

C. Indagine geoelettrica / elettromagnetica: Per quanto riguarda l'indagine elettrica, si dovrà fare riferimento alle tecniche tomografiche nelle configurazioni e con i passi ritenuti più idonei in relazione all'area da investigare. Le indagini elettromagnetiche potranno essere applicate scegliendo i metodi che si riterranno più adatti alla soluzione delle problematiche geologiche dell'area da investigare.

4. Indagine geognostica:

Dovranno essere condotti almeno due sondaggi preliminari utili per la verifica delle stratigrafie e/o per l'acquisizione dei dati geofisici (p.e. per la realizzazione di tomografie sismiche tra fori adiacenti) e la loro calibrazione, potranno essere realizzati, contemporaneamente alle indagini indirette. I sondaggi a carotaggio spinti per almeno 5 metri nel bedrock o, alternativamente, fino alla profondità di 40 m dal piano campagna. Le perforazioni, a carotaggio continuo, dovranno, in particolare, definire la consistenza dei materiali attraversati, l'eventuale presenza di vuoti e cavità, anche attraverso la misurazione delle velocità di avanzamento delle colonne di perforazione e l'analisi dei parametri significativi di perforazione. Dovranno altresì essere evidenziate la presenza di acque in pressione e non, e le relative profondità di intercettazione. Il foro dovrà poi essere attrezzato con idoneo tubo piezometrico che consenta il monitoraggio della falda.

Nel caso in esame non è stato possibile per motivi logistici e legati all'autorizzazione all'accesso alle aree eseguire i sondaggi geognostici, in compenso sono state svolte le seguenti indagini ritenute comunque esaustive per caratterizzare il tracciato in progetto, ovvero:

Rilievo geologico di dettaglio in scala 1:2.000;

- L'area di rilievo, con superficie di circa 60 ettari, costituisce la fascia con larghezza di almeno 200 m a cavallo del metanodotto in progetto, compresa tra le progressive chilometriche 22+800 e 25+800 e rientrante tra i comuni di Villamassargia e Iglesias
- Rilievo aerofotogrammetrico di dettaglio con drone, per una superficie di circa 60 ettari, per una fascia di almeno 200 m a cavallo del metanodotto in progetto, compresa tra le progressive chilometriche 22+800 e 25+800 e restituzione delle ortofoto e del modello digitale del terreno;
- Indagine sismica eseguita attraverso l'uso di sismografi modulari Geometrics Geode a $24 \times 2 = 48$ canali, con conversione analogico-digitale a 24 bit, ad elevata dinamica, tra le progressive 22+835 e 25+755;
- Stendimenti multielettrodi tra loro paralleli in numero di cinque, uno di essi coincidente con l'asse del metanodotto e gli altri ad esso latitanti da entrambi i lati, a 3.0 m e a 6.0 m, comprendendo quindi una fascia di 12.0 m, tra le progressive chilometriche 22+835 e 25+755.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  TechnipFMC	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 14 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

2 INQUADRAMENTO GEOLITOLOGICO

La depressione del Cixerri, inizialmente interpretata come una fossa tettonica trasversale al bacino sedimentario oligo-miocenico, sulla base di nuovi approfondimenti litostratigrafici e strutturali è stata reinterpretata come un'ampia sinclinale con asse E-W formatasi a seguito degli eventi plicativi dell'Oligocene superiore – Aquitaniano.

Questa valle, lunga 26 km e larga in media 8, ha una forma grossolanamente trapezoedrica. È limitata dai monti dell'Iglesiente a Nord ed Ovest, dai monti del Sulcis a Sud, mentre è separata dalla grande pianura del Campidano ad Est

Nell'Iglesiente affiora la successione paleontologicamente datata come la più antica d'Italia. Per questo motivo, e per l'importanza economica dei suoi giacimenti minerali, tutta la zona è stata oggetto nel tempo di approfondite ricerche geologico – minerarie.

La successione stratigrafica dell'area dell'Iglesiente (Fig. 9) è assai complessa in quanto i litotipi affioranti vanno dal paleozoico al quaternario e sono stati interessati da vari fenomeni orogenetici e plicativi.

Di seguito si intende dare una descrizione della successione stratigrafica presente al contorno dell'area perimetrata a pericolosità da frana per Sinkhole.

Il settore in esame è caratterizzato da un basamento litoide, in alcune zone affiorante, costituito da rocce cristalline di età paleozoica al di sopra del quale giace una copertura continentale terrigena cenozoica, costituita da alluvioni oloceniche, pleistoceniche e depositi di versante pleistocenico – olocenici disposti in conoidi e falde.

Le litologie affioranti sono costituite in prevalenza da rocce di età Cambriana e Ordoviciane, interessate e influenzate strutturalmente dalla presenza di più fasi tettoniche attribuibili alle orogenesi caledoniana (Fase Sarda Auct.) ed ercinica, e da metamorfismo regionale Ercinico di Anchizona.

Il substrato paleozoico è costituito da un'alternanza di rocce di natura scistosa e calcareo dolomitica appartenenti alla classica successione paleozoica dell'Iglesiente che risulta formata da una sequenza cambrica di circa 3000 m di spessore, divisa in tre formazioni nettamente differenziabili:

Formazione di Nebiba ("Gruppo delle Arenarie" Auct.) (NEB)

Questa formazione è stata suddivisa in due unità litostratigrafiche di rango inferiore: il membro di Matoppa e il sovrastante membro di Punta Manna. Costituisce il termine più antico della successione ed è ricoperta in concordanza dalla formazione di Gonnese.

Il membro di Matoppa (NEB₁) è costituito da metasiltiti grigio – chiare con intercalazioni di metarenarie, da metarenarie quarzose, da metaquarzoareniti e da metarcose a grana fine, in strati decimetrici e banchi metrici.

Il membro di Punta Manna (NEB₂) ricopre il membro di Punta Manna in concordanza, orizzonte conosciuto in letteratura come "Biostroma" rappresenta un livello guida facilmente riconoscibile in campagna e quasi sempre continuo. I calcari sono di colore grigiastro e generalmente ben stratificati, talora dolomitizzati.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 15 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

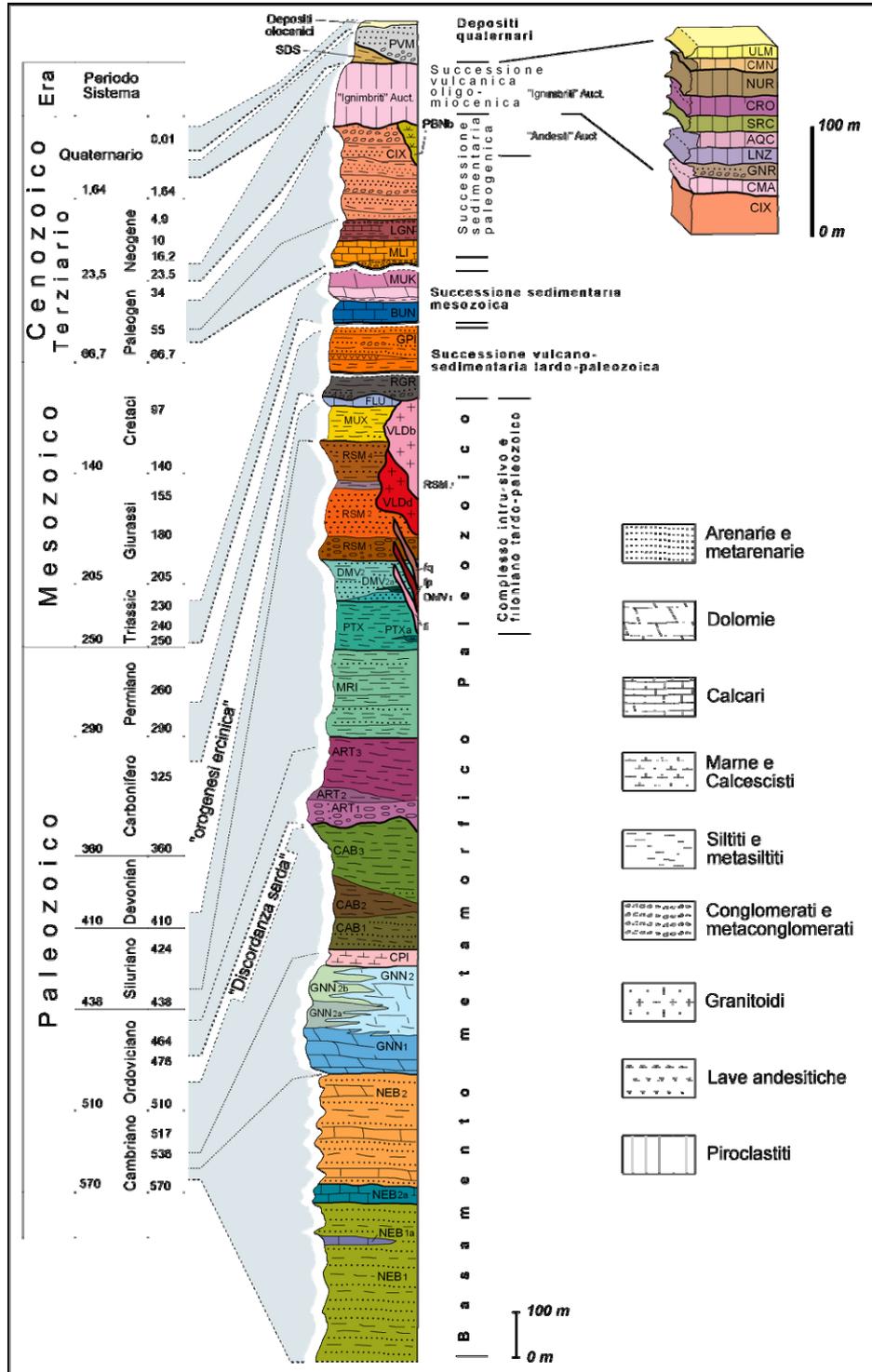


Fig. 9 Successione stratigrafica delle formazioni affioranti nell'area del Foglio 555 Iglesias (fonte progetto CARG).

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  TechnipFMC	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 16 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

Ai calcari sono alternati livelli e strati di originarie marne, arenarie e argilliti rossastre, talvolta ridotte a sottili veli tra gli strati calcarei. Sono talvolta presenti stratificazioni incrociate sia nei livelli calcarei che in quelli arenacei.

L'ambiente di deposizione va da intertidale a subtidale ad alta energia. Lo spessore è variabile: mediamente da 10-20 m può ridursi anche a 0 m, a Sud di Villamassargia i calcari oolitici mancano e le arenarie del Membro di P.ta Manna poggiano direttamente su quello di Matoppa.

Le associazioni di trilobiti ed archeociati permettono di riferire il membro di P.ta Manna all'Atdabaniano superiore (Cambriano inferiore).

L'età dell'intera formazione comprende quindi l'Atdabaniano inferiore e quello superiore. *Cambriano inferiore (Atdabaniano).*

Formazione di Gonnese ("Metallifero" Auct. p.p.) (GNN)

Le formazioni carbonatiche cambriche sono costituite da calcari e dolomie della Formazione di Gonnese, in giacitura subverticale e con evidenti fenomeni di fratturazione e tettonizzazione.

Questa formazione è stata suddivisa in due membri: quello della "Dolomia rigata" (GNN₁) alla base e quello del "Calcare Ceroide" (GNN₂) a tetto.

La fine della deposizione silico clastica e l'inizio della deposizione prevalentemente carbonatica caratterizzano il passaggio dalla f.ne di Nebida alla f.ne di Gonnese, che è ricoperta in concordanza dalla f.ne di Campo Pisano.

Lo spessore della formazione di Gonnese è estremamente variabile: da circa 200 m a circa 500 m. La presenza di archeociati nella Dolomia rigata e nel Calcare ceroide permette di riferire l'intera formazione di Gonnese all'Atdabaniano superiore – Laniano medio (Cambriano Inferiore).

Formazione di Campo Pisano ("Calcescisti" Auct., Metallifero" Auct. p.p., Calcare nodulare" Auct.) (CPI)

Questa unità litostratigrafica definita come formazione da Pillola 1991, poggia con contatto sulla formazione di Gonnese ed è ricoperta in concordanza dalla formazione di Cabitza. La formazione è costituita da calcari grigi o rosati massivi, da calcari nodulari e marnosi con subordinati livelli di argilloscisti rossi e verdi.

L'ambiente di deposizione della formazione di Campo Pisano è marino neritico, corrispondente ad un mare epicontinentale poco profondo e poco ossigenato, con apporti ritmici di materiale terrigeno fine (Gandin & Pillola, 1985; Gandin et alii, 1987). Secondo gli stessi autori le facies nodulari sono da collegarsi alla deposizione su alti morfologici instabili, in via di subsidenza, mentre le facies massive e laminate testimonierebbero l'esistenza di zone morfologicamente più stabili, sia su alti strutturali che in settori più profondi. Lo spessore di questa formazione è di circa 20 m. Cambriano Inferiore – (Leniano – Amgaiano).

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 17 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

Formazione di Cabitza ("Argilloscisti di Cabitza", Auct.) (CAB)

La formazione di Cabitza affiora diffusamente nella zona di Iglesias. Gradualmente, anche se in maniera rapida, si passa dalla formazione di Campo Pisano alla formazione di Cabitza, che chiude la successione cambro-ordoviciana della "Zona esterna" e che è ricoperta in discordanza angolare ("Discordanza sarda") dai metasedimenti clastici ordoviciani.

La formazione inizia con facies di ambiente prossimale caratteristiche del primo membro, (membro di P.ta Camisonis, CAB₁) contraddistinto da prevalenti metarenarie con laminazioni parallele, convolute e incrociate.

Superiormente si passa al secondo membro (membro di P.ta Su Funu, CAB₂) che presenta gli spessori maggiormente variabili; si tratta perlopiù di litotipi costituiti da monotone alternanze di laminiti dal tipico colore rosso e subordinatamente verde. In certi casi (presso Villamassargia), sono presenti anche subordinati strati centimetrici e lenti di calcari (Serpagli E., Ferretti, A, Leone F., Loi A & Pillola G.L. 1998).

Il membro superiore (membro di Riu Cea de Mesu, CAB₃) è costituito da una monotona alternanza di peliti dal caratteristico colore verde scuro e grigio; sono presenti rare laminazioni piane costituite da livelli siltitici. Cambriano medio - Ordoviciano inferiore.

Come mostrato nella Fig. 9 la successione stratigrafica continua verso l'alto con la successione sedimentaria post-"Discordanza sarda", successione vulcano-sedimentaria tardo-paleozoica e la successione sedimentaria mesozoica, questi termini stratigrafici non sono presenti nell'area interessata da sprofondamenti per Sinkhole oggetto del presente studio, difatti la formazione del Cixerri poggia direttamente sui termini paleozoici, ragion per cui non verranno descritte le sopra menzionate successioni.

La Formazione del Cixerri (CIX)

La formazione è costituita da un'alternanza di arenarie conglomerati, marne ed argille siltose, alla base talora sono presenti noduli concrezionari ferruginosi.

Procedendo dal basso verso l'alto della formazione, è possibile riconoscere un *trend* evolutivo Carmignani 2004. Le porzioni inferiori sono infatti caratterizzate da una relativa abbondanza di depositi clastici a granulometria da fine a media (soprattutto argille e arenarie e subordinati livelli microconglomeratici). Procedendo verso l'alto della successione le porzioni fini tendono a diminuire e diventano progressivamente più importanti prima le frazioni arenacee e poi quelle conglomeratiche, tipiche delle porzioni sommitali. Questi conglomerati sono generalmente mal classati, costituiti da ciottoli poligenici, eterometrici, di norma ben arrotondati e con diametri variabili tra 2 a 30 cm. Specialmente alla base delle intercalazioni conglomeratiche più potenti sono frequenti le superfici erosive. Gli ambienti deposizionali dei livelli basali sono riferibili ad un vasto sistema di piana alluvionale con caratteristiche di piana a meandri; la parte sommitale è riferibile ad una piana a canali intrecciati. Questo *trend* evolutivo può essere attribuito ad un progressivo ringiovanimento del rilievo durante la deposizione della f.ne del Cixerri.

Il contenuto paleontologico è molto scarso e quindi l'età precisa della formazione è incerta, comunque compresa tra l'Eocene medio (età del tetto del "Lignitifero") e l'Oligocene-

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 18 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

Aquitaniano. Infatti, i depositi clastici della f.ne del Cixerri sono intrusi da andesiti, le cui età radiometriche ($22,8 \pm 1,3$ Ma) Lecca, 1997 indicano l'Aquitaniano

Lo spessore massimo della f.ne del Cixerri in affioramento può superare i 100 m; spessori maggiori sono noti in sondaggio. Eocene medio - Oligocene.

I sedimenti cambriani ed Eocenici sono ricoperti da conglomerati, sabbie e argille più o meno compattate, disposti in terrazzi e conoidi alluvionali ascrivibili al Plio- Pleistocene (PVM_{2a}), depositi alluvionali olocenici talora terrazzati (bn) e dai depositi degli alvei attuali (b).

Il Sintema di Portovesme (PVM) affiora abbastanza estesamente in tutto l'Iglesiente, soprattutto lungo la fascia costiera e nella Valle del Cixerri. E' composta da due unità litostratigrafiche: il Subsintema di Cala Mosca (PVM₁), non affiorante nell'area oggetto del presente elaborato e il Subsintema di Portoscuso (PVM₂).

Il Subsintema di Portoscuso (PVM₂) affiorano principalmente nella Valle del Cixerri, nei pressi di Villamassargia sono facilmente visibili in affioramento nei tagli stradali.

I depositi alluvionali sono in genere grossolani (ghiaie grossolane sino a blocchi), a spigoli subangolosi e subarrotondati. Questi depositi localmente presentano stratificazioni incrociate concave, in genere di limitata ampiezza e profondità. Ai livelli ghiaiosi sono intercalati lenti e livelli di sedimenti fini (sabbie e silt) che comunque sono sempre molto subordinati.

Questi sedimenti sono riferibili a corsi d'acqua a canali intrecciati Si tratta di depositi di conoide e di piana alluvionale solitamente terrazzati che costituiscono residui di estese conoidi alluvionali variamente incise e terrazzate. La base del deposito è spesso lievemente inclinata verso i rilievi, testimoniando come prima della fase di aggradazione siano stati modellati *glacis* più o meno estesi come è segnalato in altre parti della Sardegna (Barca et alii, 1981b).

Questi depositi formano terrazzi alluvionali ai lati dei letti fluviali attuali e dei depositi alluvionali olocenici, in genere anch'essi costituiti da conoidi alluvionali a loro volta terrazzate. La base del deposito, che è frequentemente modellata sulla f.ne del Cixerri, è netta e raramente solcata da paleoalvei.

Pleistocene superiore (Tirreniano).

Deposit alluvionali (bn) olocenici sono presenti estesamente lungo la fascia pedemontana tra Domusnovas e Iglesias, lungo quella tra Villamassargia ove costituiscono estese piane alluvionali raccordate ai rilievi tramite conoidi appiattite variamente incise dai corsi d'acqua principali (attualmente in parte canalizzati). Questi depositi sono posti ai lati degli alvei attivi o dei tratti di alveo regimati e non sono interessati dalle ordinarie dinamiche fluviali.

Si tratta di depositi grossolani con lenti e livelli di sabbie e di ghiaie fini a stratificazione incrociata concava o massivi. In molti casi le ghiaie sono matrice-sostenute e contengono elementi provenienti prevalentemente dal basamento paleozoico. Lo spessore di questi sedimenti è, nella maggior parte dei casi, difficilmente valutabile ma in alcune sezioni, in cave o lungo scarpate di erosione fluviale, può superare i 4 m. Olocene.

I corsi d'acqua presenti nell'area rilevata sono di modesta lunghezza, a carattere tipicamente torrentizio. Pertanto i depositi dei letti fluviali attuali (b) sono poco diffusi e affiorano con una certa continuità solo lungo i maggiori corsi d'acqua.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 19 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

Si tratta in genere di sedimenti grossolani; solo localmente sono presenti intercalazioni di lenti e livelli sabbiosi. La stratificazione è in genere piano-parallela o incrociata concava molto piatta.

A seguito di opere di regimazione idraulica, molti corsi d'acqua presenti nella valle del Cixerri sono stati canalizzati artificialmente e protetti da argini.

Lo spessore di questi sedimenti è difficilmente valutabile, si ritiene che non superi alcuni metri. Olocene.

Coltri eluvio-colluviali (b2), Oloceniche. Sono rappresentate da materiali detritici immersi in matrice fine, talora con intercalazione di suoli più o meno evoluti, arricchiti in frazione organica. Sono presenti principalmente in corrispondenza di zone topograficamente depresse a ridosso di piccoli rilievi.

Lo spessore di questi sedimenti può arrivare fino a 1-2 metri.

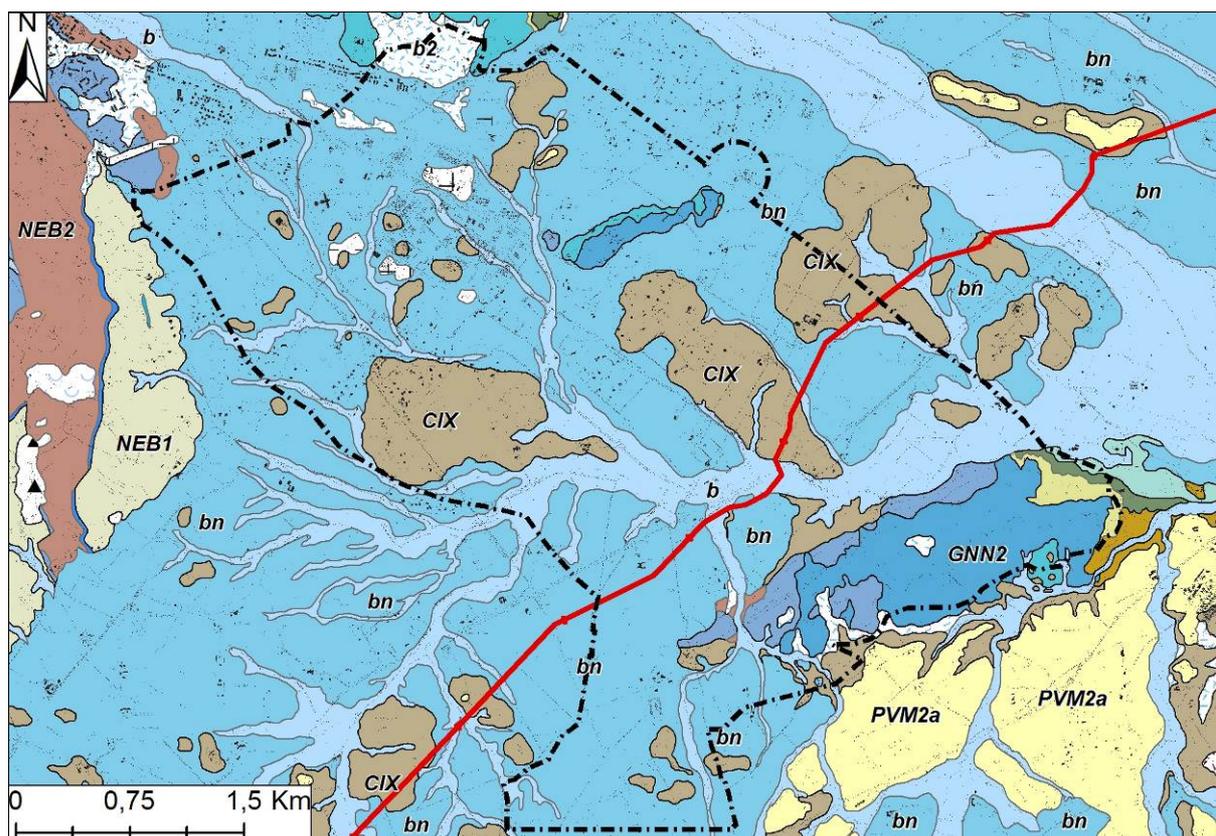


Fig. 10 Stralcio della carta geologica regionale (fonte RAS) con inserite in nero l'area in esame.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 20 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

Legenda

	Perimetro Area
	Tracciato Metanodotto
	h1r Depositi antropici. Materiali di riporto e aree bonificate.
	h1m Depositi antropici. Discariche minerarie.
	h1i Depositi antropici. Discariche industriali.
	b Depositi alluvionali. OLOCENE
	b2 Coltri eluvio-colluviali. Detriti immersi in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti, arricchiti in frazione organica. OLOCENE
	a Depositi di versante. Detriti con clasti angolosi, talora parzialmente cementati.
	bn Depositi alluvionali terrazzati.
	PVM2a Litofacies nel Subsistema di Portoscuso (SINTEMA DI PORTOVESME). Ghiaie alluvionali terrazzate da medie a grossolane, con subordinate sabbie. PLEISTOCENE SUP.
	PBNb Litofacies nelle DACITI E ANDESITI DI MONTE SA PIBIONADA. Andesiti porfiriche per fenocristalli di Pl, Am e Cpx; in giacitura subvulcanica (Astia). (27,2 - 29,3 Ma). OLIGOCENE SUP.
	CIX FORMAZIONE DEL CIXERRI. Argille siltose di colore rossastro, arenarie quarzoso-feldspatiche in bancate con frequenti tracce di bioturbazione, conglomerati eterometrici e poligenici debolmente cementati. EOCENE MEDIO - ?OLIGOCENE
	BUN BUNTSANDSTEIN AUCT. Alternanza di arenarie, argilliti, siltiti, livelli marnosi con gesso e conglomerati poligenici alla base ("Verrucano" sensu Gasperi & Gelmini, 1979). TRIASSICO MEDIO (ANISICO)
	fi Filoni intermedio-basici a composizione andesitica o basaltica, a volte porfirici, con fenocristalli di Am, generalmente molto alterati, in massa di fondo da afirica a microcristallina. CARBONIFERO SUP. - PERMIANO
	AGU1 Membro di Punta Sa Broccia (FORMAZIONE DI MONTE ARGENTU). Metaconglomerati e metabrecce eterometrici, poligenici, alternati a metasiltiti e metarenarie violacee. ORDOVICIANO ?MEDIO-SUP.
	CAB2 Membro di Punta Su Funu (FORMAZIONE DI CABITZA). Alternanze ritmiche di metasiltiti e metapelitti rosso-violacee verdi; subordinati livelli di metarenarie quarzoso-feldspatiche con laminazioni piano parallele e incrociate. CAMBRIANO MEDIO - ORDOVICIANO INF.
	CAB1 Membro di Punta Camisonis (FORMAZIONE DI CABITZA). Alternanze di strati di metarenarie grossolane e metasiltiti grigio-verdi con laminazioni piano parallele ed incrociate. CAMBRIANO MEDIO - ORDOVICIANO INF. (MAYAIANO-TREMADOC)
	CPI FORMAZIONE DI CAMPO PISANO. Alternanze di metacalcari, metacalcari marnosi rosati, metasiltiti grigie e metacalcari grigio-rosati a struttura nodulare, talora silicizzati, ricchi in frammenti di fossili. CAMBRIANO INF.-MEDIO (LENIANO-AMGAIANO)
	GNN2 Membro del Calcare ceroide (FORMAZIONE DI GONNESA). Calcari grigi massivi, talora nerastri, spesso dolomitizzati. CAMBRIANO INF. (ATDABANIANO SUP. - LENIANO)
	GNN2a Litofacies nel Membro del Calcare ceroide (FORMAZIONE DI GONNESA). Dolomie e calcari dolomitici di colore da giallastro a bruno, massivi ("Dolomia grigia" Auct.). CAMBRIANO INF. (ATDABANIANO SUP. - LENIANO MEDIO)
	GNN2b Litofacies nel Membro del Calcare ceroide (FORMAZIONE DI GONNESA). Dolomie e calcari dolomitici di colore da grigio a nocciola, massivi ("Dolomia gialla" Auct.). CAMBRIANO INF. (ATDABANIANO SUP. - LENIANO MEDIO)
	GNN1 Membro della Dolomia rigata (FORMAZIONE DI GONNESA). Dolomie grigio chiare ben stratificate e laminate, spesso con laminazioni stromatolitiche, con noduli e livelli di selce scura alla base. CAMBRIANO INF. (ATDABANIANO SUP.-LENIANO)
	NEB2 Membro di Punta Manna (FORMAZIONE DI NEBIDA). Metarenarie quarzose e siltiti, con laminazioni incrociate e piano-parallele, verso l'alto alternanze di calcari, talvolta ricchi in archeociati, e dolomie con bioturbazioni, spesso silicizzate. CAMBRIANO INF
	NEB2a Litofacies nel Membro di Punta Manna (FORMAZIONE DI NEBIDA). Alla base calcari oolitici e oncolitici con subordinate intercalazioni di metarenarie e metasiltiti. CAMBRIANO INF. (ATDABANIANO)
	NEB1 Membro di Matoppa (FORMAZIONE DI NEBIDA). Metarenarie e metasiltiti, con laminazioni piano-parallele, alternate a bancate decimetriche di metarenarie quarzose, con rari livelli carbonatici. CAMBRIANO INF. (ATDABANIANO)
	NEB1a Litofacies nel Membro di Matoppa (FORMAZIONE DI NEBIDA). Livelli discontinui di metacalcari scuri ad Archaeocyatha. CAMBRIANO INF. (ATDABANIANO).

Fig. 11 Legenda carta geologica regionale (fonte RAS) con inserite in nero l'area in esame.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 21 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

2.1 Inquadramento Morfologico

La tratta si estende per circa 30 Km all'interno della valle del Cixerri chiusa ad ovest dalle alture di Gonnesa, a nord dal massiccio dell'Iglesiente, a sud dai rilievi del Sulcis e ad est dalle morfologie collinari costituite dall'affioramento di vulcaniti calcio alcaline oligoceniche (Soglia di Siliqua) che delimita verso W il Campidano occidentale. Tra i rilievi più importanti si segnala a nord il complesso del Marganai, che a Punta San Michele raggiunge quote di 906 m s.l.m. e a sud il Monte Orri con i suoi 722 m.

La depressione del Cixerri, inizialmente interpretata come una fossa tettonica trasversale al bacino sedimentario oligo-miocenico, sulla base di nuovi approfondimenti litostratigrafici e strutturali è stata reinterpretata come un'ampia sinclinale con asse E-W formatasi a seguito degli eventi plicativi dell'Oligocene superiore – Aquitaniano. All'interno della valle scorre il Rio Cixerri, un tempo il più importante affluente del Flumini Mannu, oggi dotato di una foce autonoma che scarica le acque all'interno della Laguna di Santa Gilla. Il Rio Cixerri, che nasce lungo il versante orientale dei Monti Croccorighedda, ha di lunghezza è di 50,6 Km e un bacino idrografico che si estende per 534,7 Km².

Fin dalla sua formazione la valle ha subito un lungo processo di colmata, intensificatosi nel Quaternario, con i depositi di conoide alluvionale che hanno quasi completamente ricoperto le formazioni sedimentarie eoceniche e quelle vulcaniche oligoceniche. Il limite tra la valle del Cixerri e la valle del Campidano è costituito da una serie di modesti rilievi (Monte S'Ega Sa Femmina 253 m; Monte Idda 227 m; Monte S'Ilixianu 190 m; Su Concali de Santa Maria 153 m e Punta de Su Ferru 222 m), che dall'area di Vallermosa si estendono verso sud-est in direzione dei territori di Siliqua e Uta, dando corpo ad una soglia strutturale nota come Soglia di Siliqua. Il tracciato del metanodotto, che si sviluppa prevalentemente lungo il margine settentrionale della valle del Cixerri, incontra nel suo percorso le conoidi pleistoceniche del Subsistema di Portovesme (**PVM2a**) e le conoidi alluvionali oloceniche più o meno terrazzate (**bn**), con pendenze del 11-35% nel settore apicale e di 0-11% in quello distale; variamente incise dagli affluenti di sinistra del Rio Cixerri.

Gli ultimi 13 km del Tratto Vallermosa-Sulcis, attraversano longitudinalmente il bacino idrografico del Rio Flumentepido fino al settore costiero di Carbonia-Portoscuso. L'area, caratterizzata da un substrato diacrono, si è evoluta durante il Quaternario con morfologie fluviali in genere collegate alla presenza di conoidi alluvionali, anche terrazzate, di raccordo tra i rilievi di rocce paleozoiche e vulcaniche del Terziario, che caratterizzano i settori più interni. Nell'area affiorano estesamente le facies eoliche del Subsistema di Portoscuso (**PVM2b**), costituite da corpi dunali di spessore variabile in parte spianati dall'attività agricola. Il settore costiero è inoltre caratterizzato dai rilievi di forma tabulare, debolmente inclinati, della successione vulcanica effusiva a carattere ignimbrico del Miocene.

Il Rio Flumentepido, costituisce il principale corso d'acqua della zona, ha origine in prossimità di Monte Santu Miali e trova sbocco col nome di Canale di Paringianu a sud dell'area industriale di Portovesme. L'alveo del rio ha un generale profilo a fondo piatto; risulta leggermente incassato esclusivamente quando si sviluppa attraverso le unità vulcaniche del Miocene. Nel complesso il reticolo idrografico del settore costiero di Carbonia-Portoscuso è maggiormente sviluppato in corrispondenza del substrato paleozoico mentre lo è molto meno sulle formazioni oligo-mioceniche a maggiore permeabilità.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 22 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

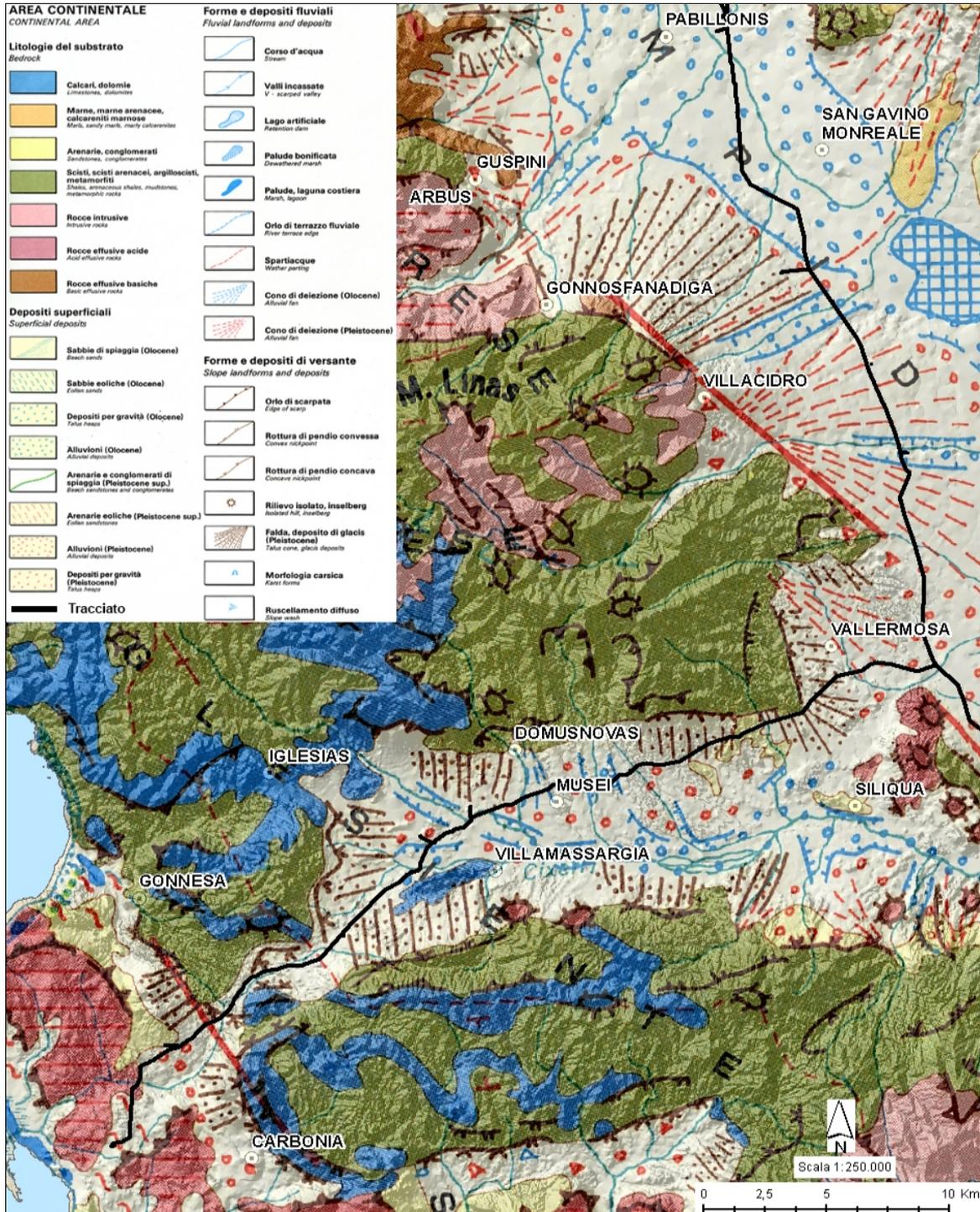


Fig. 12 Inquadramento geomorfologico della valle del Cixerri, con indicata in rosso l'area in esame.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 23 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

2.2 Caratteristiche idrografiche e idrogeologiche

Il bacino idrografico del Cixerri si estende su un'area di 618,14 kmq, definita da un'ampia sinclinale con direzione Est-Ovest. Le ipotesi più accreditate ipotizzano che questa depressione si sia formata nel terziario su preesistenti terreni paleozoici; in seguito alla sua formazione, la "fossa" è stata riempita dalla deposizione di materiale trasportato dai corsi d'acqua a cui si sono sommati i materiali depositatisi in seguito alle numerose e intense manifestazioni vulcaniche oligo-mioceniche che hanno dato origine ad una serie rilievi andesitici isolati come quello di Acquafredda nei pressi di Siliqua. La pianura del Cixerri termina a Nord-Est con la vasta pianura del Campidano dove una serie di modesti rilievi ne delimita il confine.

Il regime idrologico dei corsi d'acqua è caratterizzato da portate assai variabili essendo fortemente influenzate dalle piogge, brevi ed intense. La maggior parte delle precipitazioni sono concentrate nel periodo autunnale e invernale, ne risulta un regime idrologico di magra nel periodo estivo. Nel complesso l'idrografia superficiale risulta poco sviluppata con assenza di corsi d'acqua a carattere perenne. La circolazione idrica superficiale è limitata ai deflussi superficiali dovuti alle precipitazioni stagionali che scorrono con un andamento NW-SE.

Dal punto di vista idrogeologico l'area in oggetto può essere suddivisa in quattro complessi idrogeologici principali.

Il Complesso terrigeno inferiore (Formazione di Nebida- NBB). La serie appare intensamente piegata, ma con una fatturazione limitata ai soli banchi arenacei e calcarei. La permeabilità per fessurazione è scarsa o nulla, anche se localmente è presente una modesta circolazione idrica nelle intercalazioni carbonatiche.

Il Complesso carbonatico antico (Formazione di Gonnese GNN), il limite inferiore è scarsamente permeabile per la contenuta fratturazione e per la quasi assenza di carsificazione. La Dolomia grigia ed il Calcarea ceroidale hanno un comportamento idrodinamico analogo, mentre si differenziano notevolmente per il comportamento meccanico, a causa della diversa costituzione petrografica, giacitura, fratturazione e carsificazione. Le dolomie si presentano debolmente fratturate, con le fratture spesso concrezionate e colmate da materiali residuali. Qui, la carsificazione è presente seppure molto meno spinta. I calcari invece, sono caratterizzati quasi ovunque da una fitta rete di fratture poco concrezionate. Sono presenti numerose cavità carsiche. Le caratteristiche del complesso sono localmente variabili in funzione delle giaciture e anche della presenza di filoni.

Il Complesso scistoso intermedio (Formazione di Cabitza CAB), si tratta di un complesso impermeabile che, dando origine ad alcune soglie di permeabilità, condiziona fortemente la circolazione idrica sotterranea. Il Complesso terrigeno superiore, (200-500 m di spessore) caratterizzato da permeabilità variabile, comprende i terreni ordoviciani costituiti dal conglomerato poligenico basale, dagli argilloscisti arenacei, dalle argille siltose, da argilliti e siltiti con locali masse calcaree inglobate. Questo complesso borda l'area dell'Iglesiente come una barriera quasi continua, che va dal mare fino alla valle del Cixerri, comprendendo sia l'abitato di Iglesias che quello di Villamassargia.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  TechnipFMC	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 24 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

La parte più superficiale della successione è costituita dal complesso idrogeologico del Cixerri (CIX) (Unità delle alluvioni plio-quadernarie. L'acquifero è costituito dai depositi alluvionali olocenici (b e bn) e dalle conoidi terrazzate del Pleistocene (PVM2), presenta una permeabilità per porosità complessiva medio-bassa, localmente medio-alta nei livelli a matrice più grossolana. L'esiguo spessore dei depositi quadernari e la bassa permeabilità della sottostante formazione del Cixerri, non determinano una particolare rilevanza di questi acquiferi.

La formazione del Cixerri è praticamente impermeabile, nell'area del bacino carbonifero assume una grande importanza sotto l'aspetto idrogeologico in quanto origina soglie di permeabilità invalicabili che limitano l'acquifero carbonatico cambriano sottostante, costituendo nel contempo il substrato impermeabile degli acquiferi recenti.

Nella valle del Cixerri si trovava l'importante sorgente di Caput Aquas, ubicata a 116 m s.l.m., che nel passato forniva l'acqua alle città di Villamassargia, Carbonia e Iglesias.

Questa sorgente ha avuto delle portate che variavano da 70 a 200 l/s, almeno sino al 1990, quando si è completamente esaurita (BIANCO AND DE WAELE 1992).

Da allora si è iniziato ad emungere l'acqua da una serie di pozzi realizzati nei pressi della sorgente, abbassando sensibilmente il livello della falda. Attualmente l'acqua viene prelevata da una profondità di circa 100 metri.

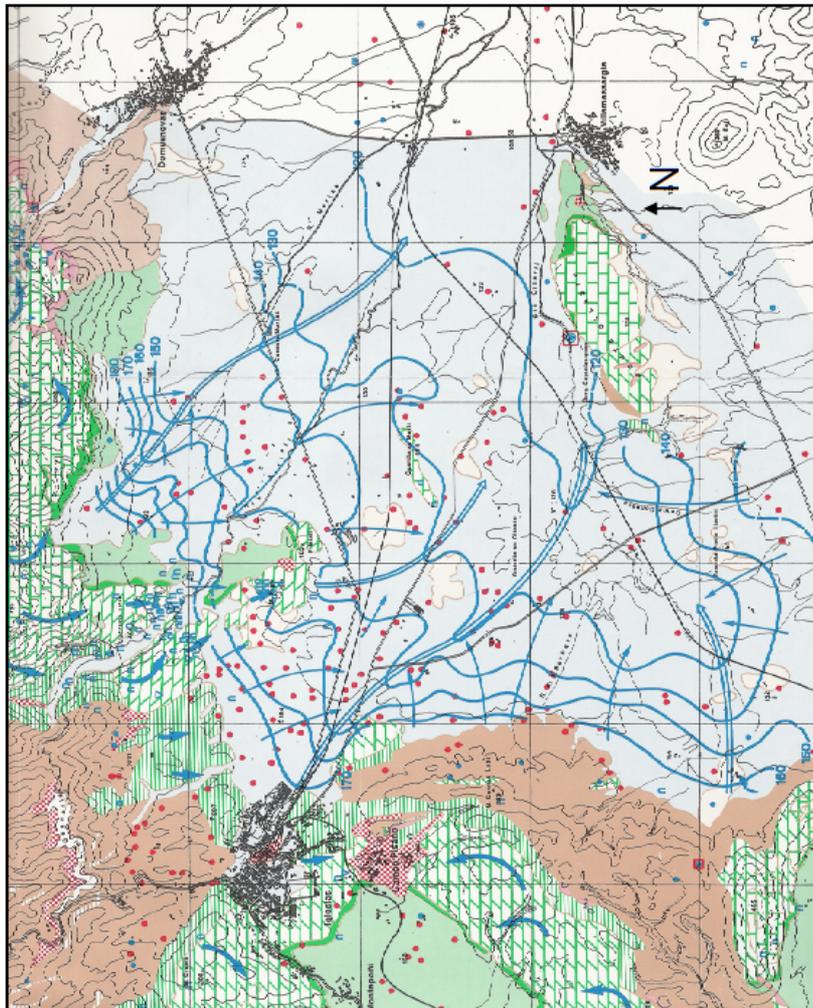
Sempre nello stesso arco temporale, un altro importante pozzo ubicato in Località su Merti, si è prosciugato.

Fino alla fine degli anni 90, molti pozzi per usi irrigui prelevavano l'acqua dal complesso idrogeologico alluvionale, dopo tale periodo la diminuzione delle portate emunte ha fatto sì che si realizzassero nuove ricerche idriche spinte a profondità superiori di 50 metri di profondità intercettanti il complesso idrogeologico paleozoico.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 25 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

QUATERNARIO	Complesso delle alluvioni
PALEOGENE	Complesso terrigeno post-triassico
TRIASSICO	Complesso carbonatico superiore
PALEOZOICO SUPERIORE	Complesso dei filoni
	Complesso megmatitico
ORDOVICIANO	Complesso terrigeno superiore
CAMBRICO	Complesso scistoso intermedio
	Complesso carbonatico antico
	Calcare medulare
	Calcari
	Dolomite massicce
	Dolomite rigate
	Complesso terrigeno inferiore



-  Direzioni di flusso delle acque sotterranee
-  Isopiezometriche medie
-  Direzione flusso delle falde di pianura
-  Assi preferenziali di deflusso
-  Grotte orizzontali fossili
-  Grotte emittenti perenni
-  Grotte emittenti temporanee
-  Doline
-  Inghiottoni, punti di perdita delle acque superficiali
-  Pozzo
-  Opere di presa delle sorgenti

Fig. 13 Schema idrogeologico della valle del Cixerri Civita 1983 modificato (Fonte tesi di dottorato Ing. Massimiliano Bianco).

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 26 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

3 I MECCANISMI GENETICI E I DIVERSI TIPI DI SINKHOLE

Molte classificazioni sono state proposte per indicare i diversi fenomeni di sinkhole. Una prima sostanziale suddivisione può essere fatta tra fenomeni di sprofondamento in cui l'evoluzione procede, ad opera di agenti esogeni (acque meteoriche, carsismo superficiale), dalla superficie verso il sottosuolo, e fenomeni causati da agenti endogeni (acque di circolazione sotterranea, flussi gassosi, etc.) che si sviluppano dal basso verso l'alto all'interno della copertura che giace al di sopra del substrato carsificabile. Appartengono al primo tipo i **dissolution sinkhole** e le **cave collapse sinkhole**. Questi due tipi rientrano nei fenomeni carsici in senso stretto e sono praticamente sinonimo di dolina. Nel secondo tipo di sinkhole, quelli in cui il processo si sviluppa dal basso verso l'alto a partire dal confine bedrock sedimenti, rientra la maggior parte dei casi osservati. Appartengono a questa categoria i **subsidence sinkhole** e i **cover collapse sinkhole**.

Di seguito si riporta una breve trattazione delle principali cinque tipologie di sinkhole:

- **Dissolution sinkhole:** hanno origine in ambienti in cui il bedrock risulta vicino alla superficie, con una copertura dei sedimenti non molto spessa. Queste condizioni favoriscono un rapido processo di dissoluzione ed una erosione meccanica piuttosto spinta, specialmente in corrispondenza di aree di accumulo dell'acqua, come le zone di fatturazione e le depressioni morfologiche della superficie. Il processo porta alla formazione di una conca più o meno ampia mentre non si assiste generalmente a crolli o a fenomeni di dissesto particolarmente pericolosi.

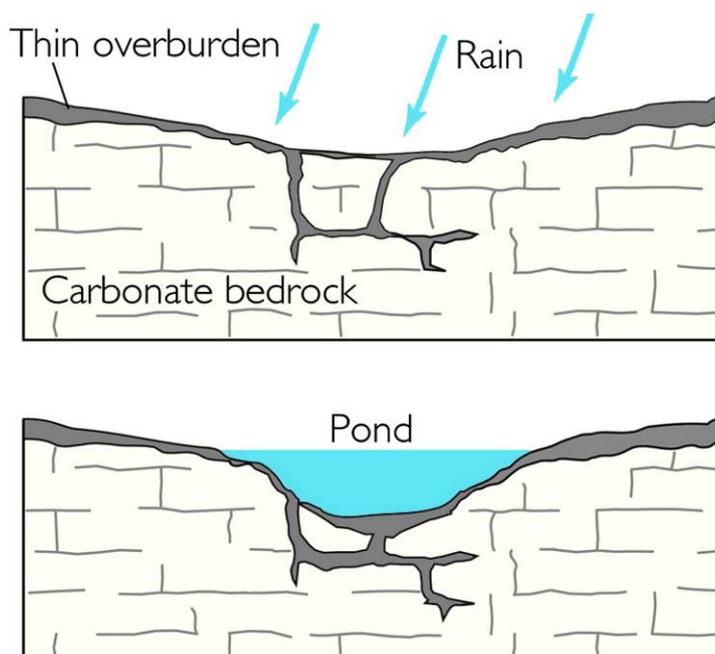


Fig. 14 Lo schema illustra il meccanismo di formazione di un dissolution sinkhole.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 27 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

- **Cave collapse sinkhole:** detti anche cavern collapse sinkhole, sono legati esclusivamente a fenomeni di dissoluzione, dovuti al crollo di vuoti che si formano in rocce carbonatiche affioranti o poco profonde (Fig. 15).

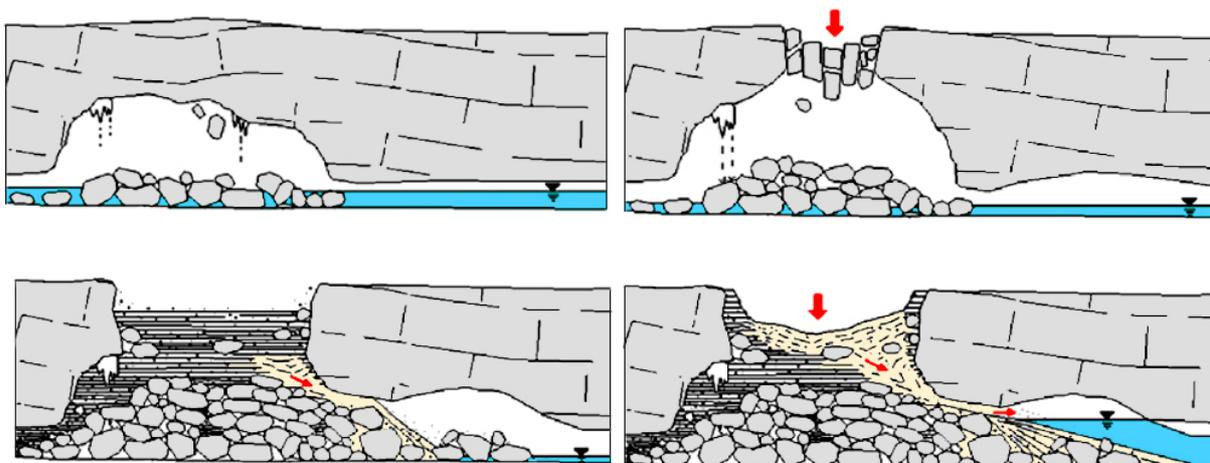


Fig. 15 La figura mostra il risultato di due differenti tipi di sinkhole: un dissolution sinkhole (A) e un cave collapse sinkhole (B).

- **Subsidence sinkhole:** in questo tipo di sinkhole entrano in gioco le caratteristiche dei terreni di copertura del substrato carbonatico. Come mostrato nella figura sottostante i sedimenti possono, in specifiche condizioni, riempire i vuoti formati nella roccia sottostante. Il richiamo dei materiali di copertura all'interno di condotti carsici, di fratture o cavità può essere attivato dalle variazioni, naturali o indotte, della superficie freatica (Newton, 1984; Brink, 1984; Metcalfe and Hall, 1984; Kiernan, 1989; Sowers, 1996). Le oscillazioni naturali dipendono dall'abbondanza delle precipitazioni e dall'alternanza dei cicli stagionali. Solitamente i livelli minimi si riscontrano alla fine dell'estate, quelli massimi all'inizio della primavera. La formazione di sinkhole durante o dopo periodi di intensa pioggia è stata osservata in diverse aree a rischio (Newton, 1984; LaMoreaux, 1984; Benson and La Fountain, 1984; Benito and Gutierrez, 1987; Sowers, 1996), specialmente se avvengono dopo periodi di siccità (Sowers, 1975; Gertje and Jeremias, 1989). Molto più consistenti sono le variazioni indotte dall'uomo con gli emungimenti per uso irriguo, idropotabile o industriale. Il forte emungimento fa sì che si sviluppino, in prossimità dei pozzi, con di depressione tali da far aumentare notevolmente la velocità dei flussi idrici e quindi l'asportazione delle particelle dei sedimenti e la subsidenza delle coperture alluvionali. Il rapido abbassamento del livello della falda, inoltre, può causare una perdita di pressione e determinare un aumento del carico sui terreni immediatamente al di sopra dei vuoti, che possono collassare (Newton, 1986). È interessante notare come i fenomeni di crollo in superficie appaiano molto velocemente in seguito a degli abbassamenti dei livelli dell'acqua di falda. Sowers (1975) descrive due ampi sinkhole formati dopo tre giorni di pompaggio mentre Daoxian (1987) osserva la formazione del primo sinkhole dopo alcune ore dall'inizio dell'emungimento.

Problemi di stabilità dei materiali di copertura si possono verificare anche per l'immissione nel suolo agrario di elevate quantità di acqua durante l'irrigazione (Trommer, 1992).

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 28 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

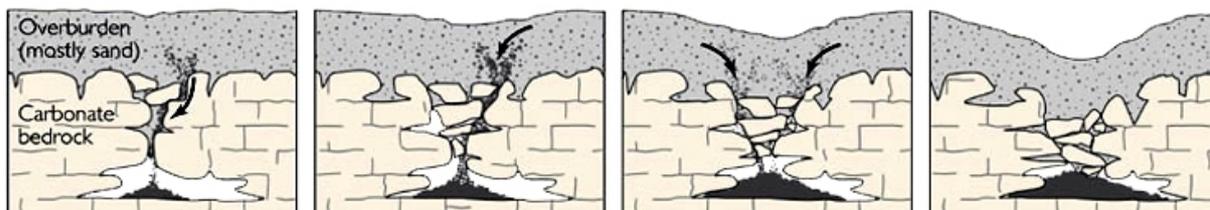


Fig. 16 Lo schema illustra il meccanismo di formazione di un cover subsidence sinkhole.

A favorire questi fenomeni di filtrazione all'interno delle fratture contribuisce il fatto che spesso i terreni che si trovano immediatamente a contatto con la roccia risultano essere poco coesivi (Pazuniak, 1989; Siegel and Belgeri, 1995; Iqbal, 1995; Sowers, 1996; Wilson and Beck, 1988); inoltre, le irregolarità del basamento possono impedire la compattazione dei sedimenti e la presenza di acqua può impedire il consolidamento per disidratazione (Siegel and Belgeri, 1995). Il movimento dei sedimenti verso il basso, indicato con il termine *ravelling*, può determinare in superficie un fenomeno di subsidenza senza un repentino crollo, dando luogo a fenomeni noti come *cover subsidence sinkhole* (Tihansky, 1999). Questi *sinkhole* vengono chiamati anche *alluvial sinkhole*, *ravelling sinkhole* o *shakehole* (Waltham, 1989; Beck and Sinclair, 1986; Newton, 1987).

- **Cover collapse sinkhole:** in altri casi, il movimento dei sedimenti dalla formazione di copertura ai vuoti del basamento può portare alla formazione di una cavità nella copertura detritica. Fenomeni di questo tipo avvengono in formazioni sedimentarie dotate di un certo grado di coesione e di una portanza naturale (Galloway et al., 1999). Le dimensioni granulometriche degli elementi della copertura possono essere variabili, ma generalmente si tratta di argille-sabbiose, limi, sabbie con intercalazioni di ghiaie. Il processo è facilitato se all'interno del pacco di sedimenti sono presenti lenti di terreni carsificabili, quali travertini o ghiaie di natura prevalentemente carbonatica. In queste condizioni si ha la formazione e la successiva propagazione di una cavità all'interno del materiale di copertura, a partire dal tetto del bedrock verso l'alto (Tharp, 1999). Il fenomeno procede verso l'alto fino a quando il terreno di copertura, non sopportando più gli sforzi di taglio, collassa dando luogo ad una voragine che si forma nell'arco di poche ore. La profondità a cui avviene il collasso finale dipende dalle caratteristiche geomeccaniche dei terreni, dalle condizioni idrogeologiche e da diversi fattori che determinano la rottura dell'equilibrio: un terremoto, un'intensa pioggia o un carico in superficie (costruzioni, infrastrutture, etc.). Anche le esplosioni, utilizzate nel campo estrattivo e in quello delle demolizioni, contribuiscono a favorire ed accelerare la formazione dei sinkhole (Benson and LaFountain, 1984; Pazuniak, 1989; Iqbal, 1995), così come le vibrazioni indotte dal passaggio di mezzi pesanti, su strada o su rotaia, possono assumere una certa rilevanza nel determinare il crollo delle cavità sotterranee (Gertje and Jeremias, 1989). Diversi autori (Faccenna, 1993; Ciotoli et al., 2001; Berti et al., 2002; Salvati and Sasowsky 2002; Beaubien et al., 2003; Nisio, 2003) attribuiscono una grande importanza, nel meccanismo di formazione e propagazione dei vuoti, all'azione delle acque dell'acquifero profondo, ricche di gas e in pressione, che risalgono in corrispondenza delle discontinuità presenti nel bedrock, le quali rappresentano delle vere e proprie vie di fuga. Proprio le interazioni acqua-gas-roccia sembrerebbero alla base di questo importante processo di dissoluzione dal basso verso l'alto noto col nome

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 29 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

di suffosione (piping). Tale meccanismo di dissoluzione chimica, infatti, è frequente nelle zone caratterizzate dalla presenza di fluidi termali ed emanazioni gassose anche di modesta intensità. In queste aree la presenza di fluidi aggressivi ricchi in CO₂ e H₂S facilita la dissoluzione sia del substrato calcareo sia della eventuale componente calcarea dei sedimenti di copertura.

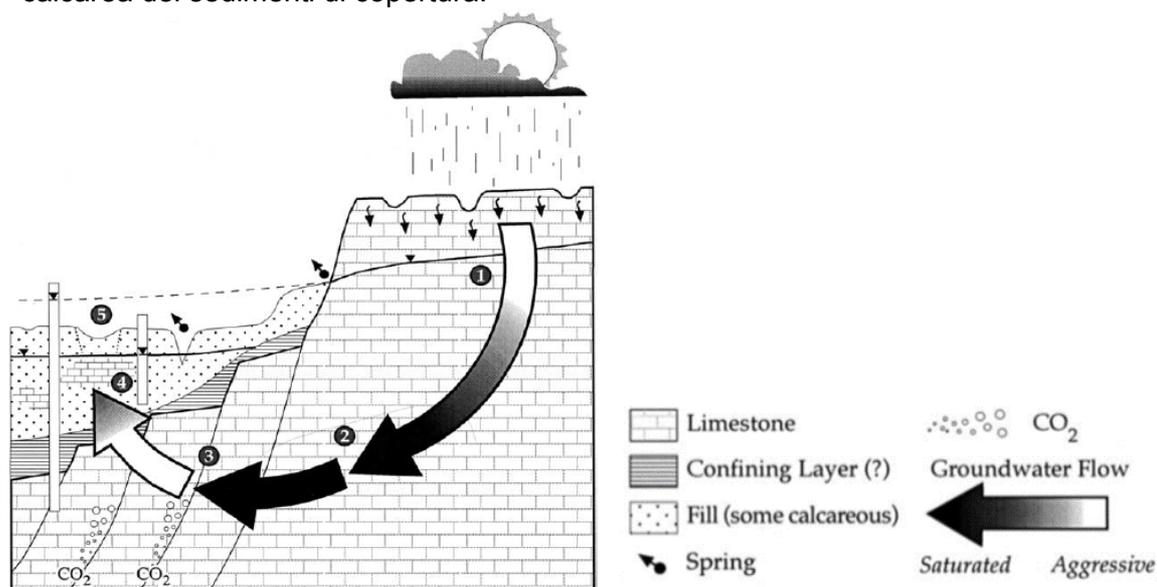


Fig. 17 Possibile modello per lo sviluppo di sinkhole in aree caratterizzate dalla risalita di acque ricche di CO₂ (da Salvati and Sasowsky, 2002).

Il modello concettuale di circolazione delle acque illustrato nella Fig. 17 chiarisce quanto appena descritto. I calcari che affiorano consentono l'infiltrazione dell'acqua fino all'acquifero profondo. L'acqua, attraversando le formazioni di calcare, si arricchisce di calcio fino alla saturazione. I gas che risalgono dalle fratture del basamento riducono il grado di saturazione dell'acqua. La rinnovata aggressività delle acque porterebbe alla creazione di cavità all'interfaccia basamento carbonatico-copertura o nell'ambito dei termini carbonatici presenti in quest'ultima, innescando in tal modo i processi di "ravelling-like" e di sprofondamento dei terreni di copertura responsabili della formazione dei sinkhole in area di deflusso (Salvati and Sasowsky 2002).

Si utilizza il termine di cover collapse sinkhole o di dropout sinkhole per indicare i sinkhole che avvengono quando i vuoti che si sono formati nei sedimenti per i diversi fenomeni descritti crollano improvvisamente (Fig. 18) (White and White, 1995; Tihansky, 1999).

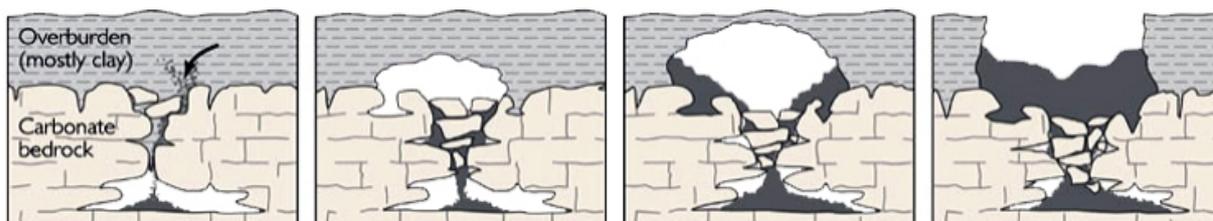


Fig. 18 Lo schema illustra il meccanismo di formazione di un cover-collapse sinkhole.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 30 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

Un meccanismo che prevede la formazione di una cavità che “migra” verso l’alto nei terreni sembrerebbe l’unico in grado di spiegare la formazione di sinkhole in aree caratterizzate dalla presenza di basamenti carbonatici sormontati da sedimenti di copertura molto spessi. Appare infatti molto improbabile, proprio per il consistente spessore dei materiali di copertura (in molti casi reali fino a 200 m), che si possa avere un risentimento in superficie di un fenomeno di crollo localizzato in profondità, attraverso processi di semplice scorrimento di materiale verso il basso.

- **Buried sinkhole:** un altro tipo di sinkhole è il buried sinkhole, che si manifesta quando una precedente voragine viene colmata da sedimenti che successivamente possono, compattandosi, dare luogo ad una nuova depressione, specie se soggetti al carico di una costruzione (Bezuidenhout and Enslin, 1970; Brink, 1984). Cedimenti lenti dei terreni ospitati in vecchi sinkhole, forse favoriti da un abbassamento del livello freatico, hanno creato delle depressioni conosciute in Sud Africa come compaction sinkhole (Jennings, 1966).

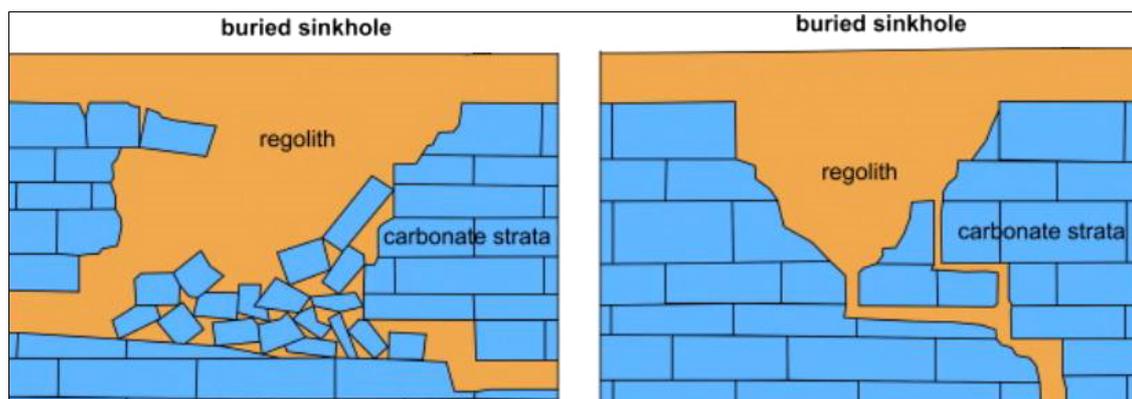


Fig. 19 Schema tipo di un Buried sinkhole.

3.1 L’evoluzione dei sinkhole

L’annegamento: il processo di “annegamento” è un fenomeno assai frequente dopo la formazione di un sinkhole. Accade infatti, in molti casi, che le acque di falda o l’acqua di risalita dall’acquifero profondo si riversino all’interno della depressione dando vita ad un piccolo lago. I tempi di formazione del laghetto sono variabili da poche ore a qualche mese. Quando il fondo della voragine è a un livello minore o uguale a quello della piezometrica della falda, il lago viene alimentato da quest’ultima. In tale situazione, il livello dell’acqua all’interno del piccolo lago, essendo strettamente collegato agli eventi pluviometrici, subisce delle fluttuazioni stagionali e talvolta, durante i minimi estivi, si assiste al completo prosciugamento. In altri casi è possibile osservare alla superficie del lago bolle dovute a risalite di gas che fanno supporre che il fenomeno di annegamento sia influenzato dalla presenza di acquiferi in pressione all’interno del bedrock carbonatico. Questo confermerebbe come i fenomeni di risalita di fluidi profondi (acqua e gas) nei sedimenti di copertura operino in maniera diretta sull’evoluzione degli sprofondamenti catastrofici in superficie.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  TechnipFMC	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 31 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

Il sinkhole risulta essere così in collegamento con l'acquifero basale attraverso un condotto che ha le stesse caratteristiche di un pozzo artesiano che capta in profondità. Tale processo è stato comprovato, in casi reali, dalle analisi geochimiche delle acque e dei gas disciolti che ne hanno confermato l'origine profonda (Ciotoli et al., 1998, 2000). Tra l'altro è anche chiaro che questa situazione, mettendo in collegamento diretto l'acquifero con la superficie, rappresenta una potenziale causa di inquinamento dell'acquifero stesso.

L'estinzione: un altro fenomeno a cui può essere soggetto un sinkhole dopo un certo numero di anni dalla sua formazione è l'estinzione: la cavità può, con il passare del tempo, prosciugarsi e ricolmarsi fino ad estinguersi. Sono molti i casi di colmamento di sinkhole in Italia; vi sono, ad esempio, alcune segnalazioni di cavità ricolmate nella Piana di S. Vittorino, in provincia di Rieti, e il caso dell'area del Fosso di S. Martino, Capena (Roma), dove erano presenti sei cavità ospitanti laghetti, di cui solamente una è ancora oggi attiva (Nisio et al., 2004).

Le cause d'estinzione dei sinkhole sono diverse e ancora da chiarire. Una prima causa che può determinare il colmamento delle cavità è rappresentata dagli apporti detritici di torrenti o alvei, o dal materiale detritico proveniente da versanti vicini. Il franamento delle sponde della cavità può causare il progressivo aumento del diametro della stessa e la diminuzione della profondità, fino al livellamento progressivo delle pendenze. Con il tempo, inoltre, potrebbero non sussistere più le condizioni per le quali il sinkhole si è generato e venire a mancare, quindi, l'apporto di acque sorgive al fondo e di fluidi gassosi. Il sinkhole tenderebbe quindi a prosciugarsi fino ad estinguersi. Anche un sisma, che può essere spesso la causa di innesco, può determinare la scomparsa di un sinkhole. E' evidente che differenti condizioni possano sussistere nello stesso tempo e sovrapporsi. L'attività antropica è tuttavia la causa principale dell'estinzione dei sinkhole, specie in tempi recenti. È infatti pratica comune l'interrimento delle voragini per non provocare il deprezzamento del terreno e per poter coltivare o edificare.

La riattivazione: i sinkhole estinti sono spesso soggetti ad altri episodi di crollo che possono variarne la forma, il diametro e la profondità rispetto alle condizioni pre-estinzione. La spiegazione dei fenomeni di riattivazione più eclatanti va ricercata nel probabile ripristino, dopo una fase di stasi, delle condizioni che hanno portato alla formazione della voragine iniziale (eventi sismici, attività antropiche, eventi alluvionali etc). In generale le cavità subiscono una naturale evoluzione caratterizzata dal crollo delle pareti, specialmente se queste sono ripide.

La migrazione: nel caso in cui la riattivazione dei fenomeni non avvenga nella medesima posizione, ma ad una certa distanza, si parla di migrazione del sinkhole. Il fenomeno della migrazione è ancora oggetto di studio così come sono oggetto di studio le sue cause. Esso potrebbe essere spiegato con una variazione dei percorsi di risalita dei fluidi in seguito ad eventi sismici e alla conseguente attività delle principali faglie.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 32 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

4 INDAGINE STORICA SUI SINKHOLE NELLA PIANA DEL CIXERRI

Il termine "sinkhole" viene utilizzato per indicare fenomeni di sprofondamento connessi a circolazione di fluidi e/o carsismo coperto. La formazione di queste voragini si è riscontrata negli ultimi anni 1990 e nei primi del 2000 nella piana del Cixerri nei territori di Iglesias e Villamassargia, ubicati nell'area storico geografica del Sulcis Iglesiente.

I "sinkhole" della Sardegna sud-occidentale, censiti, presentano meccanismi di formazione ancora in corso di uno studio approfondito ma fondamentalmente indicanti lo stesso fattore predisponente individuato nel **substrato litoide cambrico di natura calcareo-dolomitica**, interessato da strutture carsiche ipogee ed epigee, la circolazione delle acque sotterranee profonde, nonché la falda freatica presente nelle coperture continentali. I fattori innescanti sono da ricercarsi nell'alterazione della dinamica delle falde sotterranee, ovvero nel repentino abbassamento del livello piezometrico per emungimento eccessivo e nei regimi pluviometrici che caratterizzano la Sardegna meridionale (alternanza di periodi di siccità e di alluvionamento).

Infatti il repentino abbassamento del livello piezometrico, comporta crollo della copertura per perdita di equilibrio statico e ripercussione dei vuoti verso l'alto per compensazione.

Nello specifico al di sotto della coltre detritica della Formazione del Cixerri, è presente un substrato carbonatico fratturato, interessato da un intenso carsismo, nel quale l'oscillazione prolungata della falda derivante dagli emungimenti costanti nel corso del secolo, ha creato una brusca diminuzione della pressione idrostatica, con abbassamento del livello piezometrico e conseguente richiamo delle acque di falda superficiale, le quali si introducono nei condotti carsici operando contestualmente drenaggio ed asportazione delle frazioni litoidi appartenenti alla porzione alterata delle litologie di letto. Il materiale roccioso viene di conseguenza dilavato e veicolato ad opera di acque sotterranee che, asportando porzioni sempre più ampie, determinano in corrispondenza del vuoto di cattura carsico (es. foro) un vuoto cupoliforme od una cavità sotterranea in progressivo ampliamento ed in critiche condizioni di equilibrio, specialmente durante le stagioni piovose, fino al collasso della volta per disequilibrio gravifico; contestualmente si ha la formazione della voragine per compensazione verso l'alto, con ripercussione del vuoto in superficie. In questo meccanismo gioca un ruolo significativo la velocità di circolazione delle acque di falda superficiale che in parte è imputabile anche all'emungimento da pozzi freatici (Careda G.; Cinus S.; Farris M., 2004).

E' interessante notare, infatti, che il gran numero di sprofondamenti si sono sviluppati al termine del decennio siccitoso degli anni novanta. Tuttavia non possono essere escluse concause antropiche quali la presenza di gallerie minerarie che alterano gli equilibri della falda creando vie di scorrimento preferenziali.

La presenza di fenomeni di sinkholes in Sardegna è stata segnalata da Balia Et Alii, 2001; De Waele & Munton, 2001; Careda Et Alii, 2004; Ardau Et Alii, 2005. I primi eventi significativi che hanno destato l'attenzione pubblica sono relativi al 1999; eventi minori precedenti risalgono all'inizio del decennio scorso. Le aree interessate sono ubicate nella Provincia di Carbonia-Iglesias, nello specifico nei Comuni di Iglesias, Villamassargia, S. Anna Arresi e Narcao.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 33 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

4.1 I meccanismi di origine e sviluppo

I meccanismi di origine e sviluppo riconosciuti nei fenomeni in oggetto sono, verosimilmente, da ricondurre a due precise dinamiche di subsidenza indotta localizzata o puntuale:

- I. la prima deriva dal presupposto che acque sotterranee in pressione provvedano ad esercitare una spinta di sostegno alle volte delle cavità carsiche prossime alla superficie o una spinta idrostatica di contenimento nei livelli acquiferi incoerenti alluvionali soprastanti le litologie carbonatiche, il cui venir meno a seguito di operazioni di emungimento idrico dal sottosuolo (assai eccessivo nell'area), con conseguente abbassamento del livello piezometrico o del livello freatico, comporta crollo per perdita di equilibrio statico e ripercussione dei vuoti verso l'alto per compensazione; ascrivibili a questa tipologia di fenomeno sono alcune voragini in loc. Cuc.ru Tiria-Corongiu de Mari (Caredda G.; Cinus S.; Farris M.).
- II. la seconda, più complessa ed articolata, prevede una lenta erosione operata dalle acque di falda idrica superficiale nei confronti della roccia alterata e delle porzioni clastiche appartenenti alla copertura che, asportate, vengono convogliate verso le aperture carsiche, determinando, circa in corrispondenza di queste, progressivi ampliamenti verticali (erosione inversa) ed orizzontali di vuoti sotterranei, fino al superamento della capacità di autocontenimento delle volte formatesi, perdita di sostegno statico e conseguente crollo con ripercussione verso la superficie.

4.2 Fenomenologia dei Sinkhole nell'area di studio

Il fenomeno più eclatante che attirò l'attenzione dell'opinione pubblica e delle amministrazioni locali è relativo al Sinkhole ubicato in località "Su Merti", dove in modo del tutto improvviso e senza apparenti fenomeni precursori, si formò un'ampia voragine, profonda almeno 15 metri e diametro di circa 18 metri a poca distanza dalla linea ferroviaria Iglesias – Villamassargia. L'evento avvenne nelle ore notturne, con un collasso e uno sprofondamento estremamente rapidi. Negli anni successivi si verificarono altri fenomeni di rapida subsidenza a poca distanza dal primo, che fortunatamente non causarono danni rilevanti.

Località Guardia su Merti: si tratta di un'area pianeggiante, circondata da rilievi collinari, che sovrastano la depressione valliva del Cixerri. Il contesto geologico è caratterizzato da alluvioni ghiaioso- sabbiose in matrice argillosa poggianti su arenarie, al di sotto delle quali si attesta il bedrock carbonatico (calcarei e dolomie a profondità comprese tra i 20 m e i 40 m). Il settore in esame ricade presso la zona industriale di Iglesias. Presso Guardia Su Merti sono stati censiti 8 sinkholes, di dimensioni variabili, che spesso superano i 30 m di diametro e 10 m di profondità. Alcuni interessano una fascia a ridosso della linea ferroviaria (Balìa Et al. 2001; Caredda et al. 2004). Le voragini mostrano caratteristiche simili, per la tipologia di sprofondamento, e morfometria della cavità. La voragine apertasi nel 1999 aveva diametro di 35 m e profondità di 12 m al momento della formazione. Nei pressi della stessa erano presenti altre cavità di diametro minore (3 m) e profondità scarsa (3 - 5 m). Gli altri sinkholes hanno diametri variabili tra 30 m e 10 m, e sono attualmente in corso di colmamento con materiale gradato idoneo. Il substrato è stato individuato a profondità comprese tra 40 m e 20 m. La maggior parte dei fenomeni sono ricoperti da vegetazione o messi in sicurezza

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 34 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

attraverso la perimetrazione della voragine con reti metalliche, che nella maggior parte dei casi sono state divelte o sono cadute per il progressivo avanzamento della stessa. E' da segnalare che anche in tale area sono presenti molti pozzi per uso idropotabile; va inoltre ricordata l'intensa azione antropica prodotta dalle opere di manutenzione, relative alla rete ferroviaria e al vicino polo industriale, che ha determinato frequenti vibrazioni sui terreni.

Località Cuccuru Tiria: è ubicata ai piedi del complesso del Marganai, tra rilievi carbonatici, a quote di circa 200 metri s.l.m.. Il sistema carsico di Cuccuru Tiria (grotta Cucurru Tiria, presenza di corsi d'acqua sotterra-nei) costituisce la fonte principale delle acque sotterranee che alimentano la piana del Cixerri. Nel settore in esame sono stati censiti 15 sinkholes, tra depressioni singole e multiple, ubicate nella piana alluvionale del Rio Corongiu (Nisio, 2008). I sinkholes censiti presentano una certa differenziazione morfometrica. Alcune cavità non superano i 5-6 metri di diametro, con profondità di circa 3-4 metri. La maggior parte sono ricoperte da vegetazione o presentano stadio evolutivo senile. Negli anni passati, nel corso di altri studi, sono state segnalate voragini a differente diametro, successivamente ricolmate e di difficile ubicazione. Altre voragini ubicate presso le località, Corongiu de Mari e Serra de Daga, presentano diametri maggiori (30 m) ma scarse profondità (3 m;). Nell'area sono presenti altre cavità di piccolo diametro, segnalate solo agli inizi dell'anno 2000. Il sinkhole di dimensioni maggiori è stato osservato per la prima volta nel 2001 (Careda et al. 2004). Nell'area di Cucurru Tiria sono numerosi i pozzi di emungimento e potrebbe essere possibile una connessione con i fenomeni di sprofondamento. I fenomeni hanno nel tempo progressivamente coinvolto la valle, lungo la direzione che segue il collettore sotterraneo che da Cuccuru Tiria raggiunge la piana sottostante.

Località Capodacquas: è ubicata nel Comune di Villamassargia, ad alcuni chilometri dall'abitato, a ridosso dei versanti settentrionali del Monte Ollastus, a breve distanza dall'alveo del Rio Cixerri. Nei pressi di Monte Ollastu, a poche centinaia di metri dalla sorgente di Capodacquas, si sono aperti alcuni sinkholes sui quali sono costantemente eseguiti monitoraggi per verificarne lo stato attuale di avanzamento. In particolare sono stati censiti 4 sinkholes, dei quali uno è stato ricolmato, uno ricoperto da vegetazione e messo in sicurezza attraverso reti metalliche, mentre i restanti due sono ancora aperti e non ancora messi in sicurezza. La maggiore delle voragini, osservata per la prima volta nel 2001 (Balìa et alii) (Careda et alii. 2004), presenta diametro di 20 m e profondità di 15 m. Le altre si presentano come voragini singole e coalescenti con diametri di circa 10 m e profondità di 2-3 m.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 35 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

4.3 Sinkhole prossimi all'asse del metanodotto

Il censimento dei "sinkhole" condotto a cura dell'Autorità di Bacino della Regione Sardegna Fig. 20 individua nell'area prossima al tracciato, ad una distanza minima di circa 150 metri, i seguenti sprofondamenti:

- n. 3 sprofondamenti in Località Genna Gonnese;
- n.1 in prossimità dell'intersezione del Rio Trullu con la rete ferroviaria;
- n.2 nei pressi di Monte Olla;
- n.1 in località Capodacquas.

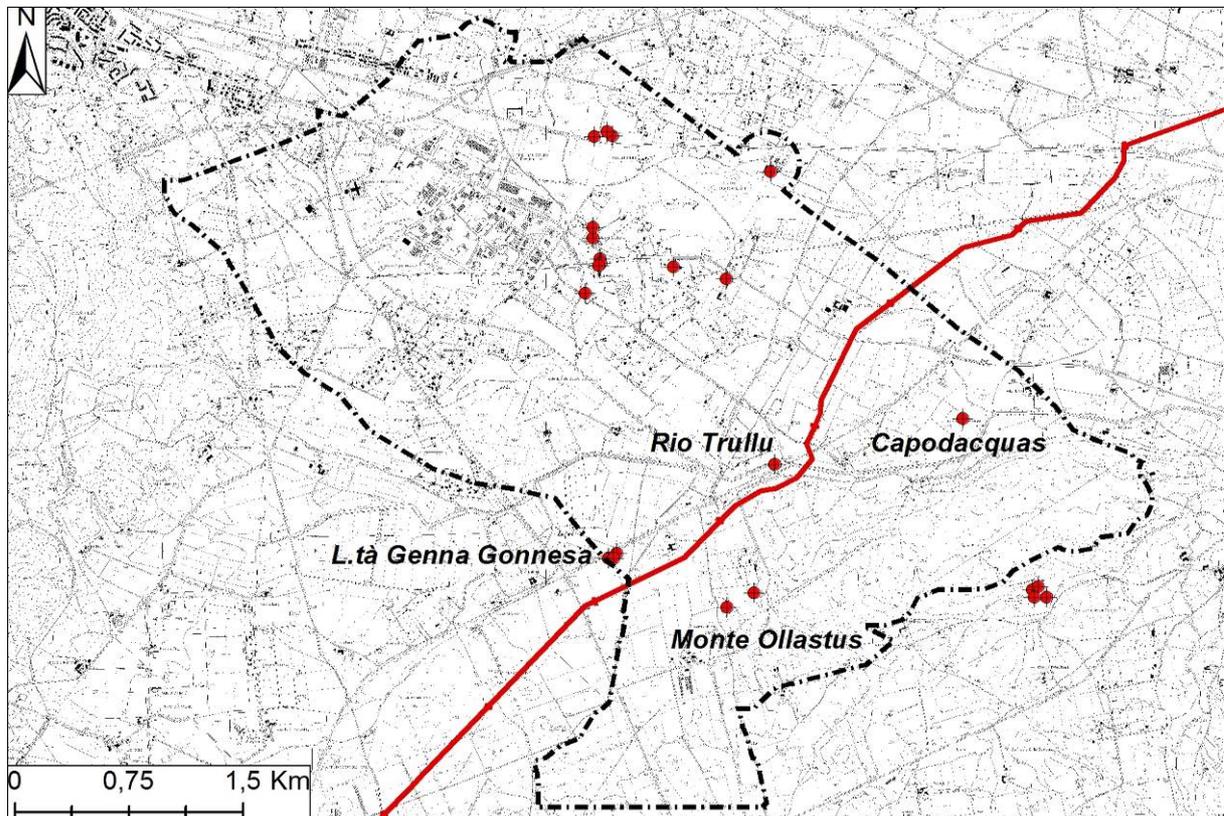


Fig. 20 Planimetria con l'ubicazione dei Sinkhole nell'area di interesse.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 36 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

Localita' Genna Gonnese

Caratteristiche è ubicazione dei "sinkhole" pubblicati nel database ISPRA:

Sinkhole Rio Cixerri 1

Coordinate	Latitudine: 31°16'21"
	Longitudine: 8°35'17"
Quota (m s.l.m.)	130
Data formazione	Tatto da Balia et Alii 2001
Diametro (m)	18
Profondità (m)	15

Sinkhole Rio Cixerri 2

Coordinate	Latitudine: 31°16'20"
	Longitudine: 8°35'14"
Quota (m s.l.m.)	130
Data formazione	Sinkhole formatosi a 200 metri dal primo
Diametro (m)	18
Profondità (m)	15

Sinkhole Rio Cixerri 3

Coordinate	Latitudine: 31°16'20"
	Longitudine: 8°35'16"
Quota (m s.l.m.)	130
Data formazione	Sinkhole formatosi a 200 metri dal primo
Diametro (m)	18
Profondità (m)	15



Fig. 21 Sinkhole nell'area di Genna Gonnese (Rio Cixerri 1) (fonte ISPRA).

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 37 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024



Fig. 22 Sinkhole nell'area di Genna Gonnese (Rio Cixerri 2) (fonte ISPRA).



Fig. 23 Sinkhole nell'area di Genna Gonnese (Rio Cixerri 3) (fonte ISPRA).

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 38 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

Localita' Capodacquas

Caratteristiche e ubicazione dei sinkhole:

Coordinate	Latitudine: 39°16'51"
	Longitudine: 8°36'51"
Quota (m s.l.m.)	115
Data formazione	Dpo il 1950
Diametro (m)	-
Profondità (m)	-

Localita' Monte Ollastus

Caratteristiche e ubicazione dei sinkhole:

Coordinate	Latitudine: 39°16'90"
	Longitudine: 8°35'47"
Quota (m s.l.m.)	136
Data formazione	Presente su IGM prima degli anni 1950
Diametro (m)	40
Profondità (m)	-

Un secondo fenomeno gravitativo è stato rilevato in questa località nel 2008 durante i rilievi di dettaglio inerenti la progettazione di una infrastruttura a rete ad una distanza di circa 200 metri da quello censito dell'ISPRA, lo stesso è riportato nella planimetria in Fig. 20.



Fig. 24 Sinkhole presso località Capodacquas, panoramica e particolare (foto di repertorio).

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 39 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

5 INDAGINI E STUDI DI DETTAGLIO

Come indicato dal D.G.13/22 del 4.3.20080020 ai fini del superamento dei vincoli delle aree comprese nel perimetro delle aree a pericolosità di frana di cui alla cartografia allegata al P.A.I. dovrà essere dimostrata, con ragionevole certezza, ricorrendo ad opportune indagini e studi di dettaglio, l'assenza del rischio di fenomeni gravitativi denominati sinkhole sulle aree sulle quali sono previsti gli interventi di cui all'art. 31 comma 8 delle N.A. del P.A.I.

Le aree da investigare dovranno essere oltre a quelle direttamente interessate dal tracciato, anche quelle ad essa pertinenti e quelle necessarie per l'utilizzo dell'area stessa ove le medesime non siano già state investigate.

5.1 Indagine geolitologica di dettaglio

L'indagine ha avuto come obiettivi l'approfondimento della conoscenza geologica dell'area e l'individuazione di eventuali criticità, con particolare riguardo per la presenza di sinkhole, come richiesto dall'allegato A alla delibera n.9 del 30.6.2008, Protocollo "tipo" di cui all'art. 31 c.8 delle N.A. P.A.I. – Indicazioni per le indagini e studi da effettuare nelle zone mappate a pericolosità di frana per fenomeni di sinkhole.

5.1.1 Rilievo di dettaglio

Dati rilievo:

- area indagata: è stata indagata una superficie di 3,47 kmq, lungo il tracciato del metanodotto considerando un buffer di 500 m lineari per parte in asse tracciato;
- scala di restituzione: prossima al tracciato del metanodotto 1:2.000; area vasta 1:5.000;
- base topografica: è stata ricavata dall'interpolazione dei dati plano-altimetrici ottenuti dal DTM passo 1m (aree interne della RAS) e da quelli derivanti dal DTM ottenuti dal volo con drone realizzato lungo il tracciato di seguito descritto;
- formazioni e unità litostratigrafiche studiate:

Paleozoico

Formazione di Nebida – Membro di Punta Manna (NEB2) – Cambriano inferiore (Atdabaniano).

Formazione di Gonnese – Membro della Dolomia rigata (GNN1) – Cambriano inferiore (all'Atdabaniano superiore – Laniano medio).

Terziario

Formazione del Cixerri - Eocene Medio – Oligocene.

Quaternario

Depositi alluvionali olocenici talora terrazzati (bn) – Olocene.

Coltri eluvio-colluviali (b2) – Olocene.

Depositi degli alvei attuali (b) – Olocene.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 40 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

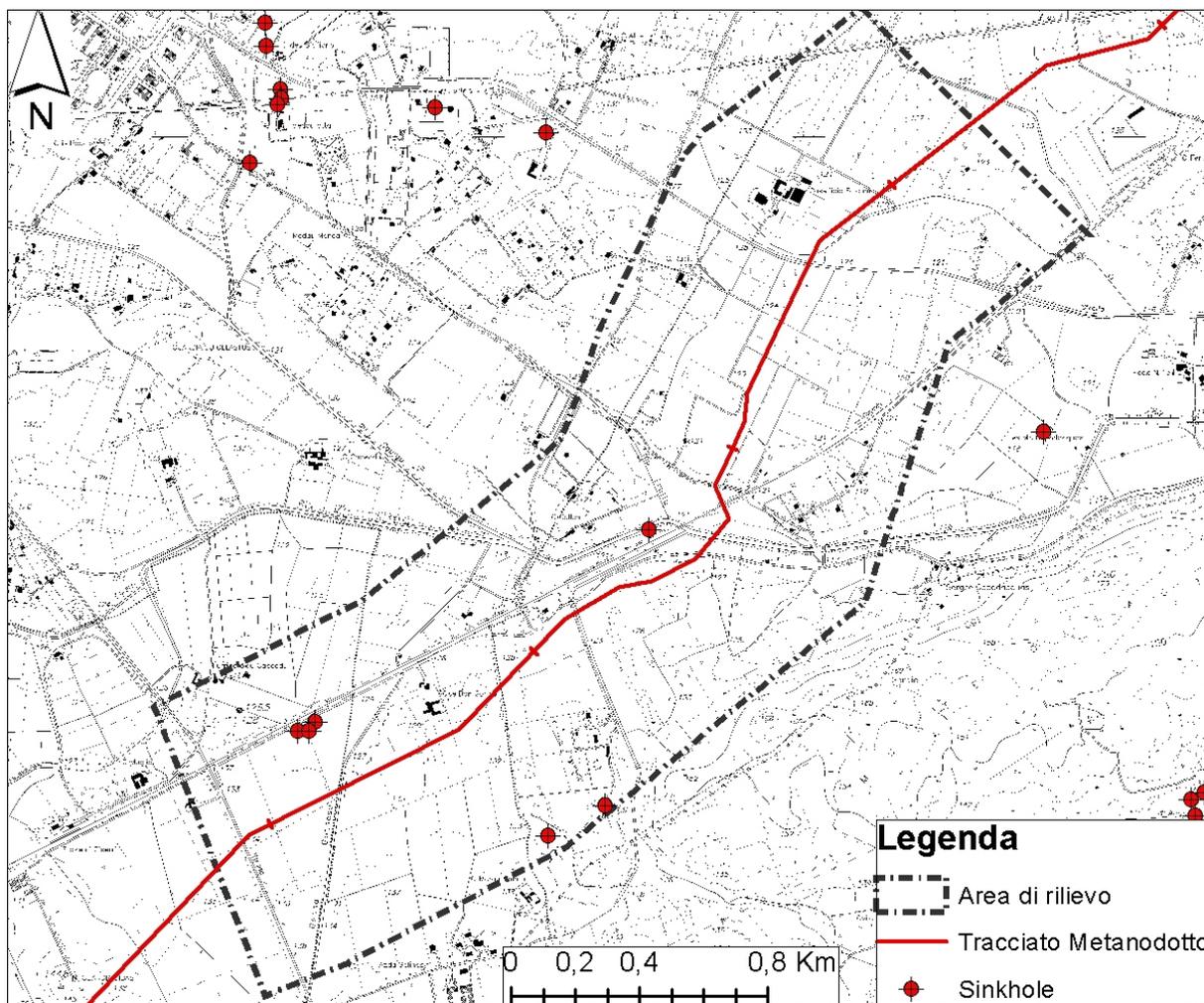


Fig. 25 Planimetria dell'area interessata dal rilievo geologico di dettaglio.

Analisi dell'area rilevata:

La zona rilevata si presenta per la massima parte pianeggiante o leggermente collinare, con modeste variazioni di quota. Le zone depresse coincidono con la piana alluvionale del Rio Cixerri e dei suoi affluenti minori. Queste zone sono interessate dalla presenza dei depositi alluvionali recenti (**ba**). Si tratta dell'insieme di sedimenti eterometrici e poligenici di ambiente essenzialmente fluvio-torrentizio dell'attuale rete drenante naturale, formati da un eterogeneo insieme di facies ghiaiose da grossolane a medie, derivanti dallo smantellamento della sottostante F. ne. del Cixerri e/o dai rilievi bordieri di età paleozoica.

Il quadrante SW dell'area in esame è interessato dalla presenza predominante di depositi alluvionali terrazzati (**bna**), i quali danno origine a una morfologia leggermente ondulata. Sono costituiti prevalentemente da ghiaie a stratificazione incrociata concava, alternate a ghiaie a stratificazione piano parallela, anche con matrice sabbioso limosa; hanno un discreto grado di addensamento dovuto in parte all'embricatura dei ciottoli e uno spessore di

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 41 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

circa 5-6 m; costituiscono, in genere, ampie conoidi che dai rilievi bordieri delle piane si estendono in direzione degli assi di queste ultime come nel caso in studio della Piana del Cixerri.

Nelle aree depresse si sono impostate diffuse coltri eluvio-colluviali (**b2**), di spessore variabile compreso tra 1-2 m; si tratta di sedimenti sabbiosi limo-argillosi con diffuso scheletro clastico da poco a moderatamente addensati, di colore da beige a giallo ocra; questi derivano dall'alterazione, chimico-fisica, in loco della F.ne. del Cixerri e/o dal dilavamento per ruscellamento della stessa o delle litologie paleozoiche limitrofe.

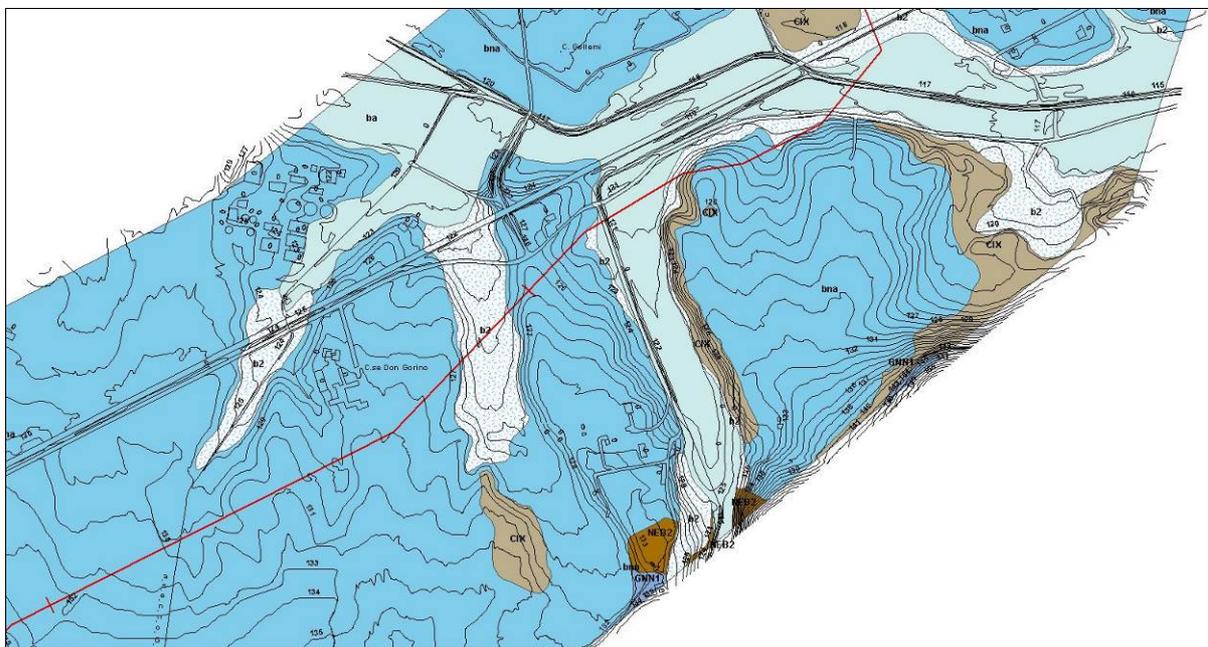


Fig. 26 Settore centro meridionale dell'area di rilievo, dove si riscontra l'affioramento della F. ne. del Cixerri e delle due formazioni paleozoiche di Nebida e Gonnesa.

Il quadrante centrale è caratterizzato dall'affioramento della F.ne. del Cixerri, che tende generalmente a formare delle piccole colline e/o dorsali; è costituita da alternanze metriche di arenarie, conglomerati, marne ed argille siltose. Nell'area in studio affiorano i termini arenacei e conglomeratici in giacitura sub-orizzontale che si trovano in gran parte ricoperti dai depositi alluvionali terrazzati (**bna**) di età olocenica; nell'area di rilievo, lo spessore di questa formazione, valutato indirettamente da alcuni sondaggi è compreso tra 20-30 m, anche se localmente le formazioni paleozoiche sottostanti si rinvergono in affioramento. Sempre nel settore centrale ai margini dell'area di rilevamento affiorano anche delle formazioni di Nebida (NEB) e di Gonnesa (GNN). Quest'ultima, di grande interesse per via dei fenomeni carsici che portano alla formazione dei sinkhole, affiora in alcuni punti a contatto con la F.ne. del Cixerri, che la ricopre.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 42 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

Nel quadrante NE della carta si osserva un maggiore affioramento dei depositi della F.ne. del Cixerri, che emergono in corrispondenza degli alti topografici; ciò nonostante anche in questo settore prevalgono le coperture quaternarie delle alluvioni terrazzate (**bna**) e coltri eluvio-colluviali oloceniche (**b2**) che ricoprono con una coltre più o meno spessa la successione eocenica del Cixerri.

Analisi delle aree a sinkhole:

Durante il rilevamento è stata condotta la verifica delle aree interessate in passato da fenomeni di sprofondamento, inoltre è stata verificata, lungo il tracciato del metanodotto e in un'area ad esso addicente, la presenza di nuovi sprofondamenti o aree potenzialmente pericolose che possano evolversi in sinkhole.

Le aree colpite dagli eventi passati, limitrofi al tracciato del metanodotto, non mostrano allo stato attuale segni che possano presagire una loro riattivazione.

In località Genna Gonnese in prossimità dei n.3 sinkhole censiti, è stata invece individuata, nel corso delle indagini, una depressione del terreno dell'ordine di poche decine di centimetri, e dal diametro di circa 3-4 m. La depressione, coperta dalla vegetazione, è resa visibile oltre che dal lieve sprofondamento anche da tutta una serie di profonde fratture concentriche del terreno circostante. L'area interessata dal potenziale sprofondamento si trova a una distanza di 48 m dai sinkhole censiti e a oltre 200 m dal tracciato del metanodotto.

La potenziale area di sprofondamento è stata oggetto di un'approfondita campagna di indagini geofisiche i cui risultati sono illustrati nei capitoli successivi.



Fig. 27 Profonde crepe concentriche nell'area di potenziale sprofondamento.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 43 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024



Fig. 28 Ubicazione del potenziale sprofondamento rispetto ai tre sinkhole censiti in località Genna Gonnese e rispetto la tracciato del metanodotto da cui dista oltre 200 m.

5.2 Indagine Geofisica

Per tutto il tratto del tracciato del metanodotto compreso tra le progressive chilometriche 22+835 e 25+755, ricadente in area definita nel Piano di Assetto Idrogeologico a "Pericolosità da frana "Sinkhole", sono state realizzate delle indagini indirette con metodologie geofisiche, con l'obiettivo di avere indicazioni sull'assetto geologico del tratto di interesse che, come visto innanzi, è caratterizzato da una notevole variabilità litologica sia nei terreni di copertura terziario-quadernari, che nel substrato paleozoico. Essendo la finalità principale del presente studio l'individuazione di eventuali situazioni di incipiente collasso per fenomeni di sinkhole, particolare attenzione è stata posta nella programmazione ed esecuzione delle indagini geofisiche alla percezione delle anomalie riscontrate nei parametri analizzati.

In tal senso, come già innanzi descritto, quale che sia la dinamica che determina l'instaurarsi di condizioni di instabilità da sinkhole, il processo vede sempre la formazione di aree di dilavamento sotterraneo (perlomeno dove sono presenti delle spesse coperture sul substrato carsificato, come nel tratto di interesse) che, con il procedere del processo, arriva a creare fenomeni di subsidenza e, nei casi più critici, la formazione di cavità determinanti condizioni di pericolo da crollo.

Le indagini quindi, sono state finalizzate alla ricostruzione della stratigrafia litologica lungo tutto il tracciato del tratto interessato da pericolosità da sinkhole e, soprattutto, alla individuazione di eventuali zone interessate dai fenomeni di sprofondamento in fase attiva o di incipiente attivazione. L'ipotesi in tal caso è che nel sottosuolo siano presenti delle cavità, o delle zone interessate da intensa erosione sotterranea, tale da determinare la nascita di "anomalie" geofisiche misurabili.

In linea generale, le metodologie geofisiche utilizzate per lo scopo sono di vario tipo e si basano sulla misura in superficie o in foro di sondaggio di alcune proprietà fisiche dei terreni,

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 44 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

quali la densità (gravimetria), la suscettività magnetica (indagini magnetiche), le caratteristiche elastiche dinamiche (indagini sismiche), i caratteri di resistività e caricabilità elettrica (indagini geoelettriche). In ogni caso l'interpretazione dei modelli geofisici del sottosuolo è sempre caratterizzata da alcune incertezze, che possono essere ridotte adottando più metodologie integrate, come prescritto anche dalle norme di attuazione PAI.

Nel caso di specie, si è scelto di effettuare indagini geoelettriche, adatte a fornire indicazioni sull'assetto litologico nei circa 3000 m del tratto investigato e all'individuazione di anomalie localizzate che possano essere indizio della presenza di vuoti. Ad integrazione del metodo geoelettrico sono state eseguite delle indagini sismiche a rifrazione con elaborazione tomografica, capace di fornire indicazioni sulle caratteristiche elastico-dinamiche dei terreni presenti nel sottosuolo.

5.2.1 Metodologia e pianificazione delle indagini

Per le indagini geoelettriche sono stati eseguiti stendimenti multielettrodi tra loro paralleli in numero di cinque, uno di essi coincidente con l'asse del metanodotto e gli altri ad esso latitanti, a 3.0 m e a 6.0 m, comprendendo quindi una fascia complessiva di circa 12.0 m. Per un tratto della lunghezza di 700 m, le distanze tra i profili sono state portate a 5.0 m, investigando una fascia con larghezza di 20.0 m. Lo schema geometrico degli stendimenti adottato, ha consentito, oltre all'investigazione ridondante delle misure, l'elaborazione di un modello tridimensionale delle resistività a cui si è giunti mediante un'inversione 3D dei dati, accorpata in un unico blocco volumetrico, compreso tra la fascia alla superficie del suolo e, in genere, fino a 45-50 m di profondità.

Le indagini di sismica a rifrazione sono state realizzate in asse tracciato, in genere sulla stessa linea centrale delle misure geoelettriche di resistività. Queste sono state eseguite con l'ausilio di sensori geofonici spazati di 5.0 m; hanno fornito soprattutto informazioni di carattere elastico-dinamico, quindi sugli aspetti geomeccanici degli orizzonti geolitologici presenti.

E' noto che i siti interessati dalla presenza di sinkhole (fenomeno già avvenuto) o di incipiente attivazione, forniscono risposte geofisiche differenti in funzione dell'assetto litostratigrafico e soprattutto idraulico del contesto in cui si opera. Al fine di tentare una caratterizzazione della risposta elettrica nell'area di interesse, è stato realizzato uno stendimento multielettrodi con lunghezza di 200 m lungo un'area interessata in passato da fenomeni di sprofondamento (Località Genna-Gonnesa) e distante circa 210 dal tracciato dal metanodotto in progetto; qui, nel tratto centrale dello stendimento, sono presenti delle lievi depressioni del terreno, mentre i fenomeni pregressi ricadono nella seconda metà dello stendimento.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 45 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

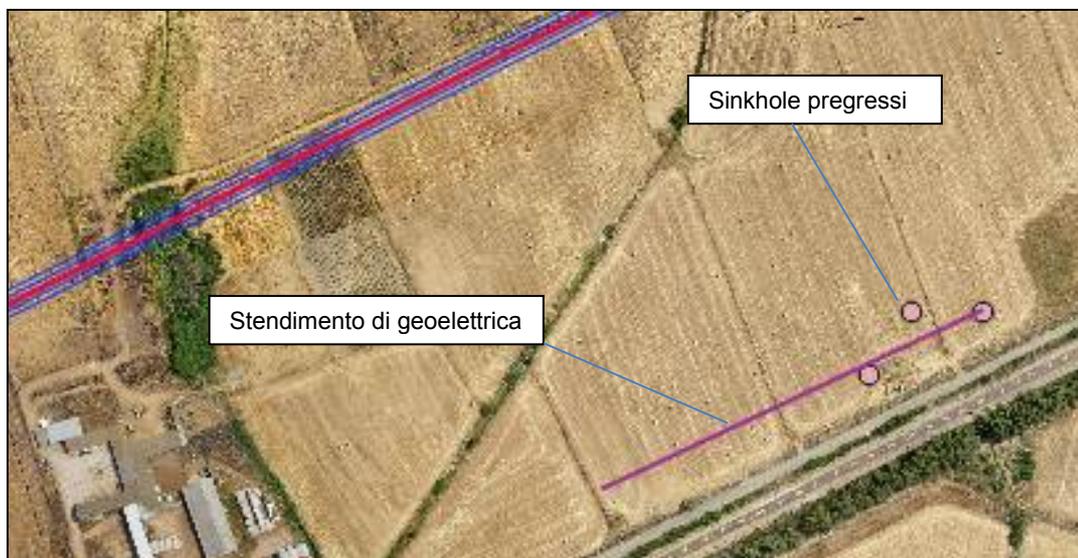


Fig. 29 Stendimento per l'indagine geoelettrica nell'area del potenziale sprofondamento.

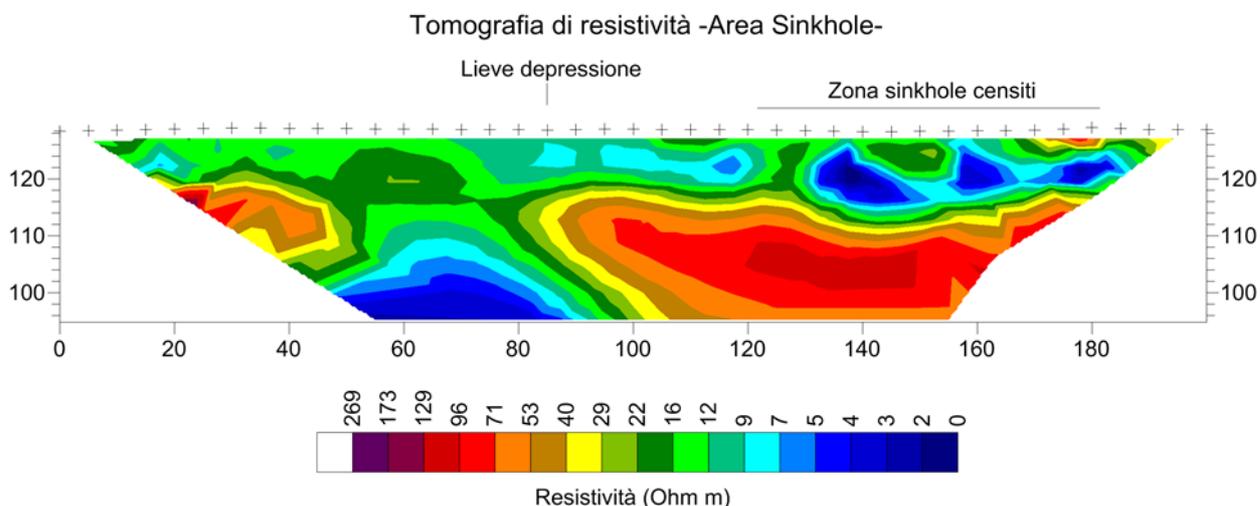


Fig. 30 Ubicazione e modello tomografico di resistività in zona soggetta a sinkhole.

I valori di resistività elettrica reale, calcolati a partire dalle resistività apparenti misurati sullo stendimento, mostrano anomalie basso-resistive nella parte più superficiale nella zona in cui sono avvenuti gli sprofondamenti, evidentemente colmati da terreno prevalentemente fine. Tali anomalie giacciono su un orizzonte a resistività nettamente più elevata, forse interessata da fenomeni di erosione sotterranea, con valori compresi tra 50 e 100 Ω m. In corrispondenza della lieve depressione, coincidente con la parte centrale dello stendimento non si rilevano particolari anomalie; le resistività sono comprese tra 8 e 20 Ω m nella zona più superficiale, mentre in profondità si osserva la chiusura dell'orizzonte alto-resistivo, con un suo leggero sollevamento.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 46 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

Gli stendimenti sia geoelettrici che sismici a rifrazione, a causa della presenza di ostacoli (strade, canali e sede ferroviaria), sono stati eseguiti, procedendo da Est verso Ovest (in senso gas tra le progressive 22+835 e 25+755), in n.6 tratti distinti tra essi continui (A, B, C, D, E e F).

5.2.2 Indagini geoelettriche

Le misure di resistività apparenti in campagna sono state realizzate mediante un georesistivimetro, a quattro canali con isolamento galvanico, di costruzione ABEM modello Terrameter LS, per misure di resistività, polarizzazione indotta e potenziale spontaneo, con le seguenti caratteristiche:

- Selezione automatica o manuale della corrente immessa: da 0.20 fino a 2500 mA;
- Energizzazione con tensione max: 600 V (1200 V peak-peak);
- Potenza max: 250 W;
- Accuratezza della trasmissione di corrente: 0.4 %;
- Lunghezza dell'impulso di corrente: 0.1 %;
- Impedenza: 30 MΩ, min;
- Risoluzione: 3 nV;
- Accuratezza dV/I: 0.2 %;
- Precisione dV/I: 0.1 %.

Per eseguire le misure in configurazione multielettrodica il sistema è fornito di un selettore automatico, capace della gestione contemporanea di 81 elettrodi. Gli elettrodi infissi nel terreno, in acciaio inox, sono stati connessi al selettore tramite cavi multicore.



Fig. 31 Georesistivimetro Abem Terrameter LS in fase di acquisizione.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 47 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

5.2.3 Descrizione del metodo di indagine

Il metodo geoelettrico si basa sulla misura della resistenza elettrica opposta dal terreno al passaggio di una corrente elettrica appositamente prodotta mediante l'ausilio di un apparato energizzante che invia corrente con una certa potenza ad appositi elettrodi infissi nel terreno. Il potenziale elettrico generato dal campo così prodotto, viene misurato utilizzando altre coppie di elettrodi mediante l'uso di un potenziometro di alta precisione. Conoscendo la posizione degli elettrodi di corrente rispetto a quelli in cui viene misurata la differenza di potenziale (elettrodi di potenziale) sarà possibile calcolare la resistività apparente del terreno. Nel metodo multielettrodico si dispone di un certo numero di elettrodi che vengono alternativamente utilizzati sia come elettrodi di corrente che come elettrodi di potenziale, in maniera da ottenere un elevato numero di misure di resistività disposte lungo un allineamento in varie posizioni e profondità, in maniera da ottenete dei profili di resistività apparenti. Nel nostro caso, sono state realizzate stese elettrodiche costituite da un numero di elettrodi tale da coprire le distanze da indagare, con distanza elettrodica di 5.0 m. La disposizione multielettrodica ha permesso, in fase di elaborazione, di operare a software al fine del calcolo delle resistività reali di ogni singola stesa elettrodica (inversione 2D). Nei tratti investigati con le cinque sezioni parallele, inoltre, l'accorpamento dei dati in un unico volume, ha consentito di operare un'unica inversione tridimensionale (inversione 3D).

5.2.4 Elaborazione

Il passaggio dai valori di resistività apparente, misurati in campagna, a modelli bi-dimensionali e 3D di resistività reale del terreno, è stato eseguito tramite l'inversione dei dati utilizzando appositi software (RES2DINV e RES3DINV). L'inversione consiste nel produrre dei modelli di resistività reale ipotetici su cui vengono calcolati dei valori sintetici di resistività apparenti in relazione al tipo di array utilizzato. I valori calcolati sono confrontati, in cicli iterativi, con quelli misurati, fino a che l'errore può essere considerato minimo. Quindi, il modello finale di resistività reale, sarà quello che produce resistività apparenti calcolate che più si avvicinano a quelle misurate. Più la sezione di resistività apparenti calcolate si avvicina a quella delle resistività misurate, migliore sarà l'attendibilità del modello di resistività reale finale. Il processo di inversione non ha comunque soluzioni univoche. Al fine di migliorarne il risultato è opportuno tenere conto del contesto di indagine, adottando dei vincoli che l'algoritmo può supportare al fine di ridurre l'incertezza del processo di elaborazione. Nel nostro caso si è scelto di adottare processi di inversione che prevedano variazioni graduali di resistività, in maniera da tenere conto e rilevare le variazioni litologiche nei terreni che, come visto, sono caratterizzati da una notevole variazione sia laterale che verticale, soprattutto nella presenza della componente pelitica, che influisce molto sui caratteri di conducibilità elettrica. Tale soluzione è scaturita da alcuni tentativi di elaborazione, che in prima analisi sono stati effettuati con un metodo di inversione "rubust" (passaggi di resistività netti), in genere più adatto all'individuazione di cavità, ma i modelli risultanti erano caratterizzati da una eccessiva omogeneità. Per cui si è preferito elaborare sia i modelli 2D che l'inversione 3D, attraverso l'ausilio di algoritmi che prevedano passaggi graduali di resistività (I2 norm).

5.2.5 Indagini sismiche a rifrazione

La digitalizzazione dei segnali sismici è stata eseguita attraverso l'uso di sismografi modulari Geometrics Geode a $24 \times 2 = 48$ canali, con conversione analogico-digitale a 24 bit, ad elevata dinamica, avente le seguenti caratteristiche principali:

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 48 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

- Range dinamico: 144 dB di sistema.
- Distorsione: 0.0005 % @ 2.0 ms.
- Banda di acquisizione: 1.75-20.000 Hz.
- Accuratezza trigger: 1/32 del passo di campionamento.
- Impedenza: 20 Kohm.
- Filtri in acquisizione: LowCut: 10, 15, 25, 35, 50, 70, 100, 140, 200, 280, 400 Hz 24/48 dB/Octave, Butterworth. Notch: 50, 60, 180 Hz. HighCut: 32, 64, 125, 250, 500, 1000 Hz 24/48 dB/Octave.
- Intervallo di campionamento: 0.02, 0.03125, 0.0625, 0.125, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 16.0 msec.
- Lunghezza di registrazione: 16.384 campioni.
- Pre-trigger: fino a tutta la lunghezza di registrazione.
- Delay: da 0 a 9999 ms in passi di una lunghezza di intervallo.

Per il rilievo della velocità del moto del suolo (Onde P) sono stati utilizzati geofoni Mark, con frequenza di oscillazione di 10 Hz. Per l'energizzazione è stato usato un cannoncino esploditore di cartucce a salve calibro 8" con energia di picco pari a 150 Kgm e una mazza di 9.0 kg, battente su piattello metallico.



Fig. 32 Sismografi geometrics Geode in fase di acquisizione.

Le basi delle prospezioni sismiche sono state eseguite con una distanza intergeofonica di 5.0 m, utilizzando 48 canali di acquisizione; per i profili aventi lunghezza maggiore di 240 m, sono state adottate traslazioni con sovrapposizione di almeno un terzo della base. Gli stendimenti sono stati realizzati in asse con il metanodotto, coincidenti con le stese centrali

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 49 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

delle linee multielettrodiche delle prospezioni geoelettriche. Il segnale è risultato di buon livello qualitativo.

Elaborazione

I dati acquisiti dall'elaborazione dei sismogrammi costituiscono i primi tempi d'arrivo degli impulsi sismici longitudinali (onde di compressione) ai vari geofoni dello stendimento. Il metodo d'interpretazione utilizzato è stato del tipo tomografico, che ha consentito di evidenziare, in maniera adeguata, le variazioni laterali di velocità. Per l'elaborazione dei dati di campagna è stato utilizzato il software RAYFRACT, adatto per il processing di dati di profili sismici a rifrazione con elevate coperture, che consente di gestire reali contesti geologici. È stata utilizzata la tecnica d'inversione tomografica WET (Wavepath Eikonal Travelttime), che permette il calcolo delle traiettorie dell'onda (wavepath) attraverso le soluzioni alle differenze finite dell'eikonal equation, che esprime la propagazione dell'onda in un mezzo isotropo. Quindi, poiché utilizza le soluzioni di detta equazione, è considerata una tecnica ad alta frequenza, rapida ed efficiente. Per la rappresentazione della propagazione dell'onda la WET utilizza il concetto di "volume di Fresnel", definito come l'insieme delle onde che hanno tempi di percorso differenti per al più mezzo periodo. Attraverso calcoli iterativi viene aggiornato il modello di velocità e vengono ripetuti gli step definiti, fino al raggiungimento della convergenza. Il software determina, tramite l'algoritmo per l'inversione tomografica WET, quella che è la soluzione ottimale. La bontà del modello dipende dalla geometria dello stendimento, dalle distribuzioni di velocità nel sottosuolo, dal numero e dalla posizione dei punti d'energizzazione (shots).

I risultati dell'elaborazione sono presentati in forma grafica in un *Modello di velocità*, che costituisce il risultato ottimale ottenuto, con le velocità delle onde di compressione rappresentate in scale cromatiche comprese tra il minimo ed il massimo valore determinato. Viene anche presentato il modello del *Percorso dei raggi sismici*, che permette di verificare le traiettorie dei raggi sismici e, conseguentemente, la copertura raggiunta. Anche in questo caso la rappresentazione è ottenuta utilizzando una scala cromatica.

Tratto A

L'area ricade in area pianeggiante in zona di affioramento di sottili coltri alluvionali terrazzate giacenti sui depositi della Formazione dello Cixerri. I depositi terrazzati sono ben riconoscibili dai modelli di resistività, dove risultano alto-resistivi rispetto ai terreni sottostanti. Lo spessore è maggiore all'inizio del profilo, dove raggiunge i 5-6 m circa, per poi assottigliarsi verso Ovest fino a chiudersi intorno alla progressiva 400 m. La coltre terrazzata poggia su un orizzonte a resistività relativamente bassa (5-18 Ω m), ascrivibile alla presenza di peliti nettamente prevalenti (argille, argilliti più o meno sititiche). Questo orizzonte si presenta spessore massimo all'inizio della stesa, per ridursi gradualmente verso la parte terminale. La base di questo orizzonte è inclinata verso l'inizio del profilo e delimita un orizzonte a resistività più elevata, con caratteri variazioni laterali di resistività importanti, passando in maniera più o meno graduale da 30-40 Ω m all'inizio del profilo, a 50-70 nella parte terminale. Le variazioni di resistività della zona più profonda, ben si correlano con quelle elastiche; nel modello di velocità risultante dalla sismica a rifrazione si osserva infatti un aumento della velocità delle onde di compressione proprio nella parte terminale profonda del modello, dove supera i 4000 m/sec, associabili a termini prettamente litodi (areniti siltose?). Non si evidenziano anomalie associabili a cavità o crolli di sinkhole progressi.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 50 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

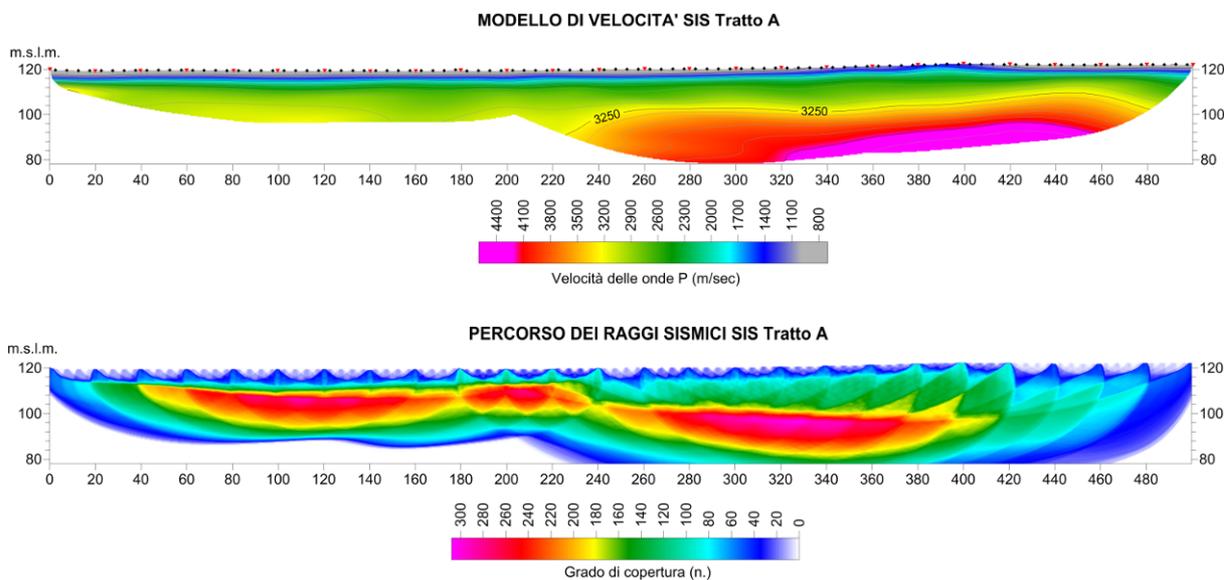


Fig. 33 Modello di velocità SIS tratto A.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 51 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

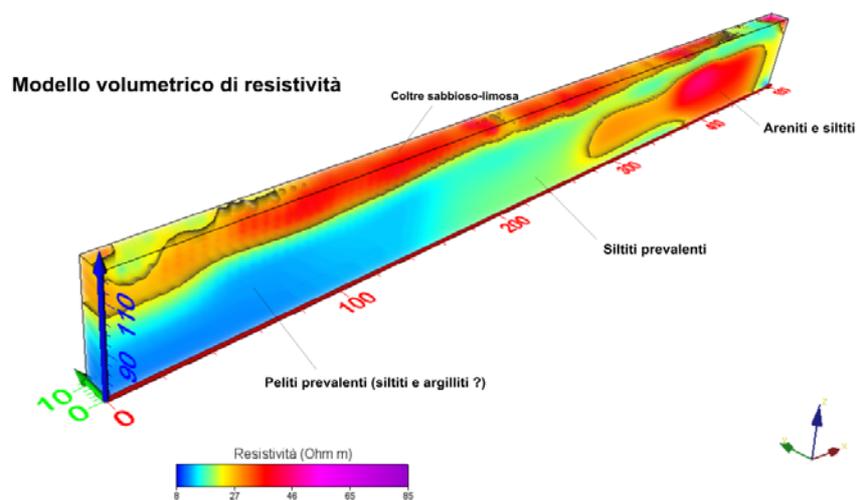
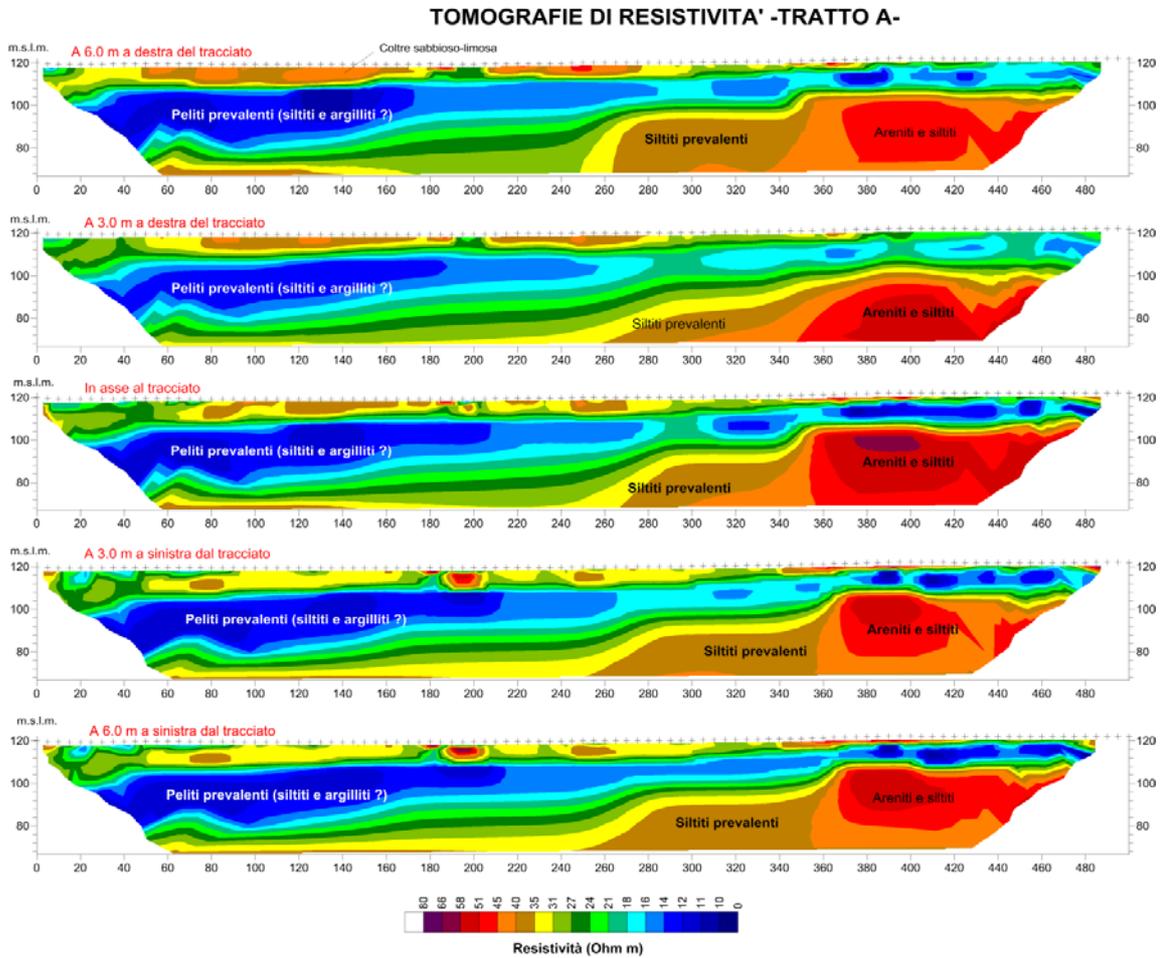


Fig. 34 Tomografia di resistività tratto A.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 52 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

TRATTO B

Il tratto ricade nella prima metà all'interno di un vigneto e nella seconda parte in un bosco rado. Le misure di resistività hanno sofferto la presenza di alcune condotte metalliche nella parte centrale della stesa elettrodica (acquedotto dismesso Capo d'Acqua – Iglesias e alcune tubazioni di impianti irrigui). L'elaborazione della geoelettrica ha richiesto quindi un filtraggio in più passi dei dati. Nei modelli di resistività si riconosce un primo orizzonte alto-resistivo superficiale, ascrivibile a ghiaie sabbiose a luoghi con limo. Nei 700 m di lunghezza del modello prevalgono le zone basso-resistive, associabili ad argilliti, argilliti siltitiche e siltiti. Si osservano degli orizzonti leggermente più alto-resistivi, evidentemente a causa dell'aumento della componente arenitica. Un orizzonte caratterizzato da una certa continuità laterale si rileva nella parte più profonda dei modelli di resistività 2D, intorno ai 45-48 m di profondità, presumibilmente in corrispondenza di un passaggio litologico verso termini più litoidi.

Il modello di velocità delle onde P mostra un gradiente verticale della velocità molto elevato nei primi metri, mentre al di sotto dei 4-5 m si osserva una sostanziale omogeneità sia verticale che laterale. L'assenza di penetrazione dei raggi sismici tra le progressive 400-500 m farebbe supporre una inversione di velocità, tra l'altro visibile tra le progressive 300 e 400 m.

Complessivamente non si osservano anomalie ascrivibili a cavità e/o fenomeni che possano essere indizio di incipienti sprofondamenti.

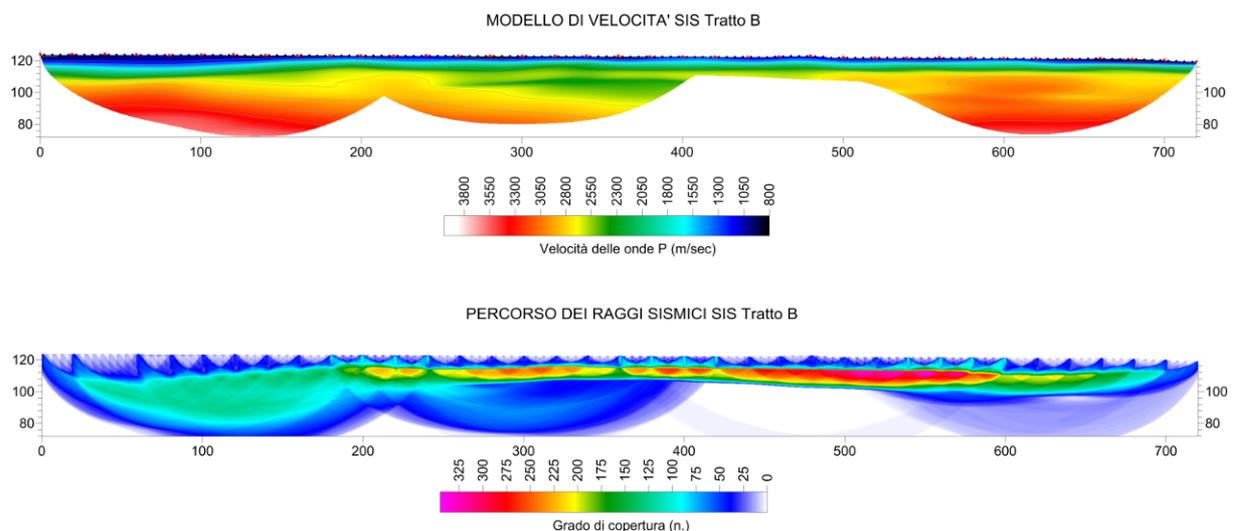
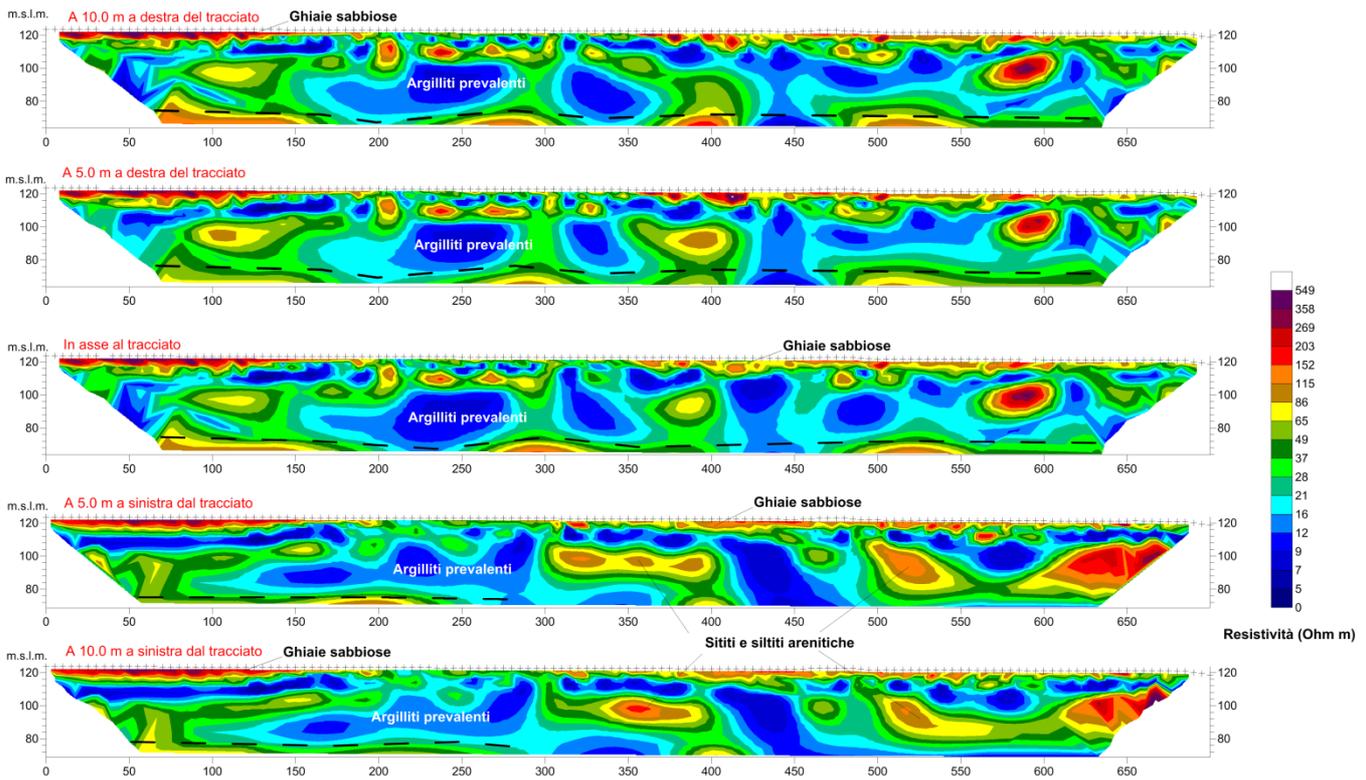


Fig. 35 Modello di velocità SIS tratto B.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 53 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

TOMOGRAFIE DI RESISTIVITA' -TRATTO B-



Modello volumetrico di resistività (da inversione 3D)

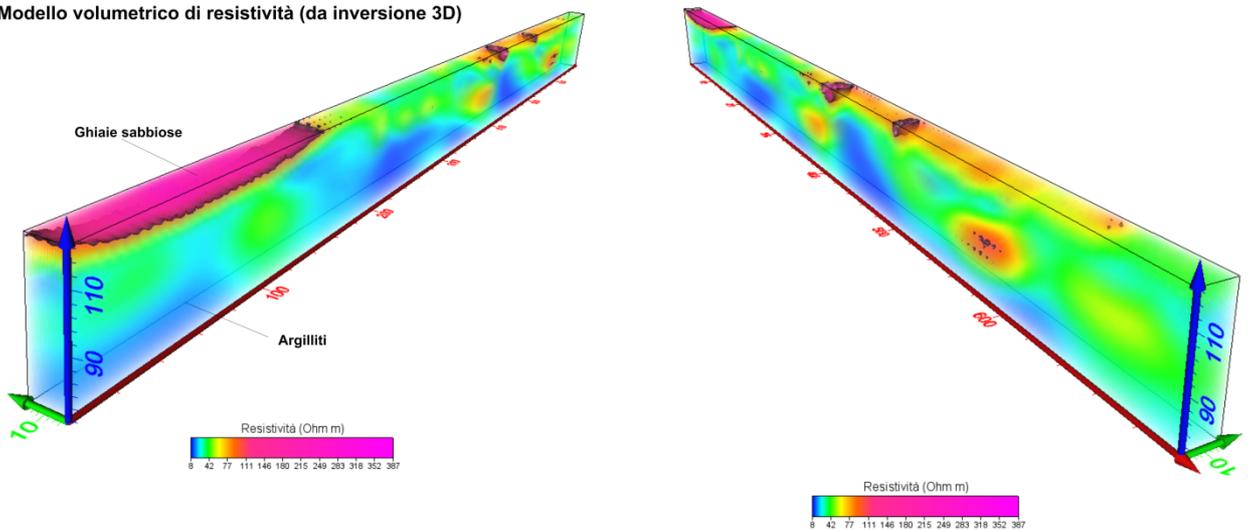


Fig. 36 Tomografia di resistività tratto B.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 54 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

TRATTO C

Riguarda un tratto di circa 100 m, compreso tra un corso d'acqua canalizzato e il rilevato ferroviario. I modelli di resistività indicano la presenza di un primo orizzonte sabbioso-ghiaioso, più resistivo (grossolano) nella zona centrale, poggiate a 6-8 m di profondità su termini prettamente pelitici, con resistività inferiori a 20 Ωm . Un aumento della resistività si riscontra nella parte terminale profonda del modello, con valori di 40-60 Ωm . Considerati i caratteri elastici risultanti dal modello di velocità, i termini più profondi dovrebbero essere le argilliti e siltiti della Formazione dello Cixerri. Non si rinvencono anomalie localizzate attribuibili a cavità sotterranee.

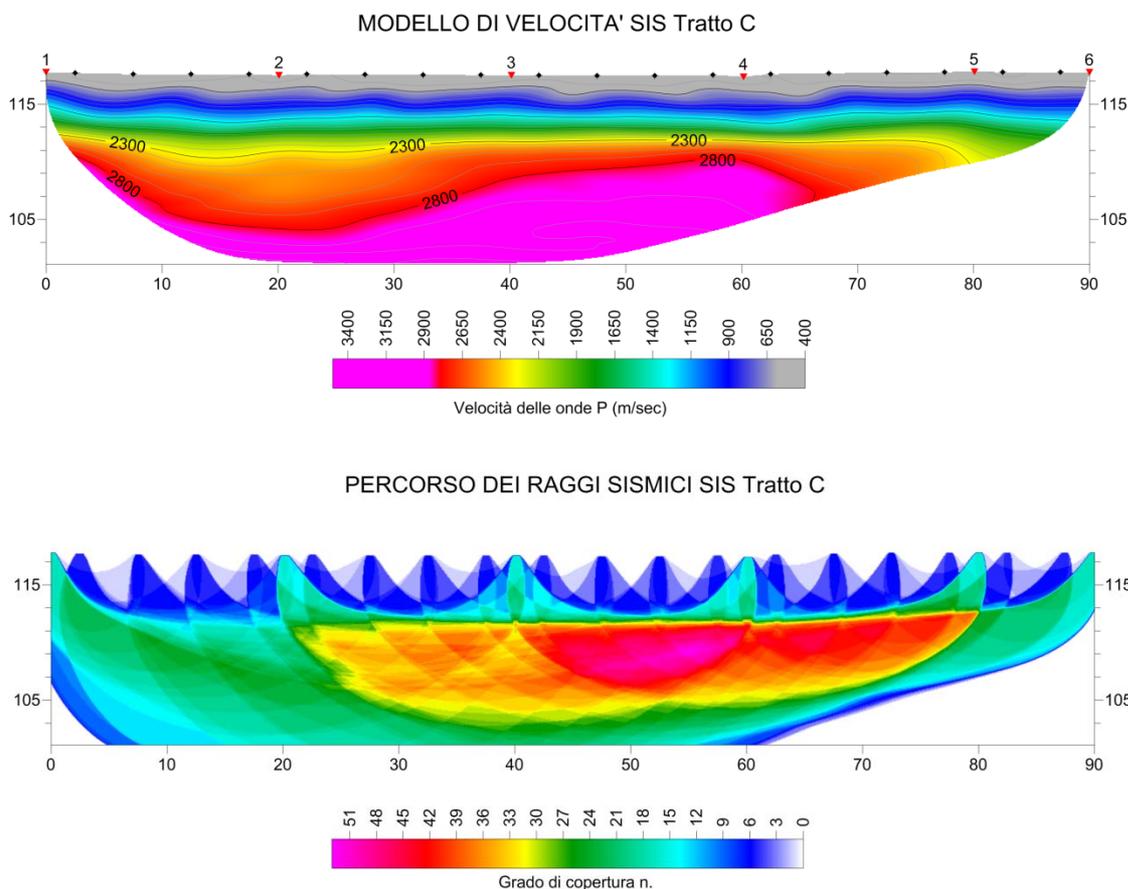
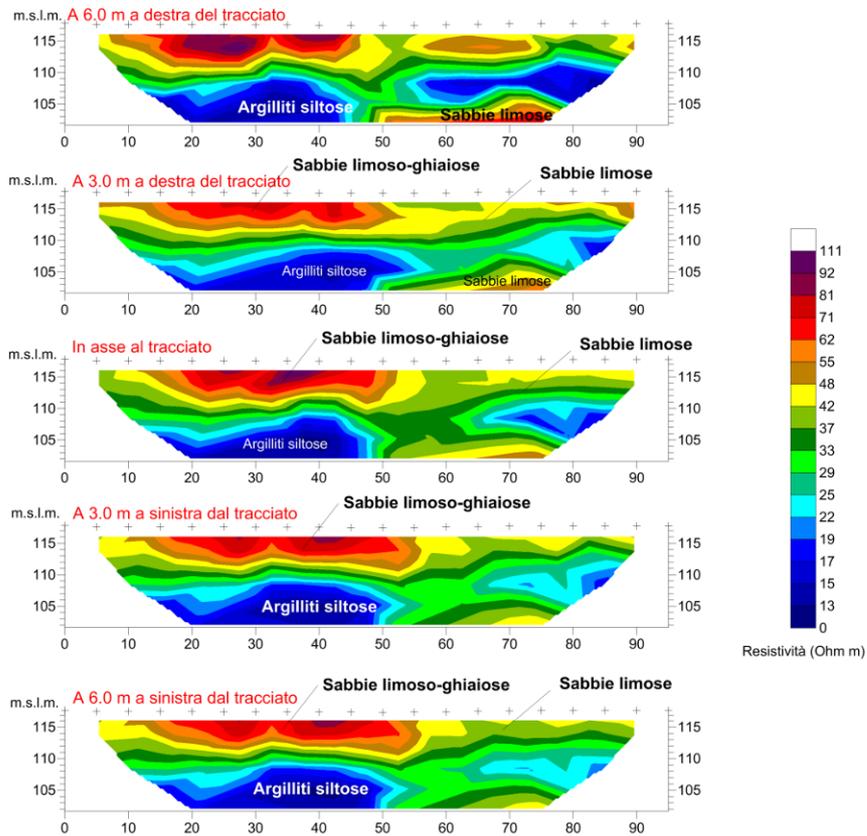


Fig. 37 Modello di velocità SIS tratto C.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 55 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

TOMOGRAFIE DI RESISTIVITA' -TRATTO C-



Modello volumetrico di resistività (da inversione 3D)

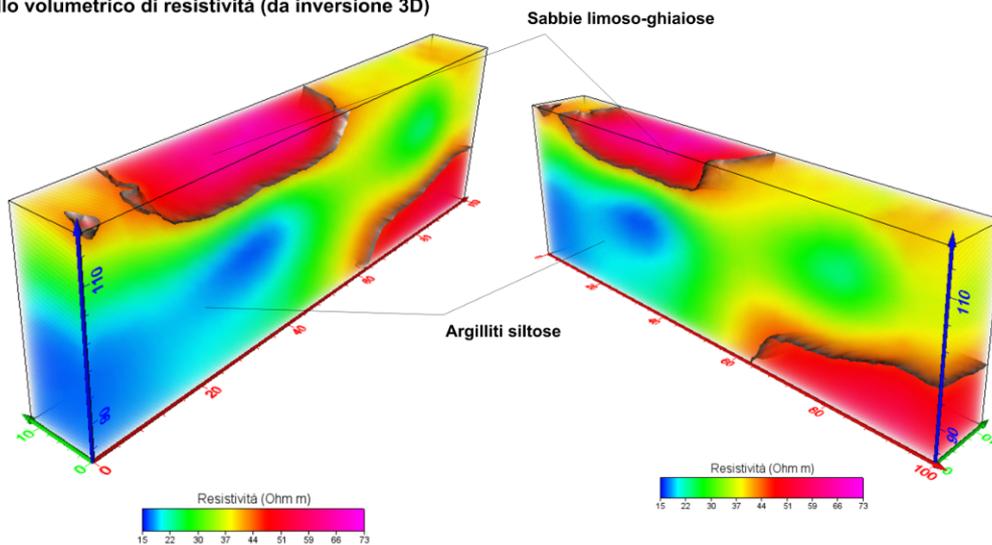


Fig. 38 Tomografia di resistività tratto C.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 56 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

TRATTO D

I modelli di resistività elettrica mostrano l'alternarsi di orizzonti a resistività medio-bassa nei primi 20-25 m di profondità, ascrivibili, viste anche le elevate velocità delle onde di compressione, a termini litoidi da argillitici ad arenaceo-siltitici. Un netto aumento di resistività, con valori superiori a 300 Ω m, si osserva al di sotto dei 25-30 m di profondità, certamente a causa di una variazione litologica, forse in corrispondenza del substrato paleozoico. Non si rinvengono anomalie attribuibili a cavità sotterranee.

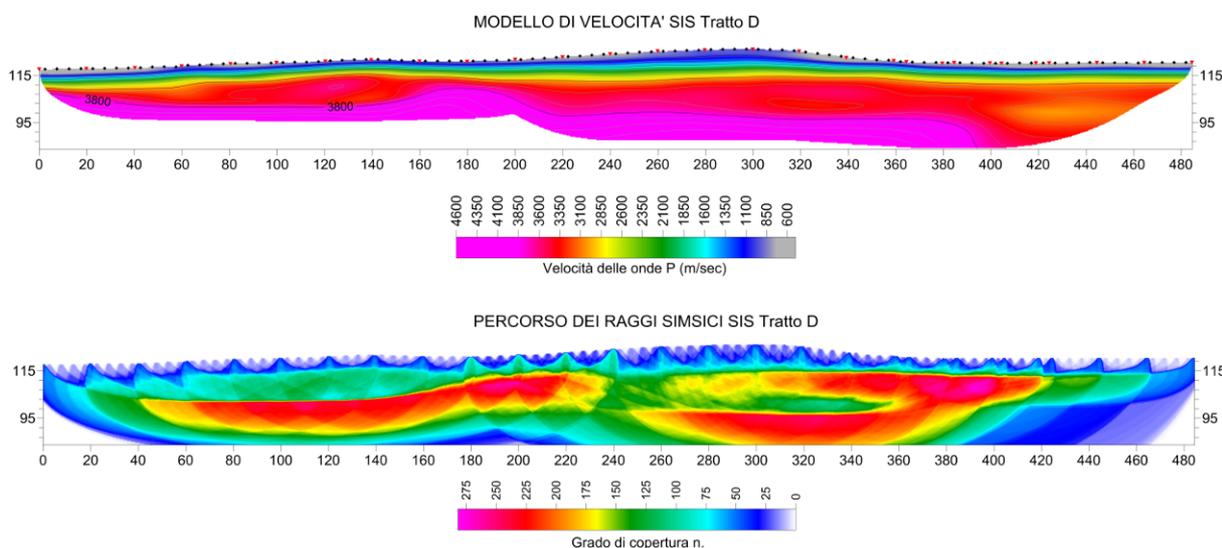
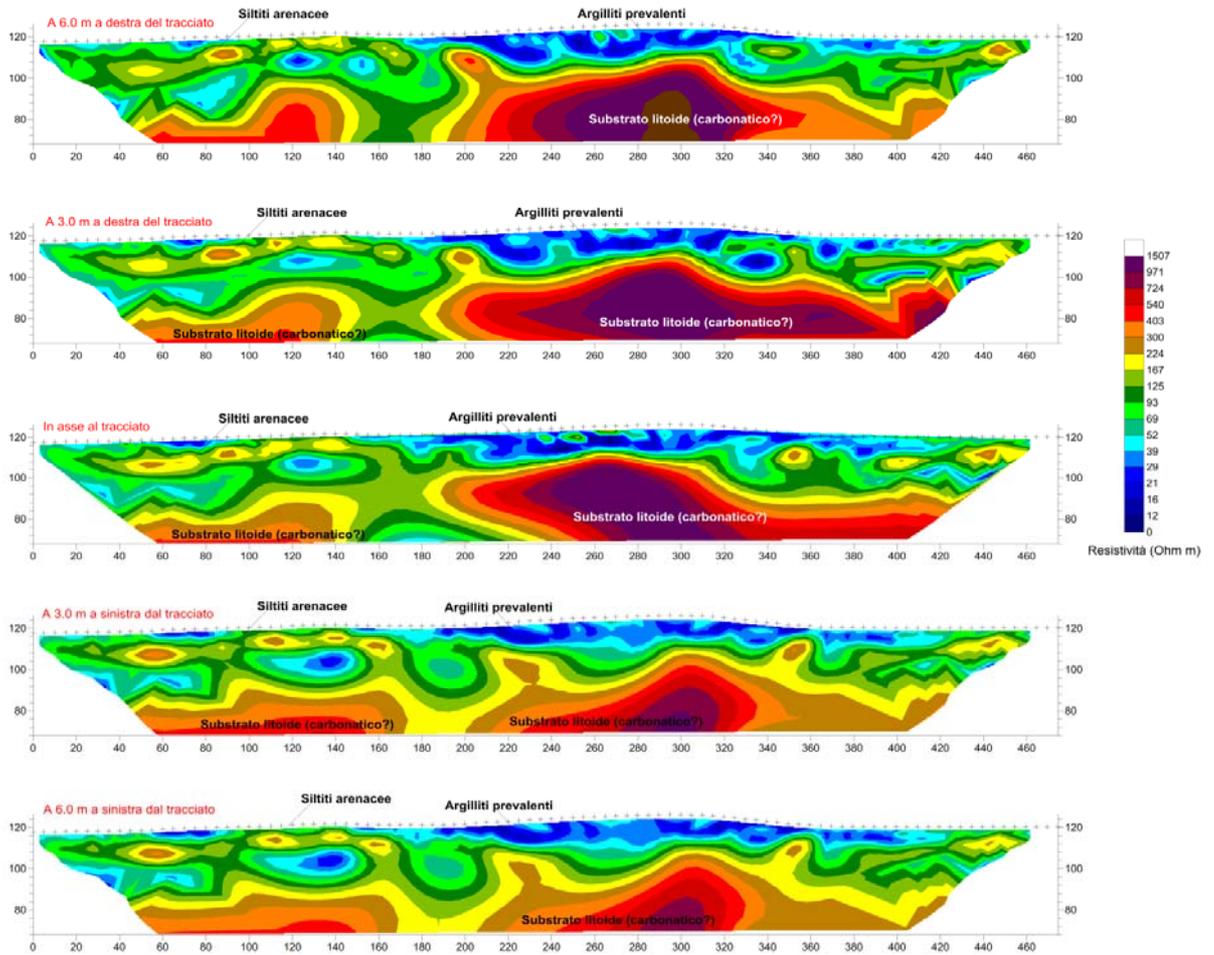


Fig. 39 Modello di velocità SIS tratto D.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 57 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

TOMOGRAFIE DI RESISTIVITA' -TRATTO D-



Modello volumetrico di resistività (da inversione 3D)

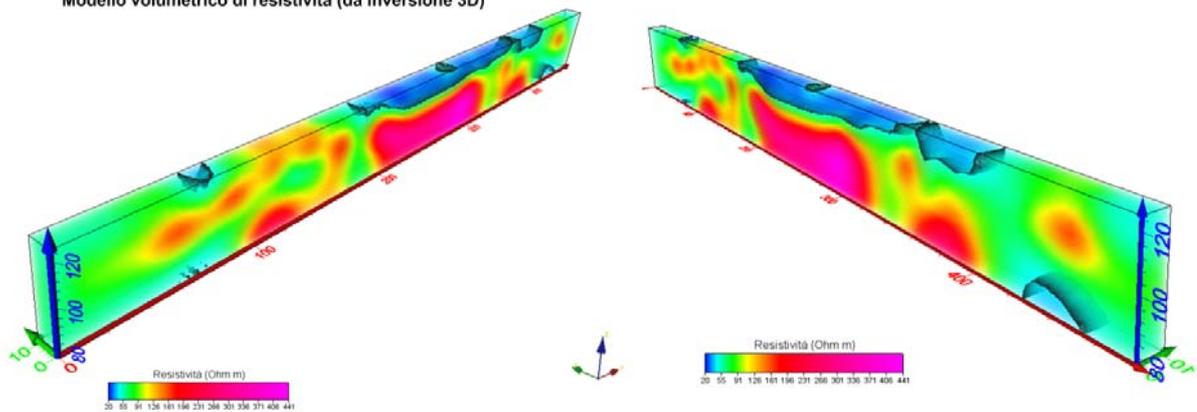


Fig. 40 Tomografia di resistività tratto D.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 58 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

TRATTO E

Il tratto E, di lunghezza pari a 300 m, è stato realizzato all'interno di un campo di grano, compreso tra un alveo canalizzato e un'alberatura frangivento. Nei modelli di resistività si osservano significative variazioni laterali e verticali, indizio del variare delle litologie, tra terreni più pelitici (siltiti più o meno argillose, con valori tra 10 e 60 Ωm) e termini più grossolani e litoidi (areniti siltitiche, con valori di resistività di 60-160 Ωm). Una variazione alto-resistiva, che si correla con l'alta velocità delle onde P da sismica a rifrazione, si osserva nella parte iniziale profonda dei modelli, presumibilmente in corrispondenza di litologie litoidi molto rigide ($V_p > 4000$ m/sec). Nel complesso non si rinvengono anomalie ascrivibili a cavità sotterranee.

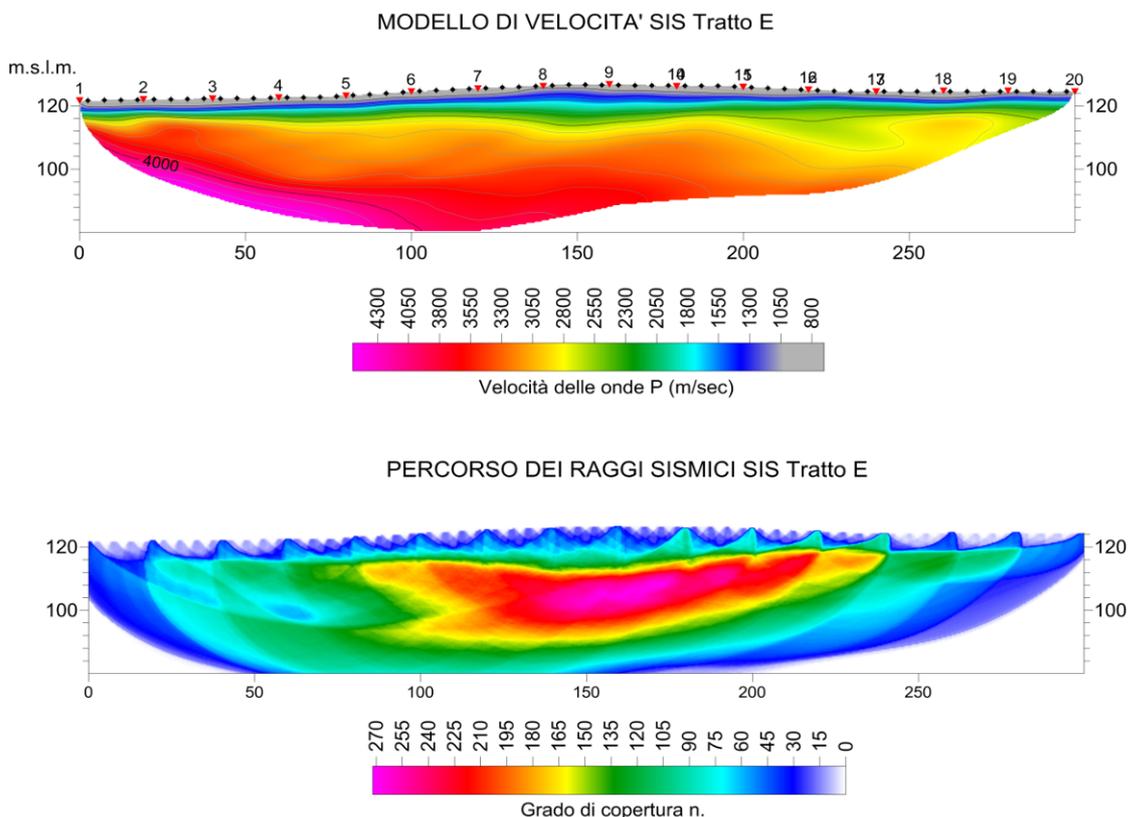


Fig. 41 Modello di velocità SIS tratto E.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 59 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

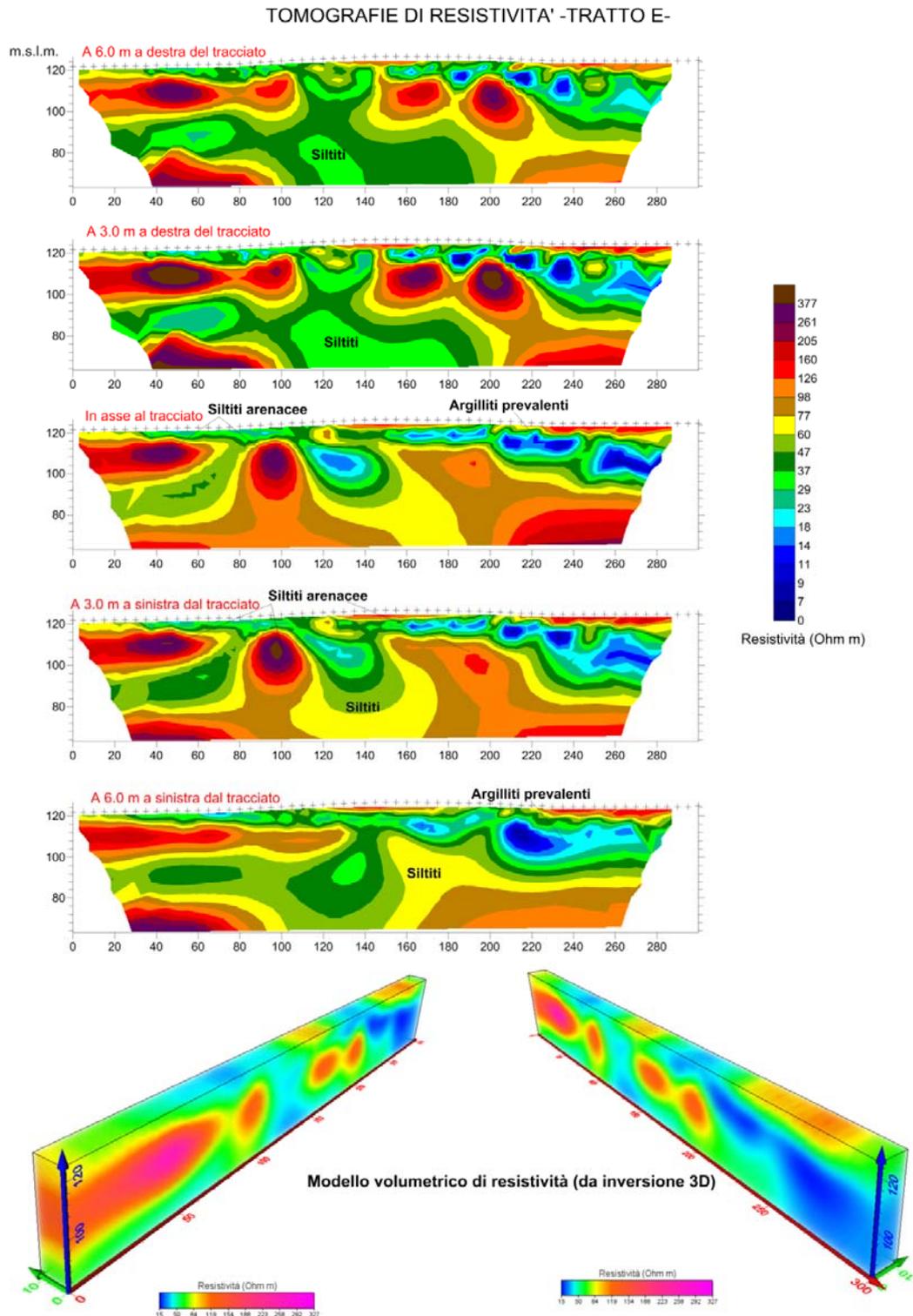


Fig. 42 Tomografia di resistività tratto E.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 60 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

TRATTO F

Ricade nell'ultimo tratto dell'area investigata, con lunghezza di 600 m. La presenza di probabili tubazioni metalliche di impianti irriguo ha causato alcuni dati anomali in fase di acquisizione della parte terminale del profilo, comunque opportunamente filtrati. Nelle tomografie di resistività, si individua un primo orizzonte alto-resistivo superficiale, continuo fino alla progressiva 400 m, ascrivibile ad una copertura sabbioso-limosa, che passa lateralmente, nel tratto terminale, ad argilla limosa. Fino alla progressiva 360 m, si osserva un modello elettrico sostanzialmente stratificato tra orizzonti a resistività compresa tra 10 e 25 Ωm , associabili ad argilliti e siltiti argillose, ed orizzonti con valori della resistenza elettrica specifica leggermente più elevata (25-50 Ωm) legata ad un lieve aumento della componente psammitica (siltiti e siltiti arenacee). Un incremento più netto della resistività elettrica (45-60 Ωm) si osserva intorno ai 40 m di profondità e potrebbe indicare un cambiamento litologico verso termini più litoidi. Nell'ultima parte del profilo si rinviene uno spesso orizzonte basso-resistivo (argille e argilliti) poggiante su litologie lievemente più grossolane (siltiti e siltiti arenitiche). In questa parte del modello i valori calcolati sono soggetti ad incertezza dovuta ai disturbi citati, per quanto i dati elastici risultanti dalla sismica a rifrazione sembrano confortare i dati geoelettrici, con una prima parte interessata da scarsa penetrazione dei raggi sismici dovuta ad inversione di velocità in corrispondenza delle litologie più pelitiche (basso-resistive), mentre questa condizione non avviene nella parte terminale della tomografia ad onde P. Nel complesso non sono state individuate anomalie ascrivibili a cavità sotterranee.

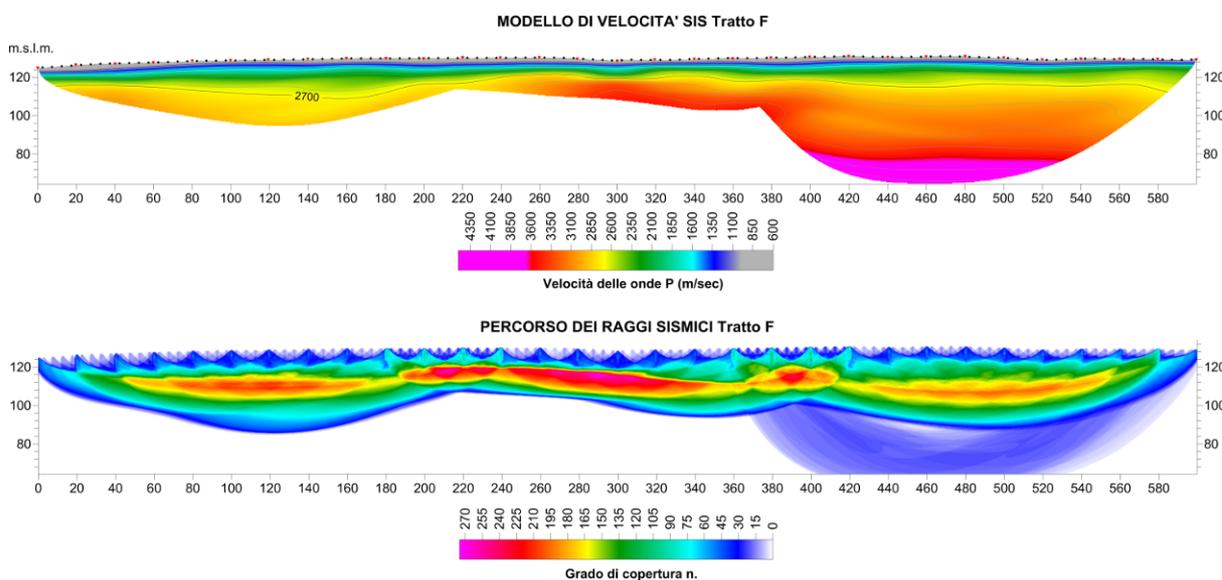


Fig. 43 Modello di velocità SIS tratto F.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 61 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

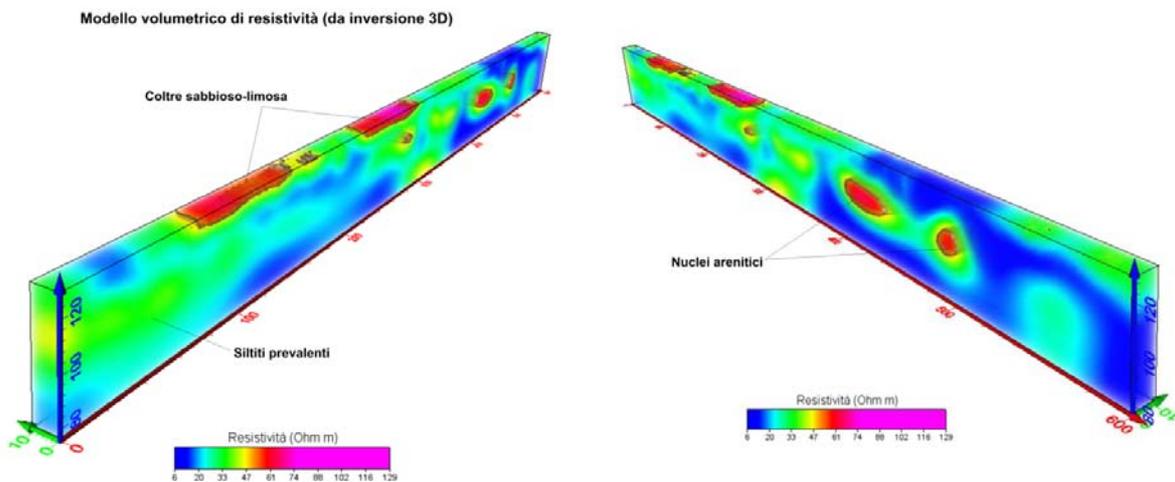
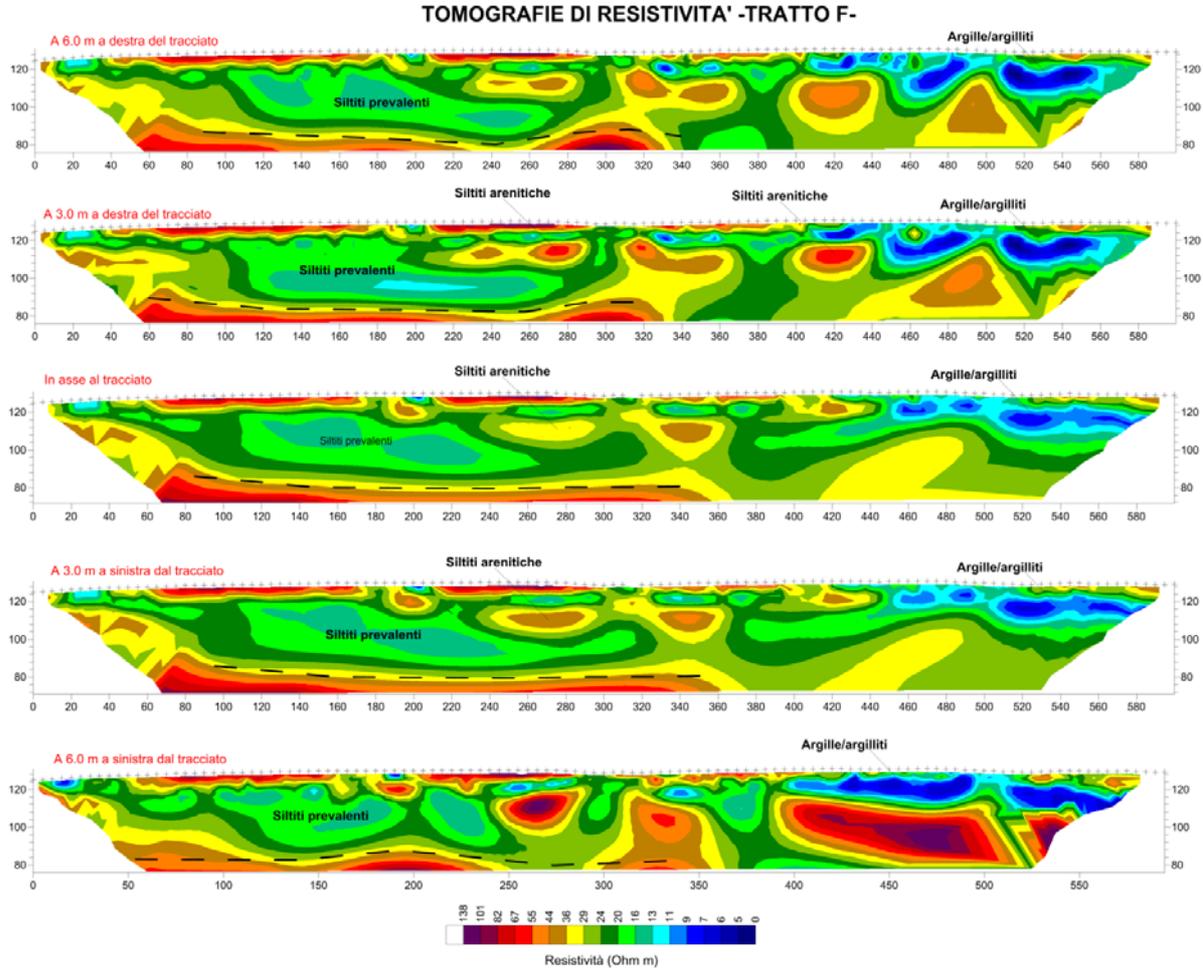


Fig. 44 Tomografia di resistività tratto F.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 62 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

5.3 Rilievo aerofotogrammetrico con drone (U.A.V.)

L'area di rilievo, con superficie di circa 60 ettari, costituisce la fascia con larghezza di almeno 200 m a cavallo del metanodotto in progetto, compresa tra le progressive 22+800 e 25+800 e rientrante tra i comuni di Villamassargia e Iglesias. Dal punto di vista morfologico l'area è caratterizzata da un andamento per lo più pianeggiante, localmente con leggere ondulazioni. Sono diffusamente presenti solchi di drenaggio e alvei canalizzati, interessati sugli argini da vegetazione arbustiva e arborea. Gran parte dell'area di rilievo è agricola, a coltivazione erbacea (seminativi), con tratti incolti. Nella zona centrale dell'area è presente un ampio vigneto e un bosco rado (pineta). Le elaborazioni fotogrammetriche hanno consentito di generare una nuvola costituita da oltre 170 milioni di punti con posizione georeferita (X, Y e Z in WGS84) e colorazione definita in termini RGB dalle 750 immagini fotografiche acquisite nei tre voli realizzati. Dalla posizione dei punti è stato possibile ricostruire un Digital Surface Model (DSM) contenente l'andamento delle superfici rilevate. L'applicazione di alcuni filtri spaziali, ha permesso di eliminare, in buona parte, la vegetazione, in maniera da ottenere un modello di elevazione 3D della superficie del solo terreno (Digital Terrain Model – DTM).

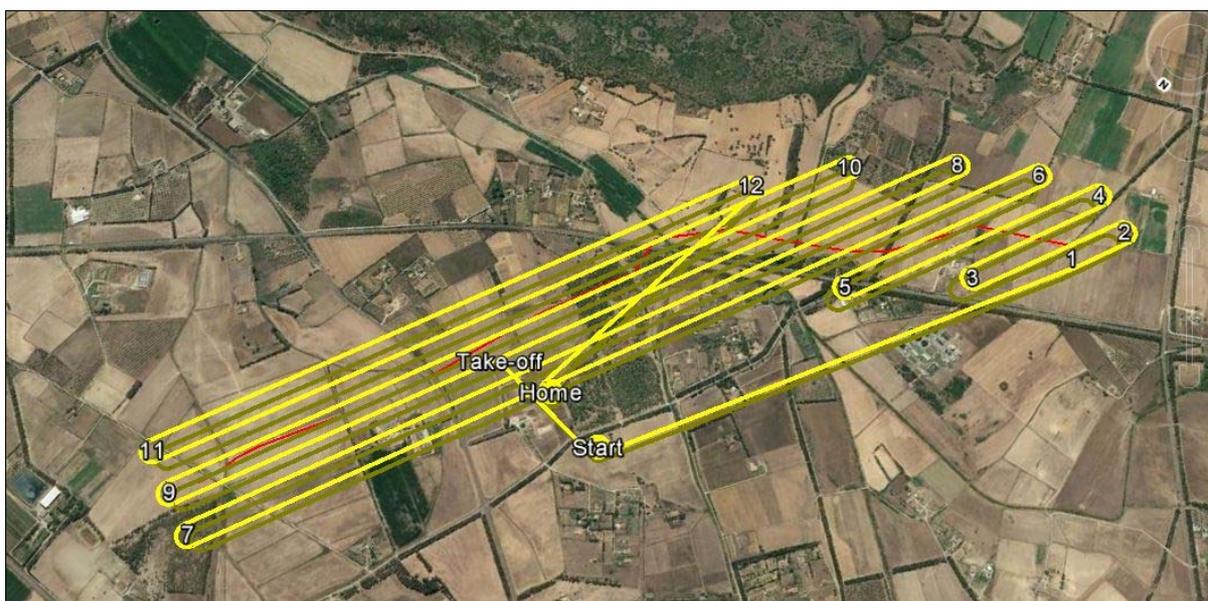


Fig. 45 Area di rilievo.

Elaborati

Oltre agli output in forma digitale, vengono fornite le seguenti stampe interessanti tutta l'area di rilievo:

- Ortofotopiano;
- Modello Digitale della Superficie (DSM);
- Isoipse da DTM su ortofotopiano.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  TechnipFMC	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 63 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

Per effettuare il rilievo è stato utilizzato il drone ad ala planante Ebee di Sensefly. Ebee è un drone U.A.V. (unmanned aerial vehicle), completamente autonomo.

Esso è costituito dalle seguenti componenti:

Central body: al suo interno sono contenute tutte le componenti elettroniche del velivolo. Gli strumenti elettronici a bordo consistono di un Autopilota in grado di gestire autonomamente il velivolo, un GPS utilizzato per mantenere la traiettoria prefissata e un sensore IMU utilizzato per ricevere le informazioni riguardo agli angoli di assetto durante il volo. Anche in caso di assenza del segnale radio il velivolo porta a compimento la missione pianificata;

- Ground sensor: è composto di sensori ottici ad alta velocità ed è utilizzato per determinare la distanza dal terreno;
- Wings: le ali sono staccabili, ogni ala è munita di due fascette che ne permettono la stabilità con il corpo centrale;
- Ailerons: gli alettoni sono usati per controllare eBee mentre è in volo;
- Winglets: le alette d'estremità aggiungono aerodinamica e stabilità;
- Servo rods: mettono in funzione gli alettoni e sono contenuti all'interno del corpo centrale;
- Propeller: l'elica (in materiale plastico) genera la spinta per il volo;
- Pitot probe: la sonda Pitot è il sensore utilizzato da eBee per misurare la velocità di crociera, quella del vento e l'altitudine;
- Antenna: mette in collegamento eBee con Emotion 2 attraverso una radio con frequenza 2.4 GHz collegata al pc mediante connessione USB;
- Camera: eBee monta una camera fotografica con risoluzione di 16 Megapixel (RGB o NIR);
- Battery: eBee è alimentato da una batteria Lipo (polimeri di litio);
- Status LED: il LED colorato mostra il corrente stato di eBee.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 64 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024



Fig. 46 Drone Ebee montato e pronto al decollo.

Il sistema è costituito da un corpo in polietilene espanso estremamente leggero, in cui si innestano due ali del medesimo materiale, che assicurano la portanza e la manovrabilità del drone. All'interno del corpo centrale trova posto la camera di scatto, di marca Canon, con risoluzione 16 megapixel, l'autopilota che sovrintende al pilotaggio del drone per mezzo di un controllo GPS, una sonda Pitot per il rilievo del vento e la velocità di crociera, ed un ground sensor per il rilevamento della prossimità a terra e una serie di sensori che misurano i parametri di assetto in volo. Il drone vola in condizioni di tempo asciutto e con velocità del vento inferiore a 13 m/s. Il controllo del drone in volo è assicurato da un trasmettitore radio con raggio di circa 3 km. In caso di perdita del segnale radio si può impostare automaticamente il ritorno su posizione nota. Il drone può inoltre essere comandato in maniera manuale tramite console. Il drone è dotato di un'elica in materiale plastico rigido, vincolato all'albero di trasmissione del motore, alimentato da batteria interna, posta nella zona anteriore, da 12 v. A corredo del drone sono presenti in dotazione 4 batterie di alimentazione, due camere fotografiche, in finestra ottica ed in finestra NIR (infrarosso vicino). Nell'area di partenza e di atterraggio sono inoltre presenti un'asta anemometrica per la definizione della direzione del vento ed un computer portatile per la programmazione ed il controllo in telemetria del drone. L'alimentazione consente l'esecuzione di un volo della durata di circa 45 minuti, per una superficie coperta, con sovrapposizione delle immagini dell'80%, di circa 80 ettari (0.8 kmq).

5.3.1 Modalità di rilievo

La prima fase della progettazione di un rilievo avviene in ufficio nella preparazione del piano di volo. Il software di gestione emotion, utilizzato il supporto di immagini satellitari, ad esempio mediante Google Earth, una volta definita l'area di rilievo, permette di simulare tutte le fasi volo. Considerate le dimensioni dell'area da rilevare è stato necessario prevedere tre piani di volo, i cui dati sono stati successivamente accorpati. Vista la morfologia dell'area di rilievo le linee di volo sono state previste in direzione parallela al tracciato del metanodotto. In tal modo si è resa più costante possibile l'altezza di ripresa, per un valore medio di circa 130 m, mantenendo una risoluzione a terra all'incirca costante di 3.0-4.0 cm/pix. Sul campo è stato caricato sul drone il piano di volo per la sua esecuzione completamente

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  TechnipFMC	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 65 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

automatizzata, con il controllo remoto di tutte le attività in corso. La velocità del vento nelle fasi di volo è stata inferiore a 7 m/sec, quindi compatibile con l'operatività del sistema. Al ritorno alla base, le immagini contenenti anche le informazioni di scatto (posizione e assetto misurati dal GPS e IMU del drone) sono state scaricate e immagazzinate nel pc portatile per le successive elaborazioni. Distribuiti in maniera più o meno omogenea nell'area di rilievo sono stati collocati a terra dei target ben visibili dalle foto (quadrati ad alta riflettività di 40 cm di lato) la cui posizione plano-altimetrica è stata acquisita mediante un rilievo in modalità differenziale RTK con precisione centimetrica. Questi punti (Ground Control Point) sono stati utilizzati successivamente, in fase di elaborazione, per migliorare la precisione del rilievo e di tutte le carte derivate.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  TechnipFMC	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 66 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

5.3.2 Elaborazione del rilievo

Le fasi di processing dei dati sono state eseguite mediante la suite di elaborazione aerofotogrammetrica da immagini da drone (APS della Menci). Il processamento delle immagini ha visto un primo passo di Bundle Adjustment attraverso il quale, sempre in maniera automatizzata, si sono individuati i punti di legame tra le varie immagini per la loro coalescenza e triangolazione aerea. Successivamente si sono individuati, in maniera semiautomatica, i Ground Control Point a cui sono state "agganciate" le posizioni al sistema di riferimento assoluto (WGS84). Il processo di orto-mosaicizzazione, come anche quello di estrazione del DSM e della nuvola di punti, è avvenuto in totale automazione, la sintesi dei parametri di calcolo è allegato in appendice. Il risultato principale dell'analisi ha portato alla realizzazione dei seguenti elaborati:

- Un ortofoto georeferenziata dell'intera area di rilievo con risoluzione di 3-4 cm/pix (fornita in formato tiff);
- Una nuvola di punti 3D dell'intera superficie di rilievo contenente anche le informazioni del colore in termini di RGB (circa 170 milioni di punti, fornita in formato testo las);
- Un DSM (Digital Surface Model) fornita in formato .tiff;
- Un DTM (Digital Terrain Model) costruito applicando vari filtri atti ad eliminare i punti non appartenenti alle superfici del suolo (in formato .tiff).

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 67 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

6 CONCLUSIONI

Il presente studio è stato predisposto a supporto del progetto denominato "Metanizzazione Sardegna" e redatto ai sensi dell'art. 31 comma 8 delle norme di attuazione del P.A.I., "Indicazioni per le indagini e studi da effettuare nelle zone mappate a pericolosità di frana per fenomeni di sinkhole" (Allegato A - delibera n.9 del 30.6.2008).

Nello specifico lo studio è stato quindi finalizzato all'individuazione di eventuali fenomeni di sinkhole presenti lungo il tracciato del Metanodotto Vallermosa – Sulcis DN 400 (16"), DP 75 bar, nel tratto compreso tra le progressive chilometriche 22+835 ÷ 25+755.

Infatti, il suddetto tratto, che ricade nei comuni di Iglesias e di Villamassargia, attraversa un'area perimetrata a pericolosità molto elevata da frana (**Hg4**) per fenomeni di sprofondamento "Sinkhole", verificatisi negli anni novanta e nei primi anni del duemila.

Inizialmente è stato effettuato un rilievo aerofotogrammetrico del tratto di metanodotto sopraindicato, avente un'estensione areale di circa 60 ettari, mediante l'utilizzo di un drone U.A.V. (unmanned aerial vehicle) ad ala planante Ebee di Sensefly. Ebee, completamente autonomo.

L'area di rilievo ha restituito una fascia di terreno avente larghezza di circa 200 m a cavallo del metanodotto in progetto, compresa tra le progressive 22+800 e 25+800.

L'utilizzo del drone ha permesso di ottenere il modello Ortofotopiano, il Modello Digitale della Superficie (DSM) e le Isoipse da DTM su ortofotopiano.

Dal punto di vista morfologico l'area è caratterizzata da un andamento per lo più pianeggiante, localmente con leggere ondulazioni; sono diffusamente presenti solchi di drenaggio e alvei canalizzati, interessati sugli argini da vegetazione arbustiva e arborea. Gran parte dell'area di rilievo è agricola, a coltivazione erbacea (seminativi), con tratti incolti. Nella zona centrale dell'area è presente un ampio vigneto e un bosco rado (pineta).

L'analisi degli aspetti geologico-strutturali, litostratigrafici e morfodinamici eseguita nell'ambito territoriale interessato da Sinkhole, è stata condotta attraverso un rilievo di dettaglio in scala 1:2.000, restituito anche in scala 1:5.000. Il rilievo ha consentito di definire con precisione i rapporti tra le unità litostratigrafiche in affioramento e di rilevare la presenza di eventuali forme che lasciassero presupporre potenziali aree di sprofondamento.

Durante il rilevamento è stata condotta la verifica delle aree interessate in passato da fenomeni di sprofondamento, inoltre è stata verificata, lungo il tracciato del metanodotto e in un'area ad esso addicente, la presenza di nuovi sprofondamenti o aree potenzialmente pericolose che possano evolversi in sinkhole.

Le aree colpite dagli eventi passati, limitrofi al tracciato del metanodotto, non mostrano allo stato attuale segni che possano presagire una loro riattivazione.

In località Genna Gonnese in prossimità dei n.3 sinkhole censiti, è stata invece individuata, nel corso delle indagini, una depressione del terreno dell'ordine di poche decine di centimetri, e dal diametro di circa 3-4 m. La depressione, coperta dalla vegetazione, è resa visibile oltre che dal lieve sprofondamento anche da tutta una serie di profonde fratture concentriche del terreno circostante. L'area interessata dal potenziale sprofondamento si

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  TechnipFMC	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 68 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

trova a una distanza di 48 m dai sinkhole censiti e a oltre 200 m dal tracciato del metanodotto.

La potenziale area di sprofondamento è stata oggetto di un'approfondita campagna di indagini geofisiche, di tipo geoelettriche e di sismica a rifrazione.

Per le indagini geoelettriche sono stati eseguiti stendimenti multielettrodi tra loro paralleli in numero di cinque, uno di essi coincidente con l'asse del metanodotto e gli altri ad esso latitanti, a 3.0 m e a 6.0 m, comprendendo quindi una fascia complessiva di circa 12.0 m. Lo schema geometrico degli stendimenti adottato, ha consentito, oltre all'investigazione ridondante delle misure, l'elaborazione di un modello tridimensionale delle resistività a cui si è giunti mediante un'inversione 3D dei dati, accorpati in un unico blocco volumetrico, compreso tra la fascia alla superficie del suolo e, in genere, fino a 45-50 m di profondità.

Le indagini di sismica a rifrazione sono state realizzate in asse tracciato, in genere sulla stessa linea centrale delle misure geoelettriche di resistività. Queste sono state eseguite con l'ausilio di sensori geofonici spazati di 5.0 m; hanno fornito soprattutto informazioni di carattere elastico-dinamico, quindi sugli aspetti geomeccanici degli orizzonti geolitologici presenti.

Sulla base dei dati acquisiti nel corso della suddetta campagna di indagini nonché dalla consultazione di studi di letteratura limitrofi al tracciato, si può concludere che, nel tratto in esame fino ad una distanza di circa 40 m dall'asse del metanodotto in progetto, non sono state riscontrate anomalie attribuibili a potenziali cavità sotterranee associabili a fenomeni di sinkhole.

Per quanto sopra illustrato, sulla base degli studi e delle indagini eseguite, si esprime parere favorevole alla fattibilità dell'opera in progetto.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 69 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

7 BIBLIOGRAFIA

Di seguito si riportano i principali riferimenti bibliografici citati e consultati.

- Annino E., Barca S. & Costamagna L.G. (2000) - Lineamenti stratigrafico-strutturali dell'Arburese (Sardegna sud-occidentale). Rend. Sem. Fac. Sc. Univ. Cagliari, suppl. vol. 70, 404-426;
- Ardau F.; Balia R.; Bianco M.; Cinus S. ; De Waele j.; (2005) - Assestamento of cover-collapse sinkholes in southwest Sardinia (Italy). Geophysical Research Abstrat, Vol.7;
- Barca, S., Maxia, C. and Palmerini, V., 1973. Sintesi sulle attuali conoscenze relative alla Formazione del Cixerri (Sardegna sud-occidentale). Boll. Serv. Geol. d'It., 94 (2), 307-318;
- Barrocu G.; Uras G. (2005). Risorse idriche alternative della regione Sardegna. - Aquifer vulnerability and risk, 2nd Workshop and 4° Conv. Naz. sulla Protezione e Gestione delle Acque Sotterranee;
- Caredda G.; Cinus S.; Farris M.; I sinkholes del Sulcis-Iglesiente. - 1° Seminario, Stato dell'arte sullo studio dei fenomeni di sinkholes e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio. APAT, Dipartimento Difesa del suolo;
- Carmignani L.; Cocozza T.; Pertusati P. (1983). Carta Geologica del Paleozoico dell'Iglesiente (Sardegna Sud-Occidentale). Scala 1:50000. Litografia Artistica Cartografica;
- Carmignani L.; Cocozza T.; Pertusati P. (1982) – Lineamenti della geologia dell'IglesienteSulcis. Guida alla geologia del Paleozoico sardo. Guide geologiche regionali. Soc. Geol. It. 65- 6;
- ISPRA - Atti II° Workshop Internazionale I Sinkholes. Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato. Roma 3-4 Dicembre 2009;
- ISPRA – Mariolu E. - Fenomeni di sprofondamento nella regione sardegna e possibili correlazioni con le attività minerarie;
- Maxia C. (1935). - Contributo alla morfologia della valle del Cixerri. Mem. Soc. Geol. Italiana.
- Nazarian, S., Stokoe, K.H., and Hudson, W.R., 1983. Use of Spectral Analysis of Surface Waves Method for Determination of Moduli and Thicknesses of Pavement Systems. Transportation Research Record, No. 930, National Research Council, Washington, D.C., 38-45
- Newton, J.C., 1984. Review of induced sinkhole development. In: Beck Barry F. (1984) Sinkholes: their geology, engineering and environmental impact. Ed. A.A. Balkema/Rotterdam/Boston.
- Nisio, S. and Salvati, R., 2004. Fenomeni di sprofondamento catastrofico. Proposta di classificazione applicata alla casistica italiana. In: Stato dell'arte sullo studio dei fenomeni

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  TechnipFMC	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 70 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

di sinkholes e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio. Att. Conv. Roma 20 -21 Maggio 2004;

- Nisio, S., Graciotti, R., Vita, L., 2004. I fenomeni di sinkhole in Italia: terminologia, meccanismi genetici e problematiche aperte. In: Stato dell'arte sullo studio dei fenomeni di sinkholes e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio. Att. Conv. Roma 20 -21 Maggio 2004;
- Pazuniak, B.L., 1989. Subsurface investigation response to sinkhole activity at an eastern Pennsylvania site. In: Proc. 3rd Multidisciplinary Conf. on Sinkholes and the Engineering and Environmental Impacts of Karst. Balkema, Rotterdam, pp. 263– 269;
- Salvati R. And Sasowsky I.D., 2002. Development of collapse sinkhole in areas of groundwater discharge: in Journal of Hydrology Vol. 264, no. 1-4. Amsterdam : Elsevier, Jul., 30, 2002;
- Sowers, G.F., 1996. Building on Sinkholes. ASCE Press, New York.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  TechnipFMC	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 71 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

8 ANNESSI

- Annesso 1 Carta Geologica (scala 1:5.000)
- Annesso 2 Carta Geologica (scala 1:2.000)
- Annesso 3A Ubicazione Indagini Geoelettriche
- Annesso 3B Ubicazione Indagini Sismiche
- Annesso 3C Modelli Geofisici
- Annesso 4 Modelli Elaborazioni Rilievo Con Drone

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  TechnipFMC	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 72 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

ANNESSE 1

CARTA GEOLOGICA

(scala 1:5.000)

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  TechnipFMC	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 73 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

ANNESSE 2

CARTA GEOLOGICA

(scala 1:2.000)

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  TechnipFMC	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 74 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

ANNESSE 3A

UBICAZIONE INDAGINI GEOELETTRICHE

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  TechnipFMC	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 75 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

ANNESSE 3B

UBICAZIONE INDAGINI SISMICHE

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  TechnipFMC	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 76 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

ANNESSO 3C
MODELLI GEOFISICI

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  TechnipFMC	COMMESSA NR/	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONE SARDEGNA	RE-GEO-002	
	PROGETTO / IMPIANTO METANIZZAZIONE SARDEGNA DN 400 (16") – DP 75 bar	Pag. 77 di 77	Rev. 0

Rif. TPIDL: 073670-010-RT-3220-024

ANNESSE 4

MODELLI ELABORAZIONI RILIEVO CON DRONE